



# Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas

---

EDITADO POR D. I. JARVIS, C. PADOCH Y H. D. COOPER

Traducido por Alexandra Walter

Publicado por Bioversity International 

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
  
Swiss Agency for Development  
and Cooperation SDC

IDRC  CRDI



UNITED NATIONS  
UNIVERSITY



Publicado por Bioersity International  
Copyright © 2007 Bioersity International  
Todos los derechos reservados

Desde el 10. de diciembre de 2006 el IPGRI y el INIBAP funcionan con el nombre de “Bioersity International.”

Las designaciones usadas y la presentación de los materiales en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de Bioersity International, el Secretariado del Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Universidad de las Naciones Unidas, International Development Research Center (Centro Internacional de Investigación para Desarrollo, Canadá), Swiss Agency for Development and Cooperation (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación) respecto al estado legal de cualquier país, territorio, ciudad o área o de sus autoridades con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites. La intención al referirse a las economías con la designación de “desarrollada” o “en vías de desarrollo” responde a una conveniencia estadística y no necesariamente expresa un juicio acerca de la etapa alcanzada por determinado país, territorio o área en el proceso de desarrollo.

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no necesariamente representan las de Bioersity International, el Secretariado del Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Universidad de las Naciones Unidas, International Development Research Center (Centro Internacional de Investigación para Desarrollo, Canadá), y Swiss Agency for Development and Cooperation (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación)

Originalmente publicado en inglés como “Managing biodiversity in Agricultural ecosystems” by Columbia University Press Copyright © 2007 Bioersity International

2011 D. I. Jarvis, C. Padoch y H. D. Cooper (Eds) Manejo de la agrobiodiversidad en los ecosistemas agrícolas.

Traducido por Alexandra Walter

p. cm.  
ISBN 978-92-9043-823-6

Datos de catalogación en Library of Congress  
1. Agrobiodiversity. 2. Agricultural Ecology. I. Jarvis, Devra I. (Devra Ivy), 1959– II. Padoch, Christine. III. Cooper, H. D. (H. David)

Impreso en Roma

Este libro está dedicado a nuestros hijos —

Raffaella, Sofía, Charlie y Duncan—

quienes conectan nuestro mundo actual con el futuro



## Contenido

---

	Agradecimientos	xi
	Colaboradores	xiii
1	La biodiversidad, la agricultura y los servicios ambientales D. I. JARVIS, C. PADOCH Y H. D. COOPER	I
2	Medición, manejo y mantenimiento en fincas de la diversidad genética de los cultivos A. H. D. BROWN Y T. HODGKIN	14
3	Nombres de las variedades ¿Un punto de entrada a la diversidad genética de los cultivos y a su distribución en los agroecosistemas? M. SADIKI, D. I. JARVIS, D. RIJAL, J. BAJRACHARYA, N. N. HUE, T. C. CAMACHO-VILLA, L. A. BURGOS-MAY, M. SAWADOGO, D. BALMA, D. LOPE, L. ARIAS, I. MAR, D. KARAMURA, D. WILLIAMS, J. L. CHÁVEZ-SERVIA, B. STHAPIT Y V. R. RAO	37
4	Sistemas de semillas y diversidad genética de los cultivos en sistemas agrícolas T. HODGKIN, R. RANA, J. TUXILL, D. BALMA, A. SUBEDI, I. MAR, D. KARAMURA, R. VALDIVIA, L. COLLADO, L. LATOURNERIE, M. SADIKI, M. SAWADOGO, A. H. D. BROWN Y D. I. JARVIS	82

- 5 Medidas de diversidad como insumo para decisiones acerca de la conservación de los recursos genéticos pecuarios  
J. P. GIBSON, W. AYALEW Y O. HANOTTE 122
- 6 Manejo de los recursos genéticos de animales en fincas: Cambio e Interacción  
I. HOFFMANN 146
- 7 Biodiversidad acuática en ecosistemas basados en el cultivo del arroz  
M. HALWART Y D. BARTLEY 189
- 8 Servicios de los polinizadores  
P. G. KEVAN Y V. A. WOJCIK 208
- 9 Manejo de la biodiversidad del suelo en los ecosistemas agrícolas  
G. G. BROWN, M. J. SWIFT, D. E. BENNACK, S. BUNNING,  
A. MONTAÑEZ Y L. BRUSSAARD 234
- 10 Diversidad y manejo de plagas en los agroecosistemas  
A. WILBY Y M. B. THOMA 283
- 11 Manejo de las enfermedades de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales  
D. I. JARVIS, A. H. D. BROWN, V. IMBRUCE, J. OCHOA,  
M. SADIKI, E. KARAMURA, P. TRUTMANN Y  
M. R. FINCKH 308
- 12 Diversificación varietal de los cultivos para el control de enfermedades  
Y. Y. ZHU, Y. Y. WANG Y J. H. ZHOU 338
- 13 Manejo de la biodiversidad en paisajes agrícolas espacial y temporalmente complejos  
H. BROOKFIELD Y C. PADOCH 357
- 14 Diversidad e innovación en los sistemas de los pequeños agricultores en respuesta a cambios ambientales y económicos  
K. RERKASEM Y M. PINEDO-VÁSQUEZ 382

- 15 Agrobiodiversidad, dieta y salud humana  
T. JOHN 404
- 16 Comparación de las preferencias de los agricultores y los fitome-  
joradores  
D. GAUCHAN Y M. SMALE 431
- 17 Economía de la conservación y el uso sostenible de los recursos  
genéticos pecuarios  
A. G. DRUCKER 453
- 18 Papeles ecológico y económico de la biodiversidad en los  
agroecosistemas  
M. CERONI, S. LIU Y R. COSTANZA 475



## Agradecimientos

---

Los editores quisieran agradecer a los gobiernos de Canadá (CIID, Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo) y Suiza (COSUDE, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación) por su generoso apoyo económico para la realización de este libro.

Gran parte del trabajo que aquí se presenta se logró con la ayuda de los gobiernos de Suiza (COSUDE, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación), Holanda (DGIS, Dirección General para la Cooperación Internacional), Alemania (BMZ/GTZ, Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), Japón (JICA, Agencia Internacional Japonesa para la Cooperación), Canadá (CIID, Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo), España y Perú, y del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, del Secretariado del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Agradecemos a muchos de nuestros colegas que colaboraron en diferentes etapas de la producción del libro, especialmente a Steve Clement, Charles Spillane, Jean Louis Pham, Linda Collette, Julia Ndung'u-Skilton, Beate Scherf y Paola De Santis. Muchos otros colegas, cuyos nombres no incluimos, hicieron revisiones críticas de los capítulos, que fueron muy bien recibidas. Agradecemos de manera especial a Linda Sears por la edición rápida y precisa de este libro.

Finalmente, nuestro más sincero agradecimiento a todos los que de una u otra forma participaron en la producción de este libro e hicieron posible este trabajo, incluyendo los agricultores, extensionistas, educadores, investigadores y funcionarios gubernamentales que participaron en varios de los estudios que aquí se presentan, y cuyos nombres y afiliaciones no se incluyen.



## Colaboradores

---

F. Ahkter	Centre for Policy Research for Development Alternatives, Bangladesh
L. Arias	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), México
W. Ayalew	International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenia
J. Bajracharya	Agriculture Botany Division, Nepal Agricultural Research Council, Khumaltar, Lalitpur, Nepal
D. Balma	Direction de la Recherche Scientifique, Ouagadougou, Burkina Faso
D. Bartley	FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service, Roma, Italia
D. E. Bennack	Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México
H. Brookfield	Australian National University, ACT 0200, Australia
A. H. D. Brown	Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Plant Industry, Canberra, Australia
G. G. Brown	Laboratorio de Invertebrados del Suelo, Embrapa-Soja, Londrina, PR, Brasil

L. Brussaard	Wageningen University, Soil Quality Section, Wageningen, Países Bajos
S. Bunning	Land and Plant Nutrient Management Service (AGLL), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia
L. A. Burgos-May	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), México
T. C. Camacho-Villa	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), México, y Wageningen University and Research Center, Participatory Approaches Studies, Wageningen, Países Bajos
M. Ceroni	Department of Botany and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, Estados Unidos
J. L. Chávez-Servia	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México
L. Collado	Consortio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali, Pucallpa, Perú
H. D. Cooper	Secretariado, Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, Quebec, Canadá
R. Costanza	Rubenstein School of Environment and Natural Resources and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, Estados Unidos
M. Dijmadoum	Fédération Nationale des Groupements Naam, Ouahigouya, Burkina Faso
A. G. Drucker	School of Environmental Research, Charles Darwin University, Darwin, Australia
M. R. Finckh	Department of Ecological Plant Protection, Universität Kassel, Wutzenhausen, Ecological Agricultural Science, Alemania

B. M. Freitas	Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil
D. Gauchan	Nepal Agricultural Research Council, Katmandú, Nepal
B. Gemmill	African Pollinator Initiative, Nairobi, Kenia
J. P. Gibson	Institute for Genetics and Bioinformatics Homestead, University of New England, Armidale NSW 2351, Australia
M. Halwart	Inland Water Resources and Aquaculture Service, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia
O. Hanotte	International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenia
T. Hodgkin	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (hoy Bioversity International), Maccarese, Roma, Italia
I. Hoffmann	Animal Production Service, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia
N. N. Hue	Vietnam Agricultural Science Institute, Hanoi, Vietnam
V. Imbruce	New York Botanical Garden, Bronx, NY, Estados Unidos
D. I. Jarvis	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Maccarese, Roma, Italia
T. Johns	Centre for Indigenous Peoples' Nutrition and Environment and School of Dietetics and Human Nutrition, McGill University, Ste. Anne de Bellevue, Quebec, Canadá
D. Karamura	International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Kampala, Uganda

E. Karamura	International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Kampala, Uganda
P. G. Kevan	Department of Environmental Biology, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá
L. Latournerie	Instituto Tecnológico Agropecuario de Condal (SIGA- ITA2), Mérida- Motul, Condal, Yucatán, México
D. Lope	Fundación Kan Uak, A.C. Mérida, Yucatán, México, y Wageningen University and Research Center, Bio-Cultural Diversity Studies, Wageningen, Países Bajos
S. Liu	Rubenstein School of Environment and Natural Resources y Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, Estados Unidos
I. Mar	Institute for Agrobotany, Tapioszele, Hungary
A. Montáñez	Universidad de Montevideo, Uruguay
A. Ochieng	University of Nairobi, Department of Botany, Nairobi, Kenia
J. Ochoa	Estación Experimental Santa Catalina, INIAP, Quito, Ecuador
C. Padoch	The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, Estados Unidos
U. Partap	International Centre for Integrated Mountain Development, Katmandú, Nepal
M. Pinedo-Vásquez	Center for Environmental Research and Conservation, Columbia University, Nueva York, NY, Estados Unidos
R. Rana	Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development, Pokhara, Nepal
V. R. Rao	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Oficina Regional para Asia, el Pacífico y Oceanía, Serdang, Malasia

K. Rerkasem	Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Tailandia
D. Rijal	Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development, Pokhara, Nepal, Norwegian University of Life Sciences, Aas, Noruega
M. Sadiki	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département d'Agronomie et d'Amélioration des Plantes, Rabat, Marruecos
M. Sawadogo	Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou, Burkina Faso
M. Smale	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia, e International Food Policy Research Institute, Washington DC, Estados Unidos
B. Sthapit	Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Oficina Regional para Asia, el Pacífico y Oceanía, Pokhara, Nepal
A. Subedi	Intermediate Technology Group for Development, Katmandú, Nepal
M. J. Swift	Institut de Recherche pour le Développement, Centre de Montpellier, Montpellier, France
M. B. Thomas	Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Entomology, Canberra, Australia
P. Trutmann	International Integrated Pest Management, International Programs, Cornell University, Ithaca, NY, Estados Unidos
J. Tuxill	Joint Program in Economic Botany, Yale School of Forestry and Environmental Studies y el New York Botanical Garden, New Haven, CT, Estados Unidos
R. Valdivia	Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Puno, Perú
Y. Y. Wang	Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan, P.R. China

A. Wilby	Department of Agricultural Sciences and NERC Centre for Population Biology, Imperial College, Wye, Kent, Reino Unido
D. Williams	USDA, Foreign Agricultural Service, International Cooperation and Development, Research and Scientific Exchanges Division, Washington, DC, Estados Unidos
V. A. Wojcik	Environmental Science Policy and Management, University of California, Berkeley, CA, Estados Unidos
J. H. Zhou	Yunnan Agricultural University, Kunming, Yun- nan, P.R. China
Y. Y. Zhu	Yunnan Agricultural University, Kunming, Yun- nan, P.R. China

## Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas



# 1 La biodiversidad, la agricultura y los servicios ambientales

---

D. I. JARVIS, C. PADOCH, AND H. D. COOPER

La biodiversidad presente en los ecosistemas agrícolas nos proporciona el alimento y los medios para producirlo. La diversidad de plantas y animales que consumimos son componentes de la diversidad agrícola que podemos apreciar a simple vista. Igualmente importantes, aunque menos visibles, son los miles de organismos presentes en el suelo, los polinizadores y los enemigos naturales de las plagas y enfermedades, cuya función reguladora constituye el soporte de la producción agrícola. Los agricultores manejan a diario estos y otros aspectos de la diversidad biológica en los ecosistemas agrícolas para producir alimentos y otros productos, y para mantener sus medios de vida. La biodiversidad presente en los agroecosistemas también contribuye a generar otros servicios ambientales, como la protección de las cuencas y la retención de carbono. Además de esta importancia funcional, también es importante mantener la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas. De hecho, hoy en día es tan grande el alcance de la agricultura, que cualquier estrategia para conservar la biodiversidad debe tener en cuenta la biodiversidad de estos sistemas principalmente antropogénicos. Es más, la biodiversidad en los paisajes agrícolas tiene una importancia cultural muy grande, por un lado por la interacción con paisajes históricos asociados a la agricultura, y por otro lado porque muchas personas entran en contacto con la biodiversidad silvestre precisamente en fincas o en sus alrededores.

Este libro analiza los diversos aspectos de la biodiversidad agrícola. Varios capítulos abordan el tema de los recursos genéticos de especies cultivadas (Capítulos 1, 2, 3, 10, 11, y 16) y los recursos genéticos pecuarios (Capítulos 4, 5 y 17). Otros se ocupan de la biodiversidad acuática (Capí-

tulo 6), la diversidad de los polinizadores (Capítulo 7), y la biodiversidad existente en el suelo (Capítulo 8). Tres capítulos (9, 10 y 11) revisan los diversos aspectos de las relaciones entre la diversidad y el manejo de las plagas y enfermedades. Los Capítulos 12 y 13 exploran el manejo que dan los agricultores a la diversidad en el contexto de la complejidad espacial, y el cambio ambiental y económico. El Capítulo 14 examina la contribución de la diversidad a la dieta, la nutrición y la salud del ser humano. Los Capítulos 15 al 17 hacen referencia al valor de los recursos genéticos y de los servicios ambientales proporcionados por la biodiversidad de los ecosistemas agrícolas.

Este capítulo introductorio prepara el escenario para los capítulos que siguen. Después de estudiar los esfuerzos recientes para abordar la biodiversidad agrícola tanto en la comunidad académica como en los foros sobre políticas internacionales, se examinan las múltiples dimensiones de la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas. Las siguientes secciones contemplan el valor de los servicios ambientales que provee la biodiversidad, las funciones de la biodiversidad y cómo ellas se ven afectadas por las prácticas de manejo. El capítulo concluye con un breve análisis del futuro de la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas.

### Iniciativas recientes y actuales para abordar la agrobiodiversidad

Desde hace mucho tiempo se reconoce la importancia que los recursos genéticos cultivados, acuáticos y pecuarios tienen para la agricultura, pero sólo en la última década la comunidad agrícola internacional ha reconocido la importancia que la agrobiodiversidad, en su conjunto, tiene en el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas. En el mundo de las políticas internacionales, la agrobiodiversidad se empezó a tener en cuenta de manera integral sólo hasta 1996, en la Conferencia de las Partes del Convenio de Diversidad Biológica (CDB). El programa de trabajo del CDB sobre agrobiodiversidad, que fue luego desarrollado y adoptado en el año 2000, reconoce las múltiples dimensiones de la agrobiodiversidad y la gama de bienes y servicios que ofrece. Al adoptar el programa de trabajo, la Conferencia de las Partes reconoció la contribución de los agricultores y de las comunidades indígenas y locales a la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad agrícola, y la importancia de ésta para sustentar a esas comunidades. Dentro del marco del programa de trabajo del CDB, se lanzaron iniciativas específicas sobre polinizadores, sobre la biodiversidad del suelo, y sobre la biodiversidad relacionada con los alimentos y la nutrición.

Este nuevo énfasis en la agrobiodiversidad es una respuesta al amplio consenso de que la agrobiodiversidad del mundo se está perdiendo a tasas cada vez mayores. Los estimados de la Lista de Diversidad de Animales Domésticos de World Watch advierten que el 35% de las razas de mamíferos y el 63% de las razas de aves están en peligro de extinción, y que semanalmente se pierde una raza. El libro *Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA) en el Mundo* describe como “sustancial” la pérdida de diversidad de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, incluyendo la desaparición de especies, de variedades de plantas y de complejos de genes (FAO 1998). A excepción de la Antártica, todos los continentes han reportado disminuciones de polinizadores en por lo menos una región o país. El número de colonias de abejas melíferas ha disminuido vertiginosamente en Europa y América del Norte, al igual que sus parientes, las abejas melíferas del Himalaya (*Apis laboriosa*) (Ingram et al. 1996). Existe preocupación también por otros taxones polinizadores entre los mamíferos y las aves, cuyas poblaciones también han disminuido. En el contexto mundial, se consideran amenazadas o se han extinguido por lo menos 45 especies de murciélagos, 36 de mamíferos no voladores, 26 de colibríes, 7 de nectarinas o pájaros sol y 70 de pájaros paseriformes (Kearns et al. 1998).

En años recientes, el consenso general sobre el aumento en las tasas de pérdida de biodiversidad en los sistemas agrícolas ha suscitado un aumento en la cantidad de acciones internacionales, nacionales y locales relacionadas con el manejo de la biodiversidad. Sobresalen entre estas iniciativas el proyecto mundial para la conservación en fincas del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, hoy Bioversity International) (Jarvis y Hodgkin 2000; Jarvis et al. 2000); el Proyecto Pueblos, Manejo de Tierras y Cambio Ambiental (PLEC) (Brookfield 2001; Brookfield et al. 2002); la Red de Desarrollo y Conservación de la Biodiversidad Campesina (CBDC); el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Instituto de Biología y Fertilidad del Suelo (TSBF), y el Proyecto del Fondo Mundial para el Medio Ambiente para la Conservación de la Biodiversidad Bajo el Suelo (BGBD); el Proyecto Mundial de Polinizadores apoyado por la FAO; y el Programa Operativo sobre Biodiversidad Agrícola; y otros proyectos financiados por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF). En el Simposio Internacional “Manejo de la Biodiversidad en Ecosistemas Agrícolas”, llevado a cabo en Montreal en 2001, como actividad paralela a la reunión del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico del CDB, se revisaron muchos de los estudios de caso realizados en el marco de estas y otras iniciativas.

Este libro parte de los estudios de caso presentados en el Simposio de Montreal. Mientras que los enfoques convencionales se centran en los componentes de la agrobiodiversidad como elementos estáticos, muchos capítulos de este libro enfatizan en cambio los aspectos dinámicos de ella y la interacción entre sus componentes. Los investigadores con experiencia e interés en las ciencias sociales y ambientales también han introducido nuevas perspectivas y enfoques en este campo, para comprender los procesos y vínculos, el dinamismo y las prácticas esenciales a la forma en que se ha manejado la biodiversidad durante años y la forma en que se sigue manejando en los sistemas y comunidades agrícolas, y en la sociedad en general.

### Las múltiples dimensiones de la agrobiodiversidad

La agrobiodiversidad incluye todos los componentes de la diversidad biológica relacionados con la producción de bienes en los sistemas agrícolas, es decir, las variedades y la variabilidad de las plantas, los animales y los microorganismos, a nivel de genes, especies y ecosistemas, necesarios para mantener las funciones, estructuras y procesos clave de los agroecosistemas. Por tanto incluye los cultivos, los árboles y otras plantas, los peces y animales de cría relacionados, y las especies de polinizadores, simbioses, plagas, parásitos, depredadores y competidores.

Los sistemas agropecuarios contienen una *biodiversidad planificada*, es decir, una diversidad de plantas que se cultivan y de animales que se crían. Junto con los parientes silvestres de los cultivos, esta diversidad constituye los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. Sin embargo, la *biodiversidad agrícola* (o agrobiodiversidad) es un término más amplio que también incluye la biodiversidad asociada que apoya la producción agrícola mediante el reciclaje de nutrientes, el control de plagas y la polinización (Wood y Lenne 1999) y mediante múltiples productos. También se puede considerar parte de la biodiversidad agrícola, aquella biodiversidad que proporciona servicios ambientales más amplios, como por ejemplo la protección de cuencas (Aarnink et al. 1999; CBD 2000; Cromwell et al. 2001).

El trabajo que se presenta en esta publicación asume un enfoque amplio y comprensivo y trata de señalar algunos temas que han ido emergiendo en el campo de la investigación sobre la biodiversidad en sistemas agrícolas. Los Capítulos 2 y 7 se refieren principalmente a la diversidad entre los cultivos, los recursos pecuarios y los peces, los cuales forman gran parte de la biodiversidad planificada en los sistemas agrícolas. Además de los

cultivos domesticados y los recursos pecuarios, la biodiversidad *manejada* y *silvestre* brinda una amplia gama de especies vegetales y animales, incluyendo las hortalizas de hoja ancha, las frutas y nueces, los hongos, los animales silvestres, los insectos y los artrópodos, y los recursos acuáticos (incluyendo los moluscos y crustáceos, así como los peces) (Pimbert 1999; Koziell y Saunders 2001; consultar también Halwart y Bartley, Capítulo 7). Estas fuentes de alimento siguen teniendo mucha importancia para la población pobre y sin tierra (Ahkter en el Cuadro 13.2, Capítulo 13) y son particularmente importantes durante épocas de hambruna e inseguridad o conflicto, cuando los canales normales de abastecimiento de alimentos se ven interferidos, y las poblaciones locales o desplazadas tienen acceso limitado a otras formas de nutrición (Scoones et al. 1992; Johns, Capítulo 15). Aún en tiempos normales, la biodiversidad asociada —incluyendo las “malezas”— es importante para complementar los alimentos básicos y balancear la dieta. Algunas comunidades indígenas y tradicionales utilizan para su alimentación más de 200 especies (Kuhnlein et al. 2001; Johns y Sthapit 2004; Johns, Capítulo 15).

La diversidad a nivel de especies o de genes incluye toda la variabilidad presente en una población o una especie en un sitio determinado. La diversidad genética se puede manifestar a través de diferentes fenotipos y su variedad de usos. Se caracteriza por el número de entidades diferentes (por ejemplo, la cantidad de variedades de cada cultivo y la cantidad de alelos en un locus determinado), la uniformidad en la distribución de estas entidades y el grado de diferencia entre las entidades. La diversidad genética de los cultivos también se puede medir en diversas escalas (desde la escala nacional o de grandes agroecosistemas hasta la escala de comunidades locales, fincas, y parcelas); los indicadores de la diversidad genética dependen de la escala. Brown y Hodgkin (Capítulo 2) y Sadiki et al. (Capítulo 3) analizan estos temas en el caso de los cultivos, Gibson et al. (Capítulo 5) hacen el análisis para los recursos pecuarios, y Halwart y Bartley (Capítulo 7) para la diversidad acuática en los ecosistemas de arroz. Como complemento a estos capítulos, algunos estudios de caso ilustran la manera en que los agricultores nombran y manejan unidades de diversidad en sus sistemas de producción agrícola (Sadiki et al., Capítulo 3; Hodgkin et al., Capítulo 4), pecuaria (Hoffmann, Capítulo 6), y de recursos acuáticos (Halwart y Bartley, Capítulo 7).

Los Capítulos 8 a 10 se centran en el papel de la *biodiversidad asociada* en apoyo de la producción de cultivos (consultar también a Swift et al. 1996; Pimbert 1999; Cromwell et al. 2001). Las lombrices y otros componentes de la fauna y los microorganismos del suelo, junto con las raíces de

las plantas y los árboles, mantienen la estructura del suelo y garantizan el reciclaje de nutrientes (Brown et al., Capítulo 9). Los parásitos, los depredadores y los organismos controladores de enfermedades frenan la propagación de plagas y enfermedades así como también la resistencia genética de las mismas plantas (Wilby y Thomas, Capítulo 10; Jarvis et al., Capítulo 11; Zhu et al., Capítulo 12), y los insectos polinizadores contribuyen a la fertilización cruzada de los cultivos (Kevan y Wojcik, Capítulo 8). No sólo los organismos proveen servicios directos de apoyo a la producción agrícola, sino también otros componentes de la red trófica, como aquellas plantas que sirven de forraje a los polinizadores (incluyendo esos pequeños parches de tierras no cultivadas dentro del paisaje agrícola) y las que sirven de presa a los enemigos naturales de las plagas agrícolas. Este concepto se ha demostrado en los campos de arroz de Java, donde complejas redes tróficas aseguran fuentes alternativas de alimento para los enemigos de las plagas que atacan los cultivos, como insectos, arañas y otros artrópodos, cuando las poblaciones de las plagas disminuyen, proporcionando así estabilidad a este sistema de manejo natural de las plagas (Settle et al. 1996).

Las múltiples dimensiones de la biodiversidad en los sistemas de cultivo dificultan la categorización de los sistemas de producción como un todo, en aquellos con alta o con poca biodiversidad, especialmente cuando también se incluyen las escalas espaciales y temporales. En el Capítulo 11, Jarvis et al. se preguntan si la diversidad de los cultivos beneficia la disminución de enfermedades en el tiempo, o si podría constituir un riesgo considerando el posible surgimiento de razas superiores del patógeno. Los autores presentan estudios de caso de genotipos locales resistentes utilizados por los agricultores, del uso de resistencia en mezclas varietales interespecíficas, de los programas de fitomejoramiento que han seleccionado y utilizado genotipos resistentes a las plagas y patógenos para reducir la vulnerabilidad del cultivo. Los autores resaltan el reto de desarrollar criterios para determinar cuándo y dónde la diversidad genética desempeña o puede desempeñar un papel en el manejo de las plagas y enfermedades.

Aunque la investigación académica en biodiversidad agrícola generalmente se ha enfocado en componentes específicos (por ejemplo, cultivos, plagas y recursos pecuarios), los agricultores manejan los sistemas en su totalidad así como las partes que los constituyen. El manejo de la biodiversidad, aprendido a lo largo de años de adaptación, innovación y cambio, al igual que de acervos de conocimiento y práctica, no se puede limitar o describir fácilmente. En el Capítulo 7, Halwart y Bartley explican cómo los agricultores integran la piscicultura en sus sistemas agrícolas. En el Capítulo 13, Brookfield y Padoch discuten algunos enfoques para comprender

cómo los agricultores manejan la biodiversidad agrícola a escalas mayores y más complejas en términos espaciales y temporales. Argumentan que los agricultores frecuentemente manejan la biodiversidad en paisajes heterogéneos utilizando una gama de tecnologías. Los autores emplean el término *agrodiversidad* para describir la integración de la biodiversidad con la diversidad tecnológica e institucional típica de la producción a pequeña escala. El concepto de agrodiversidad es central en el Capítulo 14, en el cual Rerkasem y Pinedo-Vásquez discuten varios ejemplos de cómo los pequeños agricultores manejan la biodiversidad para resolver los problemas que vayan emergiendo. Los autores enfatizan la complejidad, el dinamismo y la naturaleza *híbrida* de sus ejemplos, y revisan y actualizan los puntos de vista convencionales sobre el conocimiento y las prácticas tradicionales para reflejar mejor la realidad de la producción a pequeña escala.

#### Los servicios ambientales y su valor

La biodiversidad de los sistemas agrícolas apunta al abastecimiento de una gama de bienes y servicios de estos ecosistemas (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio 2000). El valor de la biodiversidad se puede expresar en términos económicos porque los pueblos y las sociedades derivan beneficios (o utilidades) del uso de los servicios ambientales que ella provee. El concepto de valor económico total incluye el valor útil corriente (valor seguro más valor de exploración) y el valor de existencia o la preferencia humana de un recurso del cual no se deriva un uso concreto, es ampliamente utilizado por los economistas para identificar varios tipos de valor derivados de la biodiversidad (Orians et al. 1990; Pearce y Moran 1994, Swanson 1996). Además, los bienes y servicios de la biodiversidad son de propiedad pública o de una combinación de propiedad pública y privada. El valor económico de estos bienes no se establece por los precios del mercado porque son bienes que no se comercializan (Brown 1990). Por ejemplo, la combinación de tipos de semilla cultivados por los agricultores produce una cosecha a partir de la cual ellos derivan beneficios privados como alimentos para consumo y venta, o para otros usos. Sin embargo, cuando se consideran estas semillas como genotipos, el patrón de tipos de semilla en el paisaje agrícola contribuye a la diversidad genética de los cultivos a partir de los cuales podrán derivarse beneficios públicos, no sólo los agricultores que las cultivaron, sino también para otras personas ubicadas en otros lugares o en el futuro (Smale 2005). Debido a que las decisiones de los agricultores sobre el uso y el manejo de las variedades cultivadas en

sus fincas pueden resultar en la pérdida de alelos potencialmente valiosos, sus elecciones tienen consecuencias inter-generacionales e inter-regionales. La teoría económica predice que siempre que la biodiversidad agrícola sea un bien, los agricultores, en conjunto, la producirán por debajo de su óptimo social, y se requerirán intervenciones institucionales para cerrar la brecha (Sandler 1999).

En el Capítulo 15, Johns proporciona evidencia empírica del valor de la biodiversidad agrícola para la diversidad dietética, la nutrición y la salud. Gauchan y Smale (Capítulo 16) y Drucker (Capítulo 17) presentan estudios de caso que ilustran el valor de la diversidad de los cultivos y los animales (variación dentro y entre cultivos y generaciones, respectivamente) para los agricultores, en formas que no son captadas por el análisis de los precios del mercado. De hecho, gran parte del valor de la variabilidad en los cultivos y los recursos pecuarios está relacionada con el potencial de adaptación en el futuro o para el mejoramiento de los cultivos, así como para los servicios ambientales como la prevención de la erosión y el control de enfermedades. En los Capítulos 16 y 17 se discute cómo los diferentes sectores de la sociedad perciben estos valores de diferentes maneras (ver también Smale 2005). El Capítulo 16 compara los valores de los genetistas y los de los agricultores, e identifica los factores que influyen en la decisión de los agricultores (es decir, si consideran que vale la pena) de seguir cultivando las variedades nativas de arroz que los fitomejoradores y los conservacionistas consideran importantes para la adaptación o para el fitomejoramiento en el futuro. El Capítulo 17 hace referencia al hecho de que la disminución de los cultivares nativos puede reflejar la falta de disponibilidad de progenitores nativos para los cruzamientos en vez de una preocupación del agricultor por el rendimiento económico de estas razas nativas.

Aunque el valor de la biodiversidad como proveedora de alimentos es ampliamente reconocido, también pueden ser muy significativos los demás valores derivados de ella (Ceroni et al., Capítulo 18). El valor de la biodiversidad y los ecosistemas relacionados por lo general se calcula marginalmente, es decir, para evaluar el valor de los cambios en los servicios ambientales resultantes de decisiones de manejo o de otras actividades humanas, o para evaluar el valor de la biodiversidad de (o el servicio proporcionado por) un área pequeña en comparación con un área total mayor. A pesar de que existen diversos métodos de evaluación para estimar los diferentes valores de la biodiversidad, sólo los bienes ambientales (o *el suministro de servicios ambientales*) se valoran de manera rutinaria (Ceroni et al., Capítulo 18). No se asigna valor a la mayoría de los servicios de

apoyo o regulación porque conllevan las características de bienes públicos y no se comercializan.

### Interacciones entre los componentes de la biodiversidad y el manejo de los agricultores

Aunque no comprendamos del todo la relación entre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema, es posible aseverar varios aspectos. En primer lugar, la composición de las especies puede ser más importante que el número absoluto de especies. Una gran diversidad de asociaciones de funciones es más importante desde la perspectiva funcional que la riqueza de la especie en sí misma (Brown et al., Capítulo 9). Por ejemplo, el rango de asociaciones de las funciones de los depredadores es clave para el control natural efectivo de las plagas (Wilby y Thomas, Capítulo 10). En segundo lugar, la diversidad genética dentro de las poblaciones es importante para la continua adaptación a las condiciones cambiantes y a las necesidades de los agricultores mediante la evolución, y en último caso, para el suministro continuo de bienes y servicios ambientales (consultar a Brown y Hodgkin, Capítulo 2; Sadiki et al., Capítulo 3; Hodgkin et al., Capítulo 4; Hoffmann, Capítulo 6; Halwart y Bartley, Capítulo 7; Jarvis et al., Capítulo 11). Y en tercer lugar, la diversidad dentro y entre los hábitats y a nivel del paisaje también es importante de múltiples maneras (Brookfield y Padoch, Capítulo 13; Rerkasem y Pinedo-Vásquez, Capítulo 14). La diversidad a nivel del paisaje puede incluir la diversidad de las plantas requeridas para suministrar fuentes alternativas de forraje y sitios donde los polinizadores de los cultivos puedan anidar, o para proporcionar fuentes alternas de alimentos para los enemigos naturales de las plagas que atacan los cultivos (Kevan y Wojcik, Capítulo 8; Wilby y Thomas, Capítulo 10).

Muchos de los estudios de caso del manejo a pequeña escala que se describen en este libro muestran la explotación de lo que convencionalmente se consideran ambientes no propicios o marginales para la producción agrícola. Es en estos ambientes (empinados, infértiles, propensos a la inundación, secos o distantes) donde se siguen encontrando gran parte de los pequeños agricultores y mucha de la biodiversidad agrícola. En estas circunstancias, el manejo de altos niveles de diversidad se puede volver parte central de las estrategias de manejo de los medios de vida de los agricultores y los ganaderos, y de la supervivencia de sus comunidades (Brookfield y Padoch, Capítulo 13; Rerkasem y Pinedo-Vásquez, Capítulo 14). La biodiversidad agrícola ayuda a garantizar algún nivel de resiliencia, al

ser capaz de absorber choques o cambios y mantener su funcionalidad. Los pequeños agricultores y los ambientes sociales y económicos en los que operan están continuamente expuestos a muchos cambios. Cuando se presenta un cambio repentino, los más resilientes tienen la capacidad de renovar, reorganizar e incluso prosperar (Folke et al. 2002). En un sistema que ha perdido su flexibilidad para tolerar los cambios, éstos, por pequeños que sean, pueden ser potencialmente desastrosos. La falta de capacidad para enfrentar los riesgos, los estreses y los choques (sean éstos políticos, económicos o ambientales) contamina y amenaza los medios de vida de los pequeños agricultores.

### El futuro de la agrobiodiversidad

Es común escuchar que la globalización y la búsqueda de una mayor productividad agrícola son los enemigos de la agrobiodiversidad. La dispersión de semillas híbridas y de tecnologías de la Revolución Verde; los nuevos regímenes alimenticios; las leyes sobre propiedad intelectual; y la liberación, el registro y la certificación de semillas y variedades, así como las restricciones de acceso a nivel mundial son todos factores que han tenido un impacto negativo en la biodiversidad. Sin embargo, los efectos de estas tendencias de modernización y globalización no han sido ni simples, ni lineales. Las tecnologías modernas y la globalización de los mercados han proporcionado nuevas oportunidades para manejar la agrobiodiversidad y las amenazas. En algunos casos, tienden a favorecer una mayor especialización y uniformidad en los sistemas agrícolas; los insumos externos, tales como los fertilizantes, los plaguicidas y las variedades mejoradas reemplazan parcialmente algunos servicios proporcionados por la agrobiodiversidad en las fincas. El uso excesivo o inapropiado de algunos insumos frecuentemente reduce la biodiversidad de los ecosistemas agrícolas (comprometiendo así la productividad en el futuro) y de otros ecosistemas. Tal como lo sugieren muchos de los capítulos de este libro, los enfoques alternativos que hacen uso de la agrobiodiversidad para suministrar estos servicios pueden resultar beneficiosos tanto para la productividad como para la conservación de la biodiversidad. Para identificar las prácticas de manejo, las tecnologías y las políticas que promueven los impactos positivos (y mitigan los negativos) de la agricultura en la biodiversidad, que mejoran la productividad, y que aumentan la capacidad de sostener los medios de vida, necesitaremos comprender mejor los vínculos, las interacciones y las asociaciones entre diferentes componentes de la agrobiodiversidad y las

maneras en las que contribuyen a la estabilidad, la resiliencia y la productividad en diferentes tipos de sistemas de producción. Como creadores y guardianes de gran parte de la agrobiodiversidad del mundo, los agricultores deben estar totalmente comprometidos con estos esfuerzos.

## Referencias

- Aarnink, W., S. Bunning, L. Collette, y P. Mulvany, eds. 1999. *Sustaining Agricultural Biodiversity and Agro- Ecosystem Functions: Opportunities, Incentives and Approaches for the Conservation and Sustainable Use of Agricultural Biodiversity in Agro- Ecosystems and Production Systems*. Roma: FAO.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. Nueva York: Columbia University Press.
- Brookfield, H., C. Padoch, H. Parsons, y M. Stocking. 2002. *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*. Londres: ITDG Publishing.
- Brown, G. M. 1990. Valuing genetic resources. En G. H. Orians, G. M. Brown, W. E. Kunin, y J. E. Swierzbinski, eds., *Preservation and Valuation of Biological Resources*, 203–226. Seattle: University of Washington Press.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2000. *Programme of Work on Agricultural Biodiversity*. Decisión V/5 de la Conferencia de las Partes a la Convención sobre Biodiversidad, Mayo 2000, Nairobi: Convención sobre Biodiversidad.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2003. *Monitoring and Indicators: Designing National-Level Monitoring Programmes and Indicators*. Montreal: Convención sobre Biodiversidad.
- Cromwell, E., D. Cooper, y P. Mulvany. 2001. Agricultural biodiversity and livelihoods: Issues and entry points for development agencies. En I. Koziell y J. Saunders, eds., *Living Off Biodiversity: Exploring Livelihoods and Biodiversity Issues in Natural Resources Management*, 75–112. Londres: International Institute for Environment and Development.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. *The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Roma: FAO.
- Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C. S. Holling, y B. Walker. 2002. *Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformation*. Documento científico preparatorio sobre resiliencia para la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, presentado en nombre del Consejo Asesor de Medio Ambiente del gobierno de Suecia. Disponible en [www.un.org/events/wssd](http://www.un.org/events/wssd).
- Hilton- Taylor, C., ed. 2000. *Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Mundial para la Naturaleza*. Gland, Suiza: IUCN.

- Ingram, M., G. C. Nabhan, y S. Buchmann. 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet* 7:1.
- Jarvis, D. I. y T. Hodgkin. 2000. Farmer decision-making and genetic diversity: Linking multidisciplinary research to implementation on- farm. En S. B. Brush, ed., *Genes in the Field: On- Farm Conservation of Crop Diversity*, 261-278. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Jarvis, D. I., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit, y T. Hodgkin. 2000. *A Training Guide for In situ Conservation On-Farm, Version 1*. Roma: International Plant Genetic Resources Institute.
- Jarvis, D. I., D. Nares, T. Hodgkin, y V. Zoes. 2004. On- farm management of crop genetic diversity and the Convention on Biological Diversity programme of work on agricultural biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 138:5-17.
- Johns, T. y B. R. Sthapit. 2004. Biocultural diversity in the sustainability of developing country food systems. *Food and Nutrition Bulletin* 25:143-155.
- Kearns, C. A., D. W. Inouye, y N. M. Waser. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecological Systems* 29:83-112.
- Koziell, I. y J. Saunders, eds. 2001. *Living Off Biodiversity: Exploring Livelihoods and Biodiversity Issues in Natural Resources Management*. Londres: International Institute for Environment and Development.
- Kuhnlein, H. V., O. Receveur, y H. M. Chan. 2001. Traditional food systems research with Canadian indigenous peoples. *International Journal of Circumpolar Health* 60:112-122.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell.
- Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Wellbeing*. Vol 1: Status and Trends. Washington, DC: Island Press.
- Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.
- Orians, G. H., G. M. Brown, W. E. Kunin, y J. E. Swierzbinski, eds. 1990. *Preservation and Valuation of Biological Resources*. Seattle: University of Washington Press.
- Pearce, D. y D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. Londres: Earthscan.
- Pimbert, M. 1999. *Sustaining the Multiple Functions of Agricultural Biodiversity*. Documento preparatorio para la Conferencia de la FAO en Holanda sobre el Carácter Multifuncional de la Agricultura y el Suelo. Roma: FAO.
- Sandler, T. 1999. Intergenerational public goods: Strategies, efficiency, and institutions. En I. Kaul, I. Grunberg, y M. A. Stein, eds., *Global Public Goods*, 20-50. Oxford, RU: United Nations Development Programme and Oxford University Press.

- Scoones, I., M. Melnyk, y J. N. Pretty. 1992. *The Hidden Harvest: Wild Foods and Agricultural Systems—A Literature Review and Annotated Bibliography*. Londres: International Institute for Environment and Development.
- Settle, W. H., H. A. Ariawan, E. T. Cayahana, W. Hakim, A. L. Hindayana, P. Lestari, y A. S. Pajarningsih and Sartanto. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77:1975-1988.
- Smale, M. 2005. Concepts, metrics and plan of the book. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, RU: CAB International.
- Swanson, T. 1996. Global values of biological diversity: The public interest in the conservation of plant genetic resources for agriculture. *Plant Genetic Resources Newsletter* 105:1-7.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, y B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. En H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, y E.- D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. Chichester: Wiley, scope/UNEP.
- Wood, D. y J. M. Lenne. 1999. Why agrobiodiversity? En D. Wood y J. M. Lenne, eds., *Agrobiodiversity: Characterization, Utilization and Management*, 1-14. Wallingford, RU: CAB International.

## 2 Medición, manejo y mantenimiento en fincas de la diversidad genética de los cultivos

---

A. H. D. BROWN y T. HODGKIN

El gran reto que la comunidad agrícola mundial enfrenta hoy es cómo desarrollar y mejorar la productividad de los ecosistemas agrícolas para aliviar la pobreza y garantizar la seguridad alimentaria de manera sostenible. Mundialmente se reconoce que la diversidad fitogenética es esencial para satisfacer las necesidades a corto plazo y alcanzar la sostenibilidad a largo plazo.

El manejo de la biodiversidad es complejo y sintético, incluye todos los niveles de la diversidad (ecosistemas, especies, genes y ambiente) y depende de varias disciplinas (genética, sistemas agrícolas, ciencias sociales). Frente a la pregunta de si la diversidad genética amerita un enfoque especial o si es un asunto de la competencia de estas disciplinas, nosotros sostenemos que sí.

Por tanto, necesitamos un marco de conocimiento para manejar la agrobiodiversidad a nivel genético, *in situ*, de manera sostenible, y ese marco de trabajo debe tener en cuenta la conservación y el uso de la agrobiodiversidad. Este capítulo hace referencia a la conservación de la diversidad genética de las plantas en los sistemas de producción, describiendo cómo los diferentes tipos de información genética pueden ilustrar la tarea de manejar la diversidad genética y derivar acciones e indicadores de progreso. La biodiversidad de las plantas está constituida por tres categorías de especies en el paisaje rural:

- Aquellas especies de plantas cuidadas deliberadamente, o cultivadas y cosechadas para producir alimento, fibra, combustible, forraje, madera, medicina, decoración o para otros usos.

- En el otro extremo, las especies silvestres presentes en las comunidades naturales y que benefician el ambiente agrícola suministrando protección, sombra y regulación de los recursos hídricos.
- Entre estos extremos, los parientes silvestres de las especies domesticadas que se cruzan con sus parientes cultivados y contribuyen al acervo de genes de éstos, y que sobreviven de manera autónoma, compartiendo muchas de las plagas y enfermedades de los cultivos, y que a veces son consumidos para aliviar el hambre.

Este capítulo presta particular atención a la primera de estas categorías.

### Nuevas perspectivas sobre la diversidad genética

El aprecio de los seres humanos por la diversidad genética de las plantas tiene una larga historia (Frankel et al. 1995). Tradicionalmente, los agricultores han manipulado, seleccionado y utilizado las diferencias que han percibido entre y dentro de las especies de plantas con las cuales ellos y sus familias se han mantenido. Estas diferencias están en la morfología, la productividad, la confiabilidad, la calidad, la resistencia a plagas y otras características similares, incluyendo la variabilidad, que puede no ser aparente a la vista de alguien no entrenado. Ahora hemos entrado en la era de la biología molecular, que nos proporciona nuevas herramientas y medios para entender, de una nueva manera, la diversidad genética desde su nivel fundamental. Esta sección esboza algunas perspectivas que están surgiendo sobre la diversidad genética y las relaciona con estudios más tradicionales sobre la variación agromorfológica en las especies cultivadas.

#### *Diversidad molecular*

La diversidad genética surge principalmente como cambios en la secuencia lineal de los nucleótidos del ADN. Los cambios en la secuencia se pueden presentar en la región codificante de los genes o en las regiones espaciadoras entre genes o dentro de los genes. Los cambios suceden también en el número de copias de los genes, en los vínculos entre diversos genes o en todo el cromosoma. Algunos de estos cambios se traducen en variaciones en las proteínas, en el polimorfismo de los marcadores, en los caracteres genéticos y en variaciones morfológicas de características agronómicas, dando como resultado variedades con diferentes nombres.

Para manejar efectivamente la diversidad, necesitamos medirla y entender su alcance y distribución. Los esfuerzos para medir la variabilidad han abarcado desde la evaluación de los fenotipos de la planta, utilizando caracteres morfológicos, hasta el uso de marcadores moleculares. Tres de las principales herramientas recientes de la biología molecular están ofreciendo nuevas perspectivas sobre la diversidad genética de los cultivos y están abriendo nuevos caminos para manejar los recursos fitogenéticos. Ellas son el polimorfismo de un solo nucleótido (SNP, de su nombre en inglés), los análisis filogenéticos y la genómica funcional. Estas herramientas de investigación se han desarrollado gracias a que cada vez más se pueden obtener datos de las secuencias del ADN en un mayor número de muestras.

#### POLIMORFISMO DE UN SOLO NUCLEÓTIDO (SNP)

El Tabla 2.1 resume estimaciones recientes de la diversidad al nivel de ADN, en plantas cultivadas o parientes silvestres, como la probabilidad de encontrar pares de bases diferentes entre dos secuencias tomadas de

Cuadro 2.1. Estudios recientes de diversidad en el nucleótido.

Especie	Muestra	Gen(es)	K (bp)*	$\theta$ (bp)*	Secuencia por individuo (kb)
<i>Zea mays</i> (maíz) <sup>a</sup>	9 razas, 16 cultivares nativos	loci 21	0.036	0.010	14.4
<i>Hordeum spontaneum</i> (cebada silvestre) <sup>b</sup>	25 accesiones ampliamente distribuidas	<i>Adh1</i> <i>Adh2</i> <i>Adh3</i>	0.01 0.02 0.06	0.003 0.005 0.015	1.4 2.0 1.8
<i>Triticum aestivum</i> (trigo para panadería) <sup>c</sup>	<8 variedades	Sondas de polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción	0.004	—	2.4
<i>Glycine max</i> (soya) <sup>d</sup>	25 genotipos: Codificados No codificados	loci 115	0.002 0.005	0.00053 0.00125	29 48

Fuentes: <sup>a</sup>Tenaillon et al. (2001), <sup>b</sup>Lin et al. (2002), <sup>c</sup>Bryan et al. (1999), <sup>d</sup>Zhu et al. (2003).

\*La estadística de riqueza de la diversidad K es la cantidad promedio de sitios polimórficos para un par de bases, y la estadística de uniformidad  $\theta$  corresponde aproximadamente a la heterocigosidad.

muestras de diferentes colecciones. Estos cálculos del SNP son preliminares y solo a nivel de especie pues aún faltan datos sobre las poblaciones. La *estadística de riqueza* de la diversidad K es la cantidad promedio de sitios polimórficos para un par de bases, y la *estadística de uniformidad* corresponde aproximadamente a la heterocigosidad. En otras palabras, se podría pensar que su inverso es el número promedio de pares de bases ubicadas entre cada SNP cuando se comparan dos secuencias seleccionadas al azar.

Estos cálculos y otros similares muestran que la diversidad genética a nivel del ADN es amplia. Los cálculos también enfatizan la gran diferencia en el grado de diversidad de las diferentes partes del gen, o entre genes y regiones espaciadoras en el genoma. La diversidad molecular en el sistema deshidrogenasa alcohólica de la cebada silvestre ilustra la tendencia a que se acumule diversidad adicional en el ADN de partes menos importantes del genoma. La principal deshidrogenasa alcohólica (*Adh 1*) tiene aproximadamente la mitad de la diversidad que en el locus menor *Adh 2* (Tabla 2.1). El tercer locus (*Adh 3*), el cual es silencioso en la siguiente progenie de la cebada silvestre, parece ser el menos crucial pero alberga la mayor diversidad. En una muestra de cultivares de trigo, la baja estimación de la diversidad parece reflejar las restricciones sobre la diversidad dentro en los acervos de genes muy seleccionados de las variedades modernas, y un posible cuello de botella en el número restringido de orígenes del trigo hexaploide.

El sistema de fitomejoramiento también constituye una variable clave. Charlesworth y Pannell (2001) revisaron recientemente los cálculos de diversidad molecular de poblaciones de plantas naturales y enfatizaron la importancia de los sistemas de mejoramiento. El Tabla 2.1 incluye algunos datos sobre el maíz para compararlos con los del trigo y la cebada silvestre, y como se esperaba, el maíz tiene al menos el doble de valores de endogamia. Esta diferencia entre las especies alógamas y las autógamas es más evidente a nivel de población que de especie (Hamrick y Godt 1997).

Gran parte de esta diversidad en la secuencia del nucleótido no se podría expresar funcionalmente y surge entonces la pregunta de cuál podría ser su propósito en el manejo de la agrobiodiversidad. Esta diversidad selectivamente neutral es ideal para medir progenies y relaciones comparativas entre individuos, poblaciones y especies, logrando obtener evidencia de cuellos de botella recientes en el tamaño de las poblaciones, en la documentación del flujo genético, en las recombinaciones, en el abastecimiento de semillas y en la identificación de variedades.

## FILOGENIA Y COALESCENCIA

El segundo resultado del volumen creciente de datos provenientes de secuencias del ADN y de la mayor capacidad para generar muestras de secuencias a partir de poblaciones es una mayor exactitud en las filogenias y la inclusión de una dimensión temporal evolutiva en el análisis de diversidad de las secuencias (Clegg 1997). A medida que esta tecnología se vaya difundiendo, se podrá ubicar en el tiempo el movimiento de los genes y las poblaciones. Comprender las relaciones ayudará a mejorar las decisiones sobre conservación, a desarrollar colecciones núcleo, a buscar nuevos caracteres como nuevas resistencias, y a seleccionar progenitores para el fitomejoramiento.

La filogenia de los alelos de muestras de cebada silvestre en el locus *Adh3*, por ejemplo, separa las accesiones en dos linajes diferentes que, de acuerdo con el reloj molecular, se separaron hace unos 3 millones de años (Lin et al. 2002). Uno de los grupos de genes tenía poblaciones de la región norte y occidental de la Medialuna Fértil (Israel, Jordania, Turquía, Siria e Iraq). El otro grupo de genes se solapa parcialmente y se extiende hacia el oriente (Iraq, Irán, Turkmenistán y Afganistán). Este resultado lleva a preguntarse si la divergencia se aplica a las otras partes del genoma y al grado de incorporación de los dos linajes *Adh3* en el acervo de genes de la cebada cultivada.

Las filogenias moleculares también incorporan una nueva perspectiva que permite evaluar la biodiversidad con fines de conservación (Brown y Brubaker 2000). En el subgénero *Glycine*, cuyas especies perennes son parientes silvestres de la soya, las filogenias basadas en secuencias de los organelos (cloroplastos) y en las familias nucleares de uno y de varios genes han ayudado a entender las relaciones entre las especies y el origen de los linajes poliploides. Las medidas de diversidad que incorporan caracteres diferenciadores se pueden usar para evaluar la eficacia de una red de reservas naturales en la conservación del acervo genético completo del subgénero. En cuanto a la determinación de la diversidad en fincas, las medidas que utilizan la diferenciación ayudan a identificar las áreas que requieren mayor estudio y esfuerzos de conservación.

## GENÓMICA FUNCIONAL

Considerando que gran parte de la diversidad del nucleótido dentro de una especie está ubicada en la parte del genoma que no se expresa ¿cómo vamos a identificar la pequeña fracción de diversidad genética que tiene

importancia funcional? Las nuevas técnicas de microarreglos de ADN en el campo de la genómica proporcionan un nuevo enfoque (Aharoni y Vorst 2001; Peacock y Chaudhury 2002). La genómica estudia todos los genes de un organismo al mismo tiempo. Los microarreglos (biochips de ADN) nos permiten trazar el diseño del genoma de una planta en un arreglo espacial. El genoma de *Arabidopsis*, por ejemplo, se puede acomodar como 100,000 gotas en una sola placa portaobjetos, que se pueden replicar y usar muchas veces como arreglos de referencia.

Los arreglos de referencia pueden después seleccionarse de dos poblaciones de ARN mensajeros de dos fuentes contrastantes. La fortaleza de este enfoque es que es fundamentalmente comparativo, permitiendo distinguir los genes que han presentado respuesta a un determinado estrés, de aquellos que no presentan respuesta. La expresión diferencial entre los genotipos tolerantes al estrés y los genotipos susceptibles podría surgir de diferencias genéticas en las regiones de control que regulan estas secuencias de indicadores o de las diferencias en los genes estructurales. Hay un solapamiento significativo entre los genes de *Arabidopsis* que responden a diferentes tipos de estrés (E. Klok y E. Dennis, comunicación personal, 2003). Por tanto, la expresión de los mismos 34 genes cambió al ser sometidos a poco oxígeno y a incisiones en el tejido, mientras que 5 genes respondieron a los tres factores de estrés (hipoxia, incisión y sequía). La determinación de estos genes en *Arabidopsis* nos podría ofrecer una herramienta potente para seleccionar poblaciones en cultivos con una alta capacidad de adaptación al estrés. Es así como los enfoques genómicos y el uso de microarreglos brindan la oportunidad de vincular la expresión diferencial a nivel del ADN con la divergencia adaptativa.

#### *Adaptabilidad de la variación en cultivares nativos*

La tecnología de los microarreglos es una manera innovadora y prometedora de descubrir la diversidad genética a nivel molecular, en términos de adaptabilidad de las poblaciones, pero esta tecnología no se ha probado aún a gran escala. Procedimientos un poco más utilizados actualmente indican que los cultivares nativos son reservorios de variabilidad de adaptación. Teshome et al. (2001) revisaron recientemente la investigación publicada sobre variabilidad de cultivares nativos de cereales y leguminosas en sus centros de origen (Tabla 2.2). La revisión tuvo en cuenta los estudios sobre la influencia de factores humanos, bióticos y abióticos que mantienen la diversidad genética y la diferenciación de la población en cultivares tradicionales. Si bien hay muchos informes en los que se mi-

dió la variabilidad de los marcadores genéticos o la morfología, pocos intentaron analizar la función de la diversidad y los factores clave que la mantienen. Además, la mayoría de los estudios examinaron la divergencia entre poblaciones y unos pocos se enfocaron en la variabilidad dentro de poblaciones individuales. A pesar de estos inconvenientes, la creciente evidencia en la literatura científica indica que las razas nativas se adaptan a factores especiales de su ambiente y representan una abundante fuente de diversidad que podría ser mejor identificada con técnicas como la de los microarreglos.

Entre los estudios recientes de adaptabilidad de los cultivares nativos, basados en un muestreo nuevo y exhaustivo de poblaciones originales en vez de en materiales mantenidos en bancos de germoplasma, está el de Weltzien y Fischbeck (1990), quienes demostraron el comportamiento superior de los cultivares nativos de cebada en ambientes marginales y áridos del Cercano Oriente. Para identificar los principales factores que afectan la diversidad de los cultivares nativos de sorgo, Teshome et al. (1999) estudiaron muestras tomadas en Shewa del Norte y Welo del Sur en Etiopía. El muestreo sistemático de más de 200 parcelas encontró 64 variedades nombradas por el agricultor con un promedio de 10 razas diferentes por parcela. En este ejemplo, en el que cada parcela tenía una mezcla de cultivares nativos, cada cultivar nombrado se contabilizaba como una unidad

**Tabla 2.2.** Cantidad de estudios que reportan divergencias en los marcadores genéticos (isoenzimas, polimorfismo de ADN) o en las características morfológicas (por ejemplo, características agronómicas y de la planta, calidad, rendimiento) entre cultivares nativos de cereales y de leguminosas de grano.

Tipo de factores de divergencia	Marcadores genéticos	Características morfológicas
Separación geográfica a diferentes escalas (entre países, regiones, o sitios)	12	19
Interacciones bióticas (plagas y enfermedades)	0	7
Gradientes y mosaicos abióticos (altitud, clima, suelos, tamaño de parcela)	7	14
Estreses abióticos debidos a situaciones extremas de inundación, aridez, calor, frío, salinidad	2	8
Criterios de selección de los agricultores	1	3
Total (42 poblaciones y 31 muestras del banco de germoplasma)	22	51

*Fuente:* Teshome et al. (2001)

de diversidad genética. Las estadísticas que miden la riqueza y la uniformidad, a partir de frecuencias morfológicas son fáciles de calcular. Realizando múltiples regresiones entre la riqueza de cultivares nativos y un arreglo de variables a nivel de campo, se encontró mayor diversidad en los campos ubicados a altitudes intermedias, en los campos con suelos de pH bajo y con un menor contenido de arcilla, y en los suelos donde los agricultores usaron más criterios de selección para escoger los cultivares nativos que cultivaban. El Capítulo 4, por ejemplo, presenta evidencia procedente de estudios de caso que ejemplifica esta adaptación.

El estudio de las características morfológicas y el comportamiento de la población en ambientes benignos y adversos parecen estar totalmente distanciados de los cálculos de diversidad del ADN y de sus patrones (dejamos a un lado los estudios de genómica funcional y los microarreglos, ya que son tecnologías que pueden cerrar la brecha entre la diversidad molecular y la diversidad morfológica). Si se incluyeran estudios de alozimas, surgiría entonces una gran cantidad de literatura científica a partir de los diversos tratamientos de esta relación en todos los tipos de poblaciones de plantas —lo cual sería muy extenso para revisar aquí. Existen muchos menos estudios de diversidad en cultivares nativos. Hoy en día, la escala y la intensidad del muestreo de datos de secuencia de ADN son generalmente muy distintos de los estudios morfológicos, pero esto cambiará a medida que se lleven a cabo proyectos para detectar el “desequilibrio de ligamiento” entre marcadores y caracteres en las colecciones (Rafalski 2002).

Lo ideal sería tener información tanto a nivel molecular como a nivel morfológico para comprender totalmente los caracteres de adaptación y su interpretación y análisis de manera articulada, en términos del ambiente y del manejo humano. La fortaleza de los datos de secuencia del ADN es que nos cuentan los procesos evolutivos (tamaños de las poblaciones, conexiones, ancestros compartidos, recombinación), mientras que los caracteres adaptativos son mediciones directas del mejoramiento y beneficio de los cultivos, y se relacionan directamente con las necesidades de los agricultores.

### Indicadores para manejar la diversidad genética in situ

Para monitorear la diversidad genética en fincas se necesitan indicadores. Un indicador es una variable física, química, biológica, social o económica significativa que se puede medir de una manera definida, con fines de manejo. El Tabla 2.3 hace un listado de indicadores sugeridos para

monitorear y manejar la agrobiodiversidad in situ de dos grupos (especies domesticadas y silvestres) y agrega otros indicadores que tienen en cuenta los vínculos entre las actividades in situ y las ex situ (Brown y Brubaker 2002). El primer grupo corresponde a plantas cultivadas por la humanidad o que podrían ser cultivadas, e incluye las especies domesticadas que dependen de los seres humanos para sobrevivir y las especies silvestres utilizadas directamente por los agricultores, como las plantas que son fuente de medicinas tradicionales y de otros usos culturales. El segundo grupo está constituido por el resto de especies de plantas que crecen naturalmente en el agroecosistema y que no son usadas directamente (omitimos aquí la discusión sobre los indicadores para las estrategias ex situ. Estos indicadores se discuten en otra literatura [Brown y Brubaker 2002], y el enfoque aquí está en la diversidad in situ).

#### *Plantas domesticadas y especies silvestres útiles*

Brown y Brubaker (2002) sugirieron que la cantidad de cultivares nativos diferentes en cada cultivo en un área es un indicador primario, junto con cierta medida de prevalencia, o la proporción del área dedicada a su cultivo en comparación con el área disponible en la región. Aunque en principio este concepto es sencillo, años de experiencia del proyecto de conservación in situ del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, hoy Bioversity) han resaltado diversas dificultades prácticas al momento de recopilar esta información. Los investigadores están preocupados por reconocer y nombrar los cultivares nativos: cómo se diferencian entre especies de cultivos y entre culturas, así como cuánta diferencia existe entre poblaciones de cultivares nativos con el mismo nombre en diferentes aldeas, tanto en el tiempo como en el espacio. Cierta grado de imprecisión es inevitable y puede ser a veces deseable, permitiendo cierta flexibilidad. Análisis como los de Teshome et al. (1999) del reconocimiento por parte de los agricultores de los cultivares nativos de sorgo de Etiopía, y los de Sadiki et al. (Capítulo 3) de cultivares nativos de habas en Marruecos, han mostrado que el conocimiento tradicional es sorprendentemente confiable. Y es de esperarse, puesto que el conocimiento, el reconocimiento y la nomenclatura de la diversidad de los cultivos de los agricultores son cruciales para su subsistencia.

Si existe suficiente información de base, el porcentaje de área ocupada por los cultivares nativos tradicionales probablemente será un indicador importante del cambio en la diversidad genética en fincas en un área. El examen de la incidencia y la frecuencia de un cultivar nativo en particu-

Tabla 2.3. Indicadores propuestos para el monitoreo.

Indicador propuesto	Dificultades de validación e interpretación	Nivel o unidad mínima al cual aplica	Capacidad para combinar a niveles superiores*
Plantas domesticadas y especies silvestres cosechadas			
Número, frecuencia y área de un cultivar nativo definido o de poblaciones silvestres cosechadas	¿Son confiables los nombres? ¿Cómo varía genéticamente una raza nativa específica en el tiempo y el espacio?	Campo o parcela	++
Amplitud ambiental del área dedicada a cada cultivo	¿Está la diversidad genética relacionada con la diversidad ambiental abiótica y biótica, y a qué escala? ¿Cuál es la relación entre incidencia y productividad?	Región	++
Cantidad, durabilidad y evolución de los criterios de manejo y selección del agricultor	¿Conducen los diferentes criterios y los diferentes usos a la diversidad genética?	Finca	+
Seguridad del conocimiento tradicional	¿En qué niveles se establecen las relaciones entre diversidad y conocimiento?	Distritos administrativos	-
Especies silvestres y parientes de los cultivos			
La presencia de especies en áreas designadas que abarcan un rango ambiental	¿Cuáles son las ubicaciones geográficas relativas, el manejo y las políticas sobre la distribución de beneficios de áreas especificadas?	Distritos administrativos de recursos naturales	+
Cantidades y tamaños de poblaciones	¿Cómo se relacionan tamaño del inventario y durabilidad? ¿Cuáles son los tamaños mínimos viables?	Meta población (valle)	++
Diversidad de genes, divergencia de la población y distribución	¿Cuál es la relación entre la información genética y la estrategia?	Población	++

Cuadro 2.3. Continuación

Indicador propuesto	Dificultades de validación e interpretación	Nivel o unidad mínima al cual aplica	Capacidad para combinar a niveles superiores*
Vínculos entre las actividades in situ y ex situ			
Muestras de seguridad mantenidas ex situ de poblaciones vulnerables in situ; sitios de conservación in situ de especies recalcitrantes	Escala del muestreo, reabastecimiento y estrategias de uso	Colecciones individuales	++
Vínculos de cooperación entre las instituciones de conservación ex situ y las comunidades agrícolas	Protocolos para el intercambio de información y de semilla, distribución de los beneficios, transferencia de tecnología	Programas nacionales	-

*Fuente:* Modificado de Brown y Brubaker (2002).

\*Se refiere a si el valor de un indicador a niveles superiores (por ejemplo, a nivel de aldea) se puede derivar de su valor a un nivel inferior (por ejemplo, a nivel de finca) mediante el cálculo apropiado de promedios.

lar puede producir mucha información. Sin embargo, estas variables se pueden combinar en medidas resumidas. Un ejemplo es la clasificación simple en cuatro clases de cultivares nativos de arroz de Nepal, de acuerdo con su frecuencia (presente en pocas o muchas fincas) y el área sembrada (en grandes parcelas o en grupos de pocas plantas en pequeños campos o jardines) (Tabla 2.4). De la misma manera que se puede hacer una comparación entre tres regiones (en este ejemplo la localidad intermedia de Kaski tiene un mayor componente de cultivares nativos raros y restringidos), para cada clase se pueden comparar las tendencias en el tiempo y evaluar las diferencias de vulnerabilidad, los patrones de uso, las estrategias de conservación y el fitomejoramiento participativo.

Para las especies medicinales, las usadas como combustible y otras especies cosechadas o pastoreadas directamente en condiciones silvestres, hacer un conteo de la cantidad y el tamaño de las poblaciones es una herramienta esencial. Si bien las comunidades están interesadas en implementar planes de conservación para mantener estas plantas, sus necesidades inmediatas —especialmente en tiempos difíciles— conducen a la sobreexplotación. Un enfoque obvio de las estrategias de conservación es prestar atención a la disminución de las poblaciones tanto de especies con

**Tabla 2.4.** Cantidad y distribución de los cultivares nativos de arroz en tres sitios del estudio in situ de Nepal.

	Bara (80 msnm)	Kaski (650 – 1200 msnm)	Jumla (2200 – 3000 msnm)
Área media por cultivar nativo (ha)	0.95	1.17	0.91
Cantidad total de cultivares nativos	33	63	23
Tipos de cultivares nativos			
Área grande, muchos hogares	9	9	4
Área grande, pocos hogares	2	3	0
Área pequeña, muchos hogares	3	3	3
Área pequeña, pocos hogares	19	48	16

Fuente: Datos de Joshi et al., resumidos en Jarvis et al. (2000:83–85).

alto valor pero abandonadas, como de las especies subutilizadas, lo cual se puede medir con dichos indicadores.

En teoría, el tamaño de una población debe estar relacionado con la riqueza de los genotipos: cuanto mayores sean las poblaciones o las muestras, mayor será la cantidad de genotipos que incluyan. Si esta relación es general, entonces el tamaño del área (cultivo) podría ser una manera rápida de evaluar la riqueza de la región, donde una investigación genética resultaría imposible.

Un paso más allá del mapeo de los cultivares nativos sería relacionar dichos mapas con mapas climáticos, topográficos y edáficos para medir la diversidad de los ambientes que en suma ellos ocupan. Un ejemplo del uso de este tipo de indicador para determinar la erosión de la vegetación natural es el levantamiento cartográfico del aumento en el tiempo de las tierras taladas que se hizo en el oeste de Australia, en la franja productora de cereales. Integrar herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) (Guarino et al. 2002) permite estimar los patrones de diversidad, así como monitorear cambios en el área destinada a los cultivares nativos y cambios en la distribución y el tamaño de las poblaciones de especies silvestres, lo cual es útil para determinar si los hábitats específicos están perdiendo su diversidad.

Esta información será aún más útil si se apoya con la investigación que relacione la divergencia ambiental con la diversidad genética, vínculo que no siempre es evidente y debe ser objeto de investigación. Como lo seña-

laron Teshome et al. (2001), un cultivar nativo puede tener un alto grado de adaptabilidad y dar buenos rendimientos en diferentes ambientes, en muchos tipos de hábitat. Su amplia distribución podría ser el resultado de la selección deliberada de los agricultores por su buen rendimiento, más que por la falta de disponibilidad de otras variedades. En tal caso, la amplia adaptabilidad de esa población es de gran valor y no se debe descartar debido a la aparente falta de riqueza en la raza. Igualmente, las conclusiones serán más fuertes si se relacionan los datos georreferenciados sobre incidencia de cultivares nativos en la región con los datos de rendimiento. Si se hace un levantamiento cartográfico de los cultivares nativos de un determinado cultivo en un área marginal al inicio de la estación de cultivo, pero el cultivo falla posteriormente, entonces el mapa inicial de su presencia ya no constituye evidencia de su mantenimiento sostenible en esa región.

Tal como se mencionó anteriormente, la investigación sobre las razones por las cuales los agricultores toman sus decisiones es el camino apropiado para comprender cómo se puede mantener la diversidad. El uso es una fuerza de selección, e igual a lo que sucede con los nombres, puede haber mucha variación entre agricultores y entre años en cuanto a la razón por la cual cultivan una raza nativa en un momento dado. La encuesta de Taba (1997) mostró que, en Argentina, algunos agricultores cultivaban 13 de los 16 cultivares nativos de maíz, principalmente por el grano (Tabla 2.5). Sin embargo, otros agricultores cultivaban las mismas 13 razas más 3 adicionales, alcanzando un total de 31 usos primarios adicionales, 24 usos secundarios y 13 usos terciarios. En general, la diversidad en los usos sugiere un modelo multinicho de selección diversificadora, que favorece la diversidad adaptativa (Crow y Kimura 1970:262; Gillespie 1998:71). Aparte de los diferentes usos culinarios, podemos adicionar como usos

**Cuadro 2.5.** Cantidad de usos primarios, secundarios y terciarios diferentes y de usos culinarios específicos de los cultivares nativos de maíz cultivadas en varios países.

Pais	Cantidad de cultivares nativos	Cantidad utilizada como grano	Cantidad de usos primarios adicionales	Cantidad de usos secundarios	Cantidad de usos terciarios
Argentina	16	13	31	24	13
Bolivia	42	Todas	8	10	2
Chile	13	3	5	4	2
México	12	Todas	5	11	3

*Fuente:* Resumido de Taba (1997).

la selección de genotipos que hacen los agricultores con base en determinadas razones ambientales (por ejemplo, las variedades conocidas por su capacidad para adaptarse a partes de las fincas donde el estrés es mayor o variedades que se seleccionan para parcelas inundadas).

Un inconveniente es que el mayor uso de una serie de cultivares nativos de especies cultivadas de por sí no garantiza una selección diversificadora. Por ejemplo, si una nueva variedad en particular sirve para varios propósitos, es posible que la siembren en muchas áreas y desplace otras variedades más especializadas. Sin embargo, es probable que una disminución rápida en el valor del indicador que mide los tipos de uso esté reflejando una pérdida de selección diversificadora, que a su vez es el preludio de la pérdida de diversidad.

Evidentemente el simple conteo de los diferentes criterios de selección solo es indicativo. Hay que demostrar la relación que se supone exista entre las múltiples razones detrás de la selección de los agricultores y la diversidad genética existente, lo cual se puede intentar en la actualidad a nivel de los cultivares nativos nombrados por el agricultor.

Por último, es probable que mantener la diversidad genética en fincas sea más factible si existen los mecanismos para detener la erosión del conocimiento tradicional y compartir los beneficios de la explotación de esa diversidad en otros lugares. Se requieren estudios de diversa índole para determinar cuál es el conocimiento que se mantiene y quién lo mantiene. Estos estudios pueden servir como base para encontrar los indicadores de la seguridad del conocimiento tradicional. Los procesos que afectan el conocimiento tradicional son difíciles de medir; de hecho, apenas estamos empezando a atender esta preocupación. Un problema adicional es la separación en el tiempo entre la decisión del agricultor de cultivar hoy determinadas poblaciones y la percepción de algún beneficio remotamente posible por la utilización futura de ese material en otro lugar. El beneficio de hoy surge de la decisión de ayer y probablemente sea sólo un incentivo débil para continuar sembrando esa diversidad en el presente. Por tales razones, es probable que este indicador sea más apropiado a nivel nacional o regional.

### *Especies cultivadas y parientes silvestres en áreas agrícolas*

La sección anterior describió los indicadores del manejo en fincas de la diversidad de las especies domesticadas. Sin embargo, como se indica al inicio del capítulo, el manejo de la agrobiodiversidad en zonas agrícolas también incluye las especies silvestres. La necesidad de incluir parientes

silvestres de los cultivos en nuestra discusión surge de sus diversos vínculos con las especies cultivadas. Existen vínculos ecológicos cuando la agricultura conduce directamente a la pérdida o al daño del hábitat silvestre. Los parientes silvestres generalmente son las malezas de los campos de los agricultores. Los cultivos y sus parientes silvestres comparten insectos y microbios benéficos, al igual que plagas y enfermedades, lo cual conduce al establecimiento de complejos vínculos coevolucionarios. Además, los parientes silvestres pueden servir como fuentes de genes nuevos y útiles (Jarvis y Hodgkin 1999). Es importante, entonces, que los esfuerzos de conservación incluyan las especies silvestres de los sistemas agrícolas puesto que éstas pueden ser indicadores de cambios graves en los sistemas de producción. De ahí la necesidad de contar con indicadores para el manejo genético de plantas silvestres.

Monitorear el estado de las especies de plantas silvestres en zonas agrícolas es un reto. Las principales preguntas incluyen si ciertas especies ameritan ser prioritarias y si las poblaciones en áreas de reserva o en regiones inhóspitas para la agricultura compensan las poblaciones vulnerables o diezmadas en áreas rurales. En cuanto a la prioridad de las especies, Brown y Brubaker (2002) argumentaban que las especies silvestres de los cultivos proporcionan un enfoque adecuado porque pueden ser usadas como especies bandera puesto que son hospederas de las mismas plagas y enfermedades que atacan a sus parientes cultivados. El futuro de las poblaciones de estos parientes que viven cerca de los campos de los agricultores puede ser incierto, a no ser que los agricultores los promuevan deliberadamente. Esto definitivamente es válido en el caso de los progenitores silvestres de ciertos cultivos como el maíz, pero es improbable que suceda con los parientes más distantes. Estas poblaciones silvestres no se prestan fácilmente para determinados manejos con fines de conservación; de allí la importancia de las poblaciones silvestres en áreas de reserva (como la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, en México, designada para *Zea diploperennis*, pero manejada también como un área productiva).

Debido a que las agencias de conservación están recopilando información sobre el estado de amenaza de mucha flora, es posible extraer información a escala amplia de las especies relacionados con los cultivos. Brown y Brubaker (2002) por ejemplo hicieron un resumen del estado de conservación de las especies silvestres de géneros cultivados nativos de Australia. Esta lista reveló dos características importantes: más de la mitad de los taxones relacionados con los cultivos que se pensaba estaban en riesgo fueron clasificados como “muy poco conocidos” para poder evaluar su estado, y se confirmó que sólo un 20% de los parientes de los cultivos

en riesgo se encontraban en áreas protegidas. Mejorar estas mediciones es un reto para las políticas estatales de conservación.

Reconocemos, sin embargo, que las listas de especies disponibles a una escala geográfica tan amplia sólo brindan una visión general de las áreas extensas. No aportan detalles sobre cuán precaria es la situación de estas especies o si las áreas de conservación las representan adecuadamente. Una interpretación confiable está condicionada a la información sobre los planes de manejo y la distribución de beneficios en los escenarios rurales (por ejemplo, si prácticas agropecuarias como el uso de herbicidas amenazan las poblaciones de parientes silvestres, si los agricultores tienen acceso a los beneficios de esas poblaciones). Los indicadores en gran escala son inexactos y no son sensibles al cambio. Además, es posible que los programas nacionales mejoren dichas estadísticas, pero aún así enmascaren la erosión genética que se da a través de la pérdida de hábitats en el paisaje rural.

Al igual que las especies domesticadas, el listado de la cantidad de poblaciones y el tamaño de su distribución es un conjunto de datos más refinado y posible de implementar a escalas menores que la de la presencia de especies y, por tanto, más revelador de las tendencias. Rocha et al. (2002) presentaron un ejemplo detallado de las poblaciones silvestres de habas en Costa Rica. Este enfoque es propicio para las especies raras y amenazadas, como se puede ver en la literatura sobre la biología de poblaciones de estas especies. Estos datos pueden esconder los siguientes aspectos: ¿Cómo se relaciona en realidad el tamaño con la persistencia en los márgenes de las fincas de los agricultores y cómo se relaciona con la diversidad genética? ¿Cómo determinamos los tamaños mínimos, la cantidad de poblaciones y la distribución necesaria? La combinación dentro de especies similares puede ser sencilla, pero ¿Cómo se combina la cantidad de poblaciones y el tamaño poblacional de una especie maderable perenne con los mismos parámetros de una especie efímera? También se debe monitorear la dinámica de los bancos de semilla.

La estructura de la población genética de los parientes silvestres sigue siendo objeto de estudios con métodos moleculares modernos, de resistencia a enfermedades y tolerancia a estrés ambiental. Estos datos se pueden usar para inferir la proporción de la diversidad (riqueza de alelos o heterocigosidad) que se mantiene mediante diversas estrategias o para seguir las tendencias a lo largo del tiempo. Más fundamental tal vez es que estos datos revelan las principales características del sistema genético —tales como el poliploidismo críptico, la variación en el sistema de cruzamiento o el empobrecimiento de los alelos de autocompatibilidad en *Rutidosia lep-*

*torrhynchoides* (Young et al. 2000) —lo que el sólo tamaño poblacional no muestra. Además, en los sistemas de cruzamiento predominantemente autógeno o en la apomixis, es probable que las poblaciones difieran en su nivel de polimorfismo. Es posible que las poblaciones de colonias recién fundadas y ampliamente dispersas sean menos variables que las poblaciones en su centro de origen. En el contexto de los paisajes rurales, los estudios genéticos de las poblaciones de parientes silvestres, cuyas muestras fueron tomadas en campos de agricultores, podrían ilustrar la comparación de respuestas a compartir presiones bióticas y abióticas.

### *Relación entre las actividades in situ y ex situ*

Los programas de conservación y uso de los recursos genéticos in situ probablemente incluirán acciones ex situ, si han de tener la flexibilidad para adaptarse a las fluctuaciones y los trastornos del campo. Ejemplos extremos de la necesidad de acción en ambos dominios son las catástrofes, como las guerras, que resultan en la pérdida de variedades in situ o en grandes pérdidas de viabilidad en las muestras mantenidas en bancos de germoplasma. Por tanto, es necesario monitorear que haya coordinación entre las acciones realizadas in situ (en fincas) y aquellas ex situ (los grandes bancos de germoplasma). La pregunta es cómo se van a interrelacionar estas actividades y qué indicadores adicionales se necesitan para medir el progreso hacia la conservación de la diversidad.

La complementariedad en las muestras es uno de los aspectos que se puede evaluar: entre las poblaciones in situ que se sabe están en riesgo ¿qué fracción tiene muestra de respaldo en las colecciones ex situ? Asimismo las muestras de especies recalcitrantes (resistentes al almacenamiento en bancos), que pierden la viabilidad rápidamente, o que son costosas de regenerar ¿cuántas tienen fuentes in situ seguras?

Las estrategias conjuntas muestran el beneficio de la colaboración entre instituciones y comunidades agrícolas. Si han de perdurar, estas relaciones deben crecer. Los mecanismos para el intercambio de información y tecnología, y los planes acordados para el intercambio de semillas y la distribución de los beneficios cimentarán estas relaciones.

### Desafíos para la investigación y oportunidades para el desarrollo

Cuanto mejor comprendamos las fuerzas que actúan sobre la variación in situ en los campos de los agricultores, mejor será nuestro monitoreo y

gestión. La Figura 2.1 es un diagrama de los factores clave en un esquema para relacionar los esfuerzos de investigación y de desarrollo. El enfoque es comprender y utilizar las fuerzas evolutivas que afectan la diversidad en las fincas. Los dos recuadros centrales muestran las fuerzas evolutivas que actúan in situ a nivel de la estructura genética de las poblaciones. A la izquierda están las fuerzas que son procesos no selectivos estructurales de las poblaciones (por ejemplo, tamaño y fluctuación de la población, migración, sistema de cruzamiento y recombinación) y que actúan sobre todo el genoma, mientras que a la derecha están las fuerzas selectivas (incluyendo las fuerzas ambientales y las preferencias de los agricultores) que están relacionadas con la función de los genes. La división es en cierta medida arbitraria porque la selección —el agente principal de la evolución adaptativa— actúa a través de la supervivencia, la reproducción y la recombinación diferenciales. Sin embargo, la separación ayuda a organizar

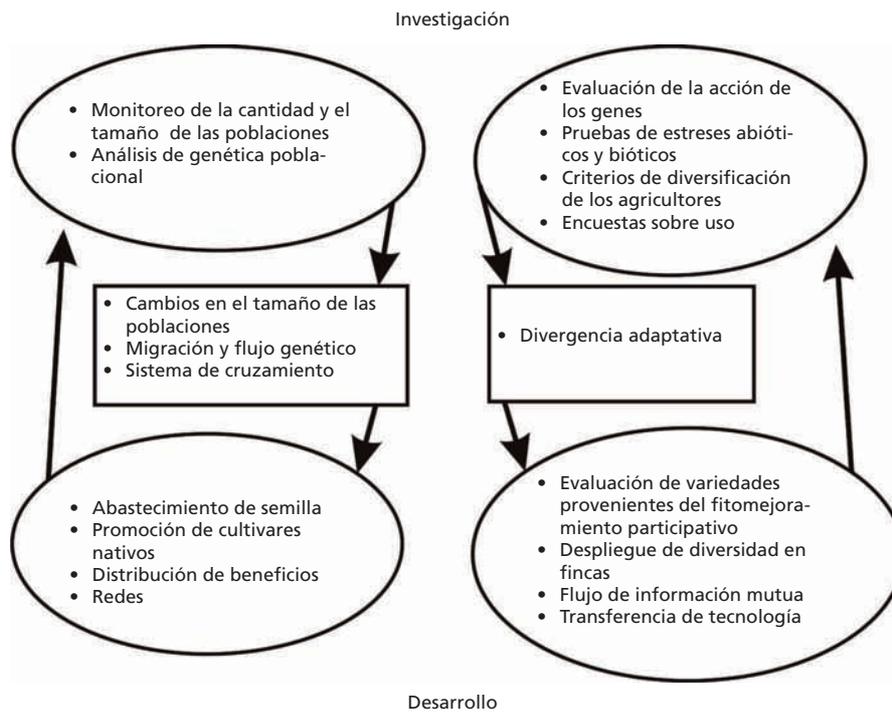


Figura 2.1. Oportunidades de investigación y desarrollo en relación a los procesos de genética de poblaciones. Enfoque de la investigación (*parte superior izquierda y derecha*) y opciones de gestión y desarrollo (*parte inferior izquierda y derecha*) dirigidas a los dos grupos de fuerzas que afectan la diversidad en el campo.

las opciones y oportunidades de investigación y gestión, y a visualizar sus relaciones.

En los dos óvalos superiores aparecen los esfuerzos de la investigación, divididos de acuerdo con el grupo de fuerzas que operan y los cambios genéticos que logran. En el caso de las fuerzas poblacionales en la parte izquierda del diagrama, la investigación provee información sobre la cantidad de poblaciones y las frecuencias alélicas de genes marcadores. Las acciones de desarrollo relacionadas se presentan en el óvalo inferior (por ejemplo, los sistemas de abastecimiento de semillas, las campañas de promoción de cultivares nativos). Son estrategias que intentan contrarrestar cambios no deseados en el número de poblaciones y en el flujo genético. La experiencia de estudiar o conducir estas acciones se puede usar como guía para futuras investigaciones.

La mitad derecha del diagrama hace referencia a la divergencia adaptativa y a la diversidad funcional de las poblaciones de cultivares nativos. Las estrategias de investigación incluyen el análisis de la acción de los genes en microarreglos, la evaluación de la respuesta del germoplasma a estreses bióticos y abióticos, y el sondeo de los criterios de selección de los agricultores en relación con la diversidad. El desarrollo de acciones que promueven la diversidad y que son relevantes aquí son la evaluación participativa de variedades y el mejoramiento, un mejor despliegue de la diversidad en campo y un mayor flujo de información y tecnología para mejorar la selección que realizan los agricultores.

La división entre los dos tipos de fuerzas y sus actividades correspondientes están tal vez bajo mucha presión debido a la multiplicidad de interacciones y vínculos. Los esquemas exitosos de investigación participativa, por ejemplo, traen a flote asuntos relacionados con la promoción de cultivares nativos, el reparto de beneficios, el abastecimiento de semillas y la difusión de sus productos (por ejemplo, la adopción del cultivar de arroz Kalinga III en el noroeste de India, tal como lo analiza Witcombe et al. 1999). Aun cuando consideramos la manera en que estas acciones van a afectar la diversidad, es útil clasificarlas de acuerdo a que, si su efecto principal es sobre la diversidad de todo el genoma a través de la estructura de la población, o sobre genes específicos a través de regímenes de selección.

¿Cómo podrían las acciones del desarrollo servir de directrices para la investigación? Un ejemplo es el tema del impacto del fitomejoramiento participativo en la diversidad en fincas. Si el fitomejoramiento participativo resulta en un aumento o una disminución de la diversidad es una pregunta importante para la cual se tiene poca información. Los resultados iniciales para los cultivares de arroz en Nepal (Sthapit y Joshi 1998) mues-

tran un aumento rápido y alentador en la cantidad de cultivares nativos para los agricultores en áreas marginales de secano, todas provenientes del fitomejoramiento participativo. Sin embargo, la posibilidad de generalizar este resultado, así como los efectos indirectos sobre la agrobiodiversidad local y su manejo, requieren ser investigados.

La multiplicidad de usos es un factor clave reconocido que aumenta la probabilidad de conservación de diversas variedades locales. Entre los ejemplos, se puede citar el sorgo en Etiopía (Teshome et al. 1999) y el maíz en América Latina (Taba 1997) (Tabla 2.5). La diversidad de usos es entonces un tema clave para la investigación y la documentación puesto que dicha información proporciona un punto de partida desde el conocimiento indígena, que puede reforzar los regímenes de selección diversificadora, promoviendo la selección para usos diferentes, y ser la base de estudios de genética molecular sobre la diversidad de las características relacionadas con el uso.

## Conclusión

La diversidad genética amerita un enfoque especial en el manejo de la agrobiodiversidad porque es precisamente este recurso el que intentamos conservar. A pesar del reto que presenta la complejidad de medirla en el ambiente agrícola, debemos saber si efectivamente se está deteniendo la erosión genética o si se está acelerando.

Las diversidad genética es importante desde dos perspectivas: la de los aspectos estructurales poblacionales, que se reflejan en el monitoreo de los marcadores genéticos y muestran la historia y la presunta salud actual de un sistema, y la funcional, que aporta la adaptación actual a la diversidad ambiental y a los extremos, y proporciona la materia prima para las necesidades futuras.

No podemos ver la diversidad genética como una entidad amorfa, indiferenciada, de la cual basta tener cierta cantidad. Debemos identificar los cambios que importan ¿Cómo manejan el cambio las personas involucradas en la conservación en fincas? ¿Qué tipo de indicadores serían los más apropiados para diferenciar los cambios importantes (erosión o pérdida) de los cambios que son sólo un aspecto de cualquier sistema agrícola dinámico? Los indicadores para monitorear el manejo de la diversidad genética deben tener en cuenta tanto la estructura genética de las poblaciones como su diversidad funcional.

Los enfoques holísticos de la conservación y el desarrollo de la agrobiodiversidad con toda razón enfatizan una perspectiva desde el ecosistema, que incluye el bienestar de la comunidad humana. En términos generales, estos enfoques tienen en cuenta la erosión genética y las especies en peligro de extinción, pero corren el riesgo de asumir que el desarrollo más sostenible del ecosistema automáticamente detendrá la pérdida de diversidad genética y conservará las especies subutilizadas. De hecho, algunos investigadores se preguntan sobre la utilidad de monitorear la diversidad genética. Esta pregunta es particularmente pertinente considerando el aumento de la capacidad de la tecnología molecular moderna para revelarnos nuestra herencia genética a un nivel muy detallado. Este capítulo buscó clarificar la tarea de conservar la diversidad fitogenética y sugiere cómo podríamos monitorear mejor el progreso para obtener mejores resultados de conservación. Las estrategias deben tener en cuenta tanto las especies que son cultivadas o cosechadas en el ecosistema, como las especies silvestres presentes en él. En muchos casos, las especies silvestres ameritan particular atención por ser parientes de las especies cultivadas durante la evolución. Datos recientes sobre el polimorfismo de un solo nucleótido enfatizan el grado de diversidad a nivel genético y las grandes diferencias entre especies. Los curadores se enfrentan cada vez a una mayor cantidad de cálculos nuevos sobre la diversidad genética y sus patrones de variabilidad entre fincas, así como los largo del tiempo. Los indicadores cruciales se pueden empantanar fácilmente. La naturaleza de la divergencia de las poblaciones es una característica clave que abarca temas que van desde el reconocimiento y la nomenclatura de los cultivares nativos hasta el enfoque de los criterios de selección de los agricultores.

## Agradecimientos

Este trabajo es el resultado del proyecto global “Fortalecimiento de las Bases Científicas para la Conservación *In Situ* de la Agrobiodiversidad en Fincas”, apoyado por el IPGRI. Los autores agradecen a los gobiernos de Suiza (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación), Holanda (Dirección General para la Cooperación Internacional), Alemania (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit/ Agencia Alemana para la Cooperación Técnica - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), Canadá (Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo), Japón (Agencia Internacional Japonesa para la Cooperación), España y Perú por su apoyo económico.

## Referencias

- Aharoni, A. y O. Vorst. 2001. DNA microarrays for functional plant genomics. *Plant Molecular Biology* 48:99-118.
- Brown, A. H. D. y C. L. Brubaker. 2000. Genetics and the conservation and use of Australian wild relatives of crops. *Australian Journal of Botany* 48:297-303.
- Brown, A. H. D. y C. L. Brubaker. 2002. Indicators for sustainable management of plant genetic resources: How well are we doing? En J. M. M. Engels, V. Ramanatha Rao, A. H. D. Brown, y M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 249-262. Wallingford, UK: CAB International.
- Bryan, G. J., P. Stephenson, A. Collins, J. Kirby, J. B. Smith, y M. D. Gale. 1999. Low levels of DNA sequence variation among adapted genotype of hexaploide wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 99:192-198.
- Charlesworth, D. y J. R. Pannell. 2001. Mating systems and population genetics structure in the light of coalescent theory. En J. Silvertown y J. Antonovics, eds., *Integrating Ecology and Evolution in a Spatial Context*, 73-95. Oxford, UK: Blackwell.
- Clegg, M. T. 1997. Plant genetic diversity and the struggle to measure selection. *Journal of Heredity* 88:1-7.
- Crow, J. F. y M. Kimura. 1970. *An Introduction to Population Genetics Theory*. New York: Harper & Row.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, y J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gillespie, J. H. 1998. *Population Genetics: A Concise Guide*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Guarino, L., A. Jarvis, R. J. Hijmans, y N. Maxted. 2002. Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. En J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, y M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 387-404. Wallingford, UK: CAB International.
- Hamrick, J. L. y M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Science* 37:26-30.
- Jarvis, D. I. y T. Hodgkin. 1999. Wild relatives and crop cultivars: Detecting natural introgression and farmer selection of new genetic combinations in agroecosystems. *Molecular Ecology* 8:S159-173.
- Jarvis, D. I., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit, y T. Hodgkin. 2000. *A Training Guide for In situ Conservation On-Farm*. Roma: IPGRI.
- Lin, J. Z., P. L. Morrell, y M. T. Clegg. 2002. The influence of linkage and inbreeding on patterns of nucleotide sequence diversity at duplicate alcohol dehydrogenase loci in wild barley (*Hordeum vulgare ssp. spontaneum*). *Genetics* 162:2007-2015.

- Peacock, J. y A. Chaudhury. 2002. The impact of gene technologies on the use of genetic resources. En J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, y M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 33-42. Wallingford, UK: CAB International.
- Rafalski, J. A. 2002. Novel genetic mapping tools in plants: SNPS and LD- based approaches. *Plant Science* 162:329-333.
- Rocha, O. J., J. Degreef, D. Barrantes, E. Castro, G. Macaya, y L. Guarino. 2002. Metapopulation dynamics of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in the central valley of Costa Rica. En J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, y M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 205-215. Wallingford, UK: CAB International.
- Sthapit, B. R. y K. D. Joshi. 1998. Participatory plant breeding for in situ conservation of crop genetic resources: A case study of high altitude rice in Nepal. En T. Partap y B. Sthapit, eds., *Managing Agrobiodiversity*, 311-328. Katmandú, Nepal: International Centre for Integrated Mountain Development.
- Taba, S. 1997. Maize. En D. Fuccillo, L. Sears, y P. Stapleton, eds., *Biodiversity in Trust*, 213-226. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Tenaillon, M. I., M. C. Sawkins, A. D. Kong, R. L. Gaut, J. F. Doebley, y B. S. Gaut. 2001. Patterns of DNA sequence polymorphism along chromosome 1 of maize (*Zea mays ssp. mays* L.). *Proceedings of the National Academy of Science USA* 98:9161-9166.
- Teshome, A., A. H. D. Brown, y T. Hodgkin. 2001. Diversity in landraces of cereal and legume crops. *Plant Breeding Reviews* 21:221-261.
- Teshome, A., L. Fahrig, J. K. Torrance, J. D. Lambert, J. T. Arnason, y B. R. Baum. 1999. Maintenance of sorghum (*Sorghum bicolor*, Poaceae) landrace diversity by farmers' selection in Ethiopia. *Economic Botany* 53:69-78.
- Weltzien, E. y G. Fischbeck. 1990. Performance and variability of local barley landraces in Near- Eastern environments. *Plant Breeding* 104:58-67.
- Witcombe, J. R., R. Petre, S. Jones, y A. Joshi. 1999. Farmer participatory crop improvement. IV. The spread and impact of a rice variety identified by participatory varietal selection. *Experimental Agriculture* 35:471-487.
- Young, A. G., A. H. D. Brown, B. G. Murray, P. H. Thrall, y C. H. Miller. 2000. Genetic erosion, restricted mating and reduced viability in fragmented populations of the endangered grassland herb *Rutidosia leptorrhynchoides*. En A. G. Young y G. M. Clarke, eds., *Genetics, Demography and Viability of Fragmented Populations*, 334-359. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Zhu, Y. L., Q. J. Song, D. L. Hyten, C. P. VanTassel, L. K. Matukumalli, D. R. Grimm, S. M. Hyatt, E. W. Fickus, N. D. Young, y P. B. Cregan. 2003. Single- nucleotide polymorphisms in soybean. *Genetics* 163:1123-1134.

### 3 Nombres de las variedades

---

¿Son los nombres de las variedades un punto de entrada a la diversidad genética de los cultivos y a su distribución en los agroecosistemas?

M. SADIKI, D. JARVIS, D. RIJAL, J. BAJRACHARYA, N. N. HUE, T. C. CAMACHO-VILLA, L. A. BURGOS-MAY, M. SAWADOGO, D. BALMA, D. LOPE, L. ARIAS, I. MAR, D. KARAMURA, D. WILLIAMS, J. L. CHAVEZ-SERVIA, B. STHAPIT y V. R. RAO

Los nombres que los agricultores le asignan a sus variedades tradicionales o cultivares nativos son fundamentales para la identificación y la utilización de los mismos. Harlan (1975) explica cómo se reconocen morfológicamente los cultivares nativos, cómo los agricultores les asignan nombres, y cómo diferentes cultivares nativos difieren en su adaptación a los tipos de suelo, época de siembra, fecha de maduración, altura de planta, valor nutritivo, uso y otras propiedades. Muchos estudios han encontrado que los agricultores reconocen y nombran a las poblaciones de sus cultivos haciendo referencia a sus características agromorfológicas, a su adaptación ecológica, a su calidad y a su uso (Boster 1985; Quiros et al. 1990; Bellon y Brush 1994; Teshome et al. 1997; Schneider 1999; Soleri y Cleveland 2001). Sin embargo, contrastando con toda esta riqueza de literatura sobre cómo los agricultores nombran sus variedades, hay muy pocos estudios sistemáticos sobre la consistencia entre los agricultores de una misma aldea o entre aldeas para asignar estos nombres y las características descriptivas que le atribuyen a sus variedades. Aún menos atención se le ha prestado a confirmar si las unidades de diversidad que manejan los agricultores realmente tienen nombres específicos asignados que permitan compararlas entre sí (Jarvis et al. 2000).

Sólo recientemente se ha empezado a investigar si los nombres de los cultivares nativos se pueden usar efectivamente como base para estimar la diversidad local de los cultivos en fincas. Además, sigue siendo válida la pregunta de si las variedades nombradas son unidades identificables de la diversidad manejada por los agricultores. Una preocupación al tratar de asegurar la disponibilidad de diversidad útil es si estas unidades de

manejo de la diversidad, identificadas por los agricultores, son realmente distintas genéticamente y forman poblaciones genéticamente identificables a nivel agromorfológico, bioquímico o molecular. Si las variedades nombradas por los agricultores no son genéticamente distintas, la utilidad de los nombres como medio para identificar y cuantificar la diversidad en los ecosistemas agrícolas es limitada. Por el contrario, si las variedades denominadas por los agricultores son genéticamente distintas, se puede utilizar el muestreo estructurado, basado en los nombres, para evaluar la cantidad de diversidad en fincas, y establecer relaciones genéticas entre variedades. Adicionalmente, la información sobre diferentes variedades de los agricultores que poseen el mismo nombre, podría ayudar a preservar y utilizar la diversidad, porque si dichas variedades se descartaran por llevar los mismos nombres, la diversidad se podría perder.

La distribución de los nombres de las variedades dentro y entre comunidades y regiones proporciona datos crudos para estimar la riqueza y la uniformidad de la diversidad en un paisaje. Los niveles de diversidad pueden variar sustancialmente entre las variedades locales de los cultivos. Identificar cuales variedades o características son raras o comunes en una población o un paisaje determinado ayuda a entender cómo se distribuye la diversidad en los paisajes agrícolas. La comprensión y las creencias que tienen los agricultores sobre los espacios de producción que manejan afectan los patrones de diversidad. Si la diversidad es una opción para apoyar a los productores en sus necesidades agrícolas, es importante identificar áreas con abundante diversidad, incluyendo aquellas donde las variedades locales tienen capacidad para adaptarse a parámetros ambientales específicos, puesto que es en estas áreas donde la diversidad puede desempeñar un papel en el uso de la agricultura sostenible.

En el Capítulo 2, Brown y Hodgkin discutieron los avances recientes de la tecnología molecular para cuantificar la diversidad en fincas. Este capítulo presenta estudios empíricos recientes, en fincas de agricultores, y mediciones de laboratorio sobre las características, la consistencia y la distribución de las variedades locales de los cultivos en fincas.

## Los nombres como indicador de diversidad

Los agricultores usan muchas características fenotípicas de las plantas para identificar y seleccionar sus variedades. Estos criterios agromorfológicos pueden adquirir un amplio rango de formas y por lo general están ligados a la estructura genética de un cultivo. Los agricultores los utilizan para dis-

tinguir y nombrar sus variedades cultivadas, y con frecuencia hacen uso de ellos para escoger qué semilla sembrar. Al evaluar la diversidad cultivada en fincas, puede ser importante distinguir los nombres que los agricultores dan a sus variedades a partir de las características agromorfológicas que usan para identificarlas y seleccionarlas, las características que usan para evaluarlas y las características que usan para seleccionar la semilla o los propágulos para la siguiente generación. Por ejemplo, un agricultor puede identificar cierta variedad de maíz por su color, forma de la hoja, región de origen y su calidad culinaria, y seleccionarla en una progenie por las semillas que son características del tipo. Trabajos con taro (Cuadro 3.1) en Begnas, Nepal, ilustran cómo el sentido literal de los nombres puede diferir de los descriptores utilizados por los agricultores para describir sus variedades de taro (*Colocasia esculenta*). Una encuesta en los hogares reveló que los agricultores usaban por lo menos 15 descriptores clave para distinguir sus variedades de taro.

En Hungría, Mar y Holly (2000) reportaron que los nombres de los agricultores para las variedades locales de frijol común se correlacionaban con algunas características agromorfológicas de este cultivo, especialmente con el color de la semilla (por ejemplo, *fehérbab* = frijol blanco, *feketebab* = frijol negro, *barnabab* = frijol marrón), y en muchos casos se refería al uso tradicional de estas variedades locales (*menyecskebab* = frijol para la esposa joven). Estudios realizados en Yucatán, México, para entender cómo los agricultores denominaban y manejaban sus variedades de maíz mostraron que el ciclo de cultivo era la principal característica para distinguir las variedades, seguida de la forma y el color de la mazorca y el grano. Las características clave utilizadas para distinguir poblaciones dentro de las variedades nombradas fueron la forma de la hoja, la altura de la planta y el tamaño del grano. La forma de la bráctea clasificó como muy alta como característica distintiva porque la bráctea protege el grano del ataque de plagas durante el almacenamiento. Las variedades mejoradas cuyas brácteas no alcanzan a cubrir las mazorcas más grandes tuvieron poca aceptación en la región (Cuadro 3.2; Arias et al. 2000; Chávez-Servia et al. 2000; Arias 2004; Burgos-May et al. 2004; Latournerie Moreno et al. 2005).

Los agricultores de Uganda asignan nombres a los cultivares de banano usando uno o más de los caracteres que se expresan en la localidad, y los que son importantes para ellos y para otros consumidores. Karamura (2004) clasificó los clones de banano de tierras altas usando caracteres importantes tanto para los agricultores como para los consumidores en cinco grupos que comparten los mismos caracteres. Por ejemplo, los clones de

**Cuadro 3.1.** Descripción de los cultivares de taro (*Colocasia esculenta*) denominados por los agricultores en Begnas, Nepal

Nombre Local	Nombre Botánico	Significado Literal de los Descriptores de los Agricultores	Características Morfológicas Distintivas
<i>Bhaisi khutte</i>	Var. <i>esculenta</i>	Múltiples cormos como huellas de búfalo, anual; cormos sin ramas; muchos brotes, pocos cormelos; hoja en forma de copa; morfotipo similar al de <i>hattipow</i> , <i>panchamukhe seto</i> , <i>panchamukhe</i>	Cormos de múltiples tipos y planos, senescencia de hojas lenta y tardía, brotes blancos
<i>Chhattre</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Hojas en forma de sombrilla; hojas largas y de color verde, brotes rojos con cormo redondo	Cormos con forma de mancuernas y brotes rosados, cáscara rosada y cormelos cónicos
<i>Chhaure</i>	<i>C. esculenta</i>	Retoños ; tipos de cormelos múltiples como retoños	Cormelos largos con brotes rojos; cormo redondo
<i>Dhubhe karkalo</i>	<i>C. esculenta</i>	Pecíolos, brotes y savia de color blanco lechoso, planta gruesa; sin cormos pero sistema radicular profuso; hojas redondas; adapta da a huertos familiares	Cormos de múltiples tipos, sin cormelos, cormo cilíndrico y hojas en forma de copa
<i>Gante</i>	<i>C. esculenta</i>	Corto; pecíolos negros, cormo con ramas y cormelos grandes; brotes, pecíolos y vainas exteriores rojas; cormo redondo y pequeño	Cormos redondos y en forma de mancuernas
<i>Hattipow</i>	Var. <i>esculenta</i>	Cormo con la forma de pata de elefante; plantas altas y gruesas, hojas blanquecinas y anchas; múltiples cormos grandes con brotes deprimidos; pecíolo verde claro; hoja rugosa ( <i>jerro</i> ); pocos cormelos; adaptada al campo abierto	Cormos planos y de múltiples tipos, senescencia de las hojas lenta y tardía, con brotes blancos

<i>Kaat</i>	Var. <i>esculenta</i>	De fácil cocción en el dialecto Gurung; hojas suaves y redondas, excelente calidad culinaria, similar al <i>rato panchamukhe</i>	Brotes rojos; muchos brotes
<i>Khari chhoto</i>	C. <i>esculenta</i>	Cormo corto; pecíolo rosado; cormo largo, similar al de <i>thagne khari, thagne, khari pindalu</i>	El cormo crece verticalmente; taro cubierto con una vaina plumosa
<i>Khari pindalu</i>	C. <i>esculenta</i>	Cormo cilíndrico	
<i>Khujure</i>	Var. <i>antiqorum</i>	Múltiples cormelos; con muchos cormelos; cormos que pican; muchos cormelos con brotes blancos, pecíolo blanco; unión del pecíolo púrpura oscuro; márgenes foliares púrpuras; hojas redondas	Cormo redondo y cormelos con brotes blancos; los cormos son amargos
<i>Khujure kalo</i>	Var. <i>antiqorum</i>	Múltiples cormelos negros; pecíolo negro, cormos y cormelos comestibles; no pica; brote blanco; muchos cormelos; pecíolo púrpura ( <i>kalo</i> ); hojas largas	Cormo con ramificaciones, redondo y con brotes blancos
<i>Khujure seto</i>	Var. <i>antiqorum</i>	Múltiples cormelos blancos; pecíolo negro, cormos y cormelos que pican; muchos cormelos, pecíolo abundante y negro, hojas de margen púrpura	Cormos y cormelos con ramificaciones, redondos y muy pequeños, con brotes blancos

El Cuadro 3.1 continúa en la página siguiente

Cuadro 3.1 continuación

Nombre Local	Nombre Botánico	Significado Literal de los Descriptores de los Agricultores	Características Morfológicas Distintivas
<i>Panchamukhe</i>	Var. <i>esculenta</i>	Cormo blanco con cinco caras; plantas altas y gruesas, hojas amplias y blanquecinas; se parece a hattipow; muchos brotes con brotes deprimidos; cormo grande; hojas rugosas (jarro) y planta alta; venas gruesas	Del tipo de cormos múltiples y aplanados; carente de cormelos; brote blanco y senescencia lenta y tardía
<i>Panchamukhe seto</i>	Var. <i>esculenta</i>	Cormo blanco con cinco caras; plantas altas y gruesas, hojas amplias y blanquecinas; del tipo de cormos múltiples con brotes blancos; pecíolo verde claro; similar a panchamukhe, bhaishi khutte, hattipow	Cormos en aglomeraciones, sin cormelos; brotes blancos; senescencia lenta y tardía
<i>Rato or raate</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Rojo; pecíolo púrpura	Raíces seminales rojas con brotes blancos, pedúnculo curvado en la unión del pecíolo
<i>Rato mukhe</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Cormo rojo; brote rojo con cormos y cormelos grandes y redondos	Base del pecíolo rosada; pedúnculo foliar acordonado, lámina foliar gruesa; raíces rojas
<i>Rato thado</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Cormo rojo cultivado de manera vertical; brotes blancos; planta alta	Punto púrpura en el dorso de la unión del pecíolo; cormos crecen verticalmente
<i>Satmukhe</i>	Var. <i>esculenta</i>	Cormo de siete caras; morfotipos similares a khari chhoto, thado mukhe, thagne	Del tipo de múltiples cormos cubiertos por material similar a plumas (bhutla)
<i>Thado</i>	Var. <i>esculenta</i>	Cormo crece verticalmente	Cormos cilíndricos, sin ramificaciones
<i>Thagne khari</i>	Var. <i>esculenta</i>	Ropa vieja; tejidos como plumas cubriendo los cormos (thagne)	Punto púrpura en la unión del pecíolo, cormelos grandes

Fuentes: Rijal et al. (2003); discusiones de grupos focales, Begnas, 2001

Cuadro 3.2. Características utilizadas por los agricultores de Yaxcabá, en Yucatán, México, para distinguir variedades de maíz.

Variedades nombradas por los agricultores*	Espiga			Mazorca			Grano			Tallo			Ciclo (meses)
	Tamaño	Forma	Color	Hoja (bráctea)	Tamaño	Color	Flexibilidad	Color	Forma	Altura	Grosor	Color	
<i>Xnuk nal kannal</i>	Grande	Larga	Color	Gruesa, color	Gruesa, larga, delgada	Color	Color	Amarillo	Largo	Alta	Grueso	Púrpura	3.5-4.5
<i>Xnuk nal saknal</i>	Grande	Gruesa	Color	Gruesa, larga	Delgada, gruesa, delgada	Color	Color	Blanco	Largo	Alta	Grueso		3.5-4.4
<i>Xbe ub</i>	Grande	Redonda	Color	Muchas hojas (bráctea)	Gruesa, delgada	Color	Gruesa, delgada	Negro púrpura	Largo, pequeño	Alta			2.5-3.5
<i>X-mejen kannal</i>	Pequeña	Pequeña	Color	Gruesa	Pequeña	Color	Color	Amarillo	Pequeño, duro	Baja, alta			2-2.5
<i>X-mejen nal, saknal</i>	Pequeña, regular	Pequeña, regular	Color	Gruesa	Pequeña, color	Color	Color	Blanco	Largo, forma	Alta, baja			2-3
<i>X-tup nal</i>	Pequeña y puntuda	Pequeña y puntuda	Color	Gruesa, con muchas hojas (bráctea)	Gruesa	Color	Color	Pequeño	Pequeño	Baja			2-2.5
<i>Ts'it bakal</i>	Pequeña, grande	Pequeña, grande	Color	Delgada con puntas	Delgada, larga	Color	Color			Alta			3-3.5
<i>Nal xoy</i>	Grande	Grande	Color	Con espigas, gruesa	Gruesa	Color	Color	Pequeño	Pequeño	Alta	N/D		3-3.5

Fuente: Morales-Valderrama y Quiñones-Vega (2000), datos analizados por Claudia Ezyguirre, 2002.

\* *kannal* = amarillo; *saknal* = blanco; *xbe ub* = púrpura.

\*\* N/D = Información no disponible.

un grupo absorben con abundancia, maduran rápidamente y producen un alimento de textura suave; en otro grupo, los clones son lentos para producir chupones, se tardan en madurar y producen un alimento de textura áspera. Los caracteres usados por los agricultores —especialmente aquellos expresados en su localidad— son ampliamente consistentes, aunque no del todo. Los caracteres importantes para los agricultores y consumidores se definen a través de años de experiencia, y la selección para obtener caracteres similares puede haber ocurrido durante muchas generaciones.

Estudios realizados con maíz en México y con habas en Marruecos muestran que los agricultores pueden enfatizar ciertos caracteres para distinguir poblaciones dentro de variedades que difieren de los caracteres

**Cuadro 3.3.** Comparación entre características utilizadas por los agricultores para distinguir entre y dentro de las variedades de habas en Marruecos y de maíz en Yucatán, México.

	Morfología					Ciclo de cultivo	Adaptación		Uso
	Forma y Longitud de la Vaina (habas)	Color de la Semilla	Tamaño de la Semilla	Forma de la Hoja (habas)	Grosor de la Brácea (maíz)	Fecha a la Cosecha	Resistencia a la Sequía	Resistencia al Sol	Calidad Culinaria Facilidad en el Desgrane (maíz)
<i>Habas</i>									
Distinción entre variedades	X	X	X						
Distinción dentro de las variedades (entre lotes de semilla)				X		X	X		X
<i>Maíz</i>									
Distinción entre variedades	X	X	X			X			
Distinción dentro de las variedades (entre lotes de semilla)				X	X		X	X	X

Fuentes: Arias et al. (2000); Sadiki et al. (2001); Morales-Valderrama y Quiñones-Vega (2000).

utilizados para distinguir entre variedades. Los caracteres morfológicos tanto del maíz como de las habas son importantes para distinguir entre variedades, mientras que los de adaptación y uso normalmente se utilizan para diferenciar poblaciones de un simple cultivar nativo nombrado (Cuadro 3.3; consultar también a Cazarez-Sánchez 2004 y Cazarez-Sánchez y Duch-Gary 2004 en relación con los caracteres nutricionales y físicos de las cultivares nativos de maíz y su asociación con platos específicos). Es interesante observar que la precocidad —o la fecha a la cosecha— es extremadamente importante para distinguir las variedades de maíz en Yucatán, donde el ciclo de cultivo más corto es clave para evitar los períodos de sequía, mientras que en Marruecos el ciclo de cultivo se utiliza solamente para distinguir poblaciones dentro de una variedad.

El nombre que un agricultor le asigne a una variedad de un cultivo bien puede ser el mismo nombre que otros agricultores en la aldea le den a esa misma variedad, pero a medida que aumentan las escalas espaciales, es probable que estos nombres ya no correspondan a los de la aldea contigua. En Etiopía se ha recopilado evidencia que revela la existencia de diferentes nombres para la misma variedad, y reflejan el énfasis sobre las diferentes cualidades que dan los diferentes agricultores o comunidades. Un ejemplo es el trigo duro: en algunas aldeas de Etiopía una variedad se llama “blanca”, mientras que en otras la misma variedad se llama “temprana” (Tanto 2001). Tesfaye y Ludders (2003) encontraron, también en Etiopía, evidencia similar para el enseto, un cultivo de propagación clonal; en este caso, algunos cultivares nativos adquirieron diferentes nombres en diferentes sitios.

Aún dentro de una misma aldea, distintos agricultores pueden dar nombres diferentes a las mismas variedades de un cultivo. Sawadogo et al. (2005) determinaron la consistencia entre los nombres que los agricultores de varias localidades de Burkina Faso asignaban a variedades de sorgo (Cuadro 3.4). Los nombres de las variedades están relacionados con la morfología de la planta (altura, forma, color, tamaño del grano, color y apertura de las glumas en los cereales), con el comportamiento agronómico (ciclo de cultivo, fechas de floración), con la adaptación al ambiente (tolerancia a la sequía; resistencia a plagas, enfermedades y pájaros; adaptación a las condiciones edáficas) y con los usos (consumo fresco, calidad culinaria, sabor). Ciertas diferencias registradas entre los nombres de las variedades en la misma aldea o comunidad reflejaban las diferencias en el idioma utilizado para denominar la variedad. La variedad *pokmi-ugu* de Thiougou, por ejemplo, es la misma *fi bmiugu* en Tougouri. *Pok* es *fi ba* y quiere decir “gluma” en Mooré, entonces *fi bmiugu* es *pokmiugu*. Algunas

**Cuadro 3.4.** Consistencia de los nombres de las variedades locales de sorgo de los agricultores en Burkina Faso.

Nombre común más asignado a la variedad	Agricultores que reconocen el nombre común de la variedad en la localidad donde ésta se cultiva ampliamente (%)		Otros nombres asignados a la variedad por los agricultores de una o dos localidades (%)		
	Localidad Thiougou (6 aldeas)	Localidad Tougouri (6 aldeas)	Nombre 2	Nombre 3	Nombre 4
<i>Kurbuli</i>	100	5.55	0	0	0
<i>Zugilga</i>	0	100	33.34	0	0
<i>Zuwoko</i>	72.22	0	77.8	27.77	22.22
<i>Fibmiugu</i>	83.40	0	77.8	22.22	16.66
<i>Z. fibsablega</i>	100	16.70	83.4	0	0
<i>Gambré</i>	100	0	0	0	0
<i>Z. wabugu</i>	0	94.44	100	5.55	0
<i>Balingpelga</i>	0	100	100	0	0
<i>Pokmiugu</i>	5.55	77.80	94.44	22.22	0
<i>Pisyobe</i>	0	50.00	27.77	22.22	0
<i>Zuzeda</i>	0	72.22	27.77	22.22	0

Fuente: Sawadogo et al. (2005).

variedades (*kurbuli* y *gambré*) se conocen en una sola localidad, mientras que las variedades *zuwoko* y *de fi bmiugu*, encontradas y utilizadas en una sola localidad, eran conocidas por los agricultores de otros lugares con tres nombres diferentes (*pokmiugu*, *banigpelega*, *fi bmiugu*).

#### Los caracteres agronómicos como indicador de diversidad

El nivel al cual se determine la diversidad genética cultivada en fincas proporcionará información diferente sobre la cantidad y el tipo de diversidad presente en estos sitios. El conteo de la cantidad de variedades nombradas para evaluar la riqueza varietal en determinadas escalas espaciales y temporales se ha utilizado como indicador de la diversidad de los principales cultivos mantenidos en fincas, incluyendo la papa (Quiros et al. 1990; Brush et al. 1995; Zimmerer 2003), el maíz (Bellon y Taylor 1993; Bellon y Brush 1994; Louette et al. 1997), el frijol (Martin y Adams 1987;

Voss 1992), la yuca (Boster 1985) y el sorgo (Teshome et al. 1997; ver también capítulo 2). Sin embargo, queda la duda de si el uso correcto de los nombres locales para una variedad de un cultivo permite calcular la diversidad varietal local porque puede que los agricultores no sean consistentes cuando asignan nombres y describen las variedades de sus cultivos locales (Jarvis et al. 2004).

En Marruecos, Sadiki et al. (2001, 2002) comprobaron que agricultores de diferentes aldeas asignan nombres diferentes a variedades de haba descritas con el mismo conjunto de características de la semilla y la vaina. En 15 aldeas pertenecientes a cinco comunidades de tres provincias del norte de Marruecos se recolectaron los nombres que los agricultores daban a las variedades locales de haba y las descripciones de éstas, junto con muestras de semillas provenientes de 185 fincas seleccionadas al azar. A los agricultores se les pidió que hicieran una lista de nombres y describieran los tipos locales de variedades de haba que conocían y cultivaban. Los caracteres de cada cultivar se especificaron junto con las características diferenciadoras, de acuerdo con la descripción de cada agricultor. La consistencia entre agricultores en la asignación de nombres a las variedades locales de haba se evaluó con base en el porcentaje de agricultores que reconocían la misma variedad con el mismo nombre y la misma descripción.

El Cuadro 3.5a muestra que aunque algunas variedades tienen nombres diferentes, como *foul sbai lahmar*, *foul roumi*, y *lakbir lahmar*, los agricultores usan los mismos caracteres para describirlas. En otros casos, diferentes agricultores describen las variedades de manera distinta, como ocurre con *moutouassate labiade*. Finalmente, se encontraron otros casos en los que no se asignaban nombres específicos a las variedades, sino que se las denominaba con un nombre genérico *beldi*, pero los agricultores podían distinguir entre diferentes unidades dentro de la categoría *beldi* sin necesidad de asignar nombres precisos. La consistencia entre agricultores en la asignación de nombres a las variedades de haba de ocho aldeas marroquíes se estudió en tres comunidades diferentes, usando un coeficiente de correlación no paramétrico para pares de aldeas con base en ji-cuadrado (Cuadro 3.5b). Un ejemplo lo constituye una variedad de haba, en la cual la consistencia disminuye a medida que aumenta la distancia geográfica. Sadiki (información no publicada) también comparó la consistencia en los nombres de las variedades con el conjunto de caracteres que los agricultores usaban para describirlas, y encontró que los conjuntos de caracteres para describir una variedad eran mucho más consistentes sobre las áreas geográficas que los nombres de las variedades. La consistencia entre agricultores para asignar nombres a las variedades es mayor cuando las aldeas

**Cuadro 3.5a.** Nombres y descriptores de las variedades de haba que los agricultores locales dijeron habían oído mencionar, conocían, habían visto o habían cultivado en Marruecos (datos recopilados en una encuesta de campo).

Nombre de la Variedad	Código de la Variedad	Longitud de la Vaina	No. de Semillas/ Vaina	Tamaño de la Semilla (mg/semilla)	Color de la Semilla	Forma de la Vaina
<i>Foul sbai labiade</i>	A	Larga	7	Grande (>1.5)	Amarillo claro	Aplanada
<i>Foul sbai lahmar</i>	B	Larga	6-7	Grande	Marrón	Aplanada
<i>Foul roumi</i>	C	Larga	6-7	Grande	Marrón	Aplanada
<i>Lakbir lahmar</i>	D	Larga	6-7	Grande	Marrón	Aplanada
<i>R'bai labiade</i>	E	Mediana	4-5	Grande	Amarillo claro	Aplanada
<i>R'bai laghlid lahmar</i>	F	Mediana	4-5	Grande	Marrón	Aplanada
<i>Khmassi laghlid khdar</i>	G	Mediana	4-5	Grande	Verde	Aplanada
<i>Foul beldi lou l'khal</i>	H	Mediana	4-5	Grande	Violeta	Aplanada
<i>T'lati laghlid beldi</i>	I	Corta	3	Grande	Marrón oscuro	Aplanada
<i>Beldi moutouassate labiade</i>	J	Mediana	4-5	Mediana (0.8-1.5)	Amarillo claro	Aplanada
<i>Foul beldi aadi</i>	K	Mediana	4-5	Mediana	Amarillo claro	Aplanada
<i>Moutouassate labiade</i>	L	Mediana	4-5	Mediana	Amarillo claro	Cilíndrica
<i>Foul lahmar moutouassate</i>	M	Mediana	4-5	Mediana	Marrón claro	Aplanada
<i>Foul moutouassate lou l'khal</i>	N	Mediana	4-5	Mediana	Violeta	Cilíndrica
<i>Moutouassate labiade</i>	O	Mediana	4-5	Mediana	Marrón	Cilíndrica
<i>Beldi moutouassate lakhdar</i>	P	Mediana	4-5	Mediana	Verde	Aplanada
<i>Beldi (A) Q</i>	Q	Corta	3	Mediana	Gris claro	Aplanada

Cuadro 3.5a continuación

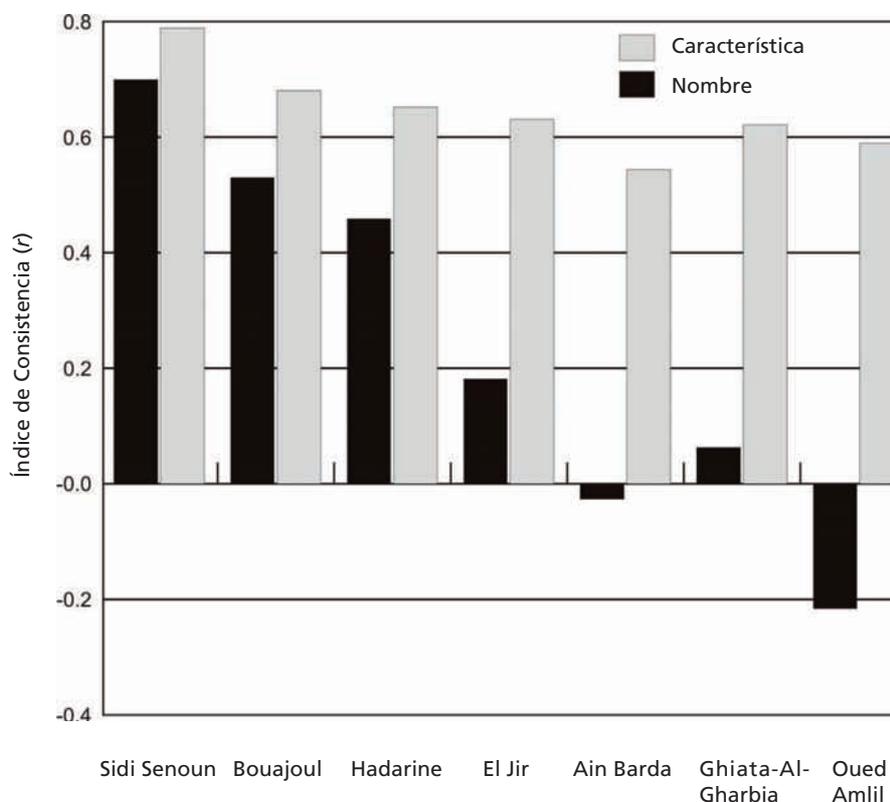
Nombre de la Variedad	Código de la Variedad	Longitud de la Vaina	No. de Semillas/Vaina	Tamaño de la Semilla (mg/semilla)	Color de la Semilla	Forma de la Vaina
<i>Beldi</i> (B)	R	Corta	3	Mediana	Gris claro	Cilíndrica
<i>Beldi</i> (C)	S	Corta	3	Mediana	Violeta	Aplanada
<i>Foul r'guigue labmar</i>	T	Corta	3	Pequeña (<0.8)	Marrón	Cilíndrica
<i>Filt labiade</i>	U	Corta	3	Pequeña	Gris claro	Cilíndrica
<i>Fouila baldia khadra</i>	V	Corta	3	Pequeña (<0.8)	Verde	Cilíndrica
<i>Foul bouzid s'ghir</i>	W	Corta	3	Pequeña (<0.8)	Violeta	Cilíndrica
<i>Lou l'khal s'ghir</i>	X	Corta	3	Pequeña (<0.8)	Negro	Cilíndrica

son cercanas (aldeas de la misma comunidad). El índice de consistencia (coeficiente de correlación) disminuye a medida que aumenta la distancia geográfica entre aldeas, significativamente más rápido para los nombres que para los caracteres (Figura 3.1), lo que indica que los conjuntos de caracteres agromorfológicos pueden tener mayor consistencia en el espacio geográfico que los nombres.

En Hungría, Mar et al. (2004) encontraron que, en algunos casos, los agricultores distinguían las diferentes variedades de frijol común con base en sus caracteres agromorfológicos aunque sólo les dieran el nombre genérico de *frijol*. Este caso es similar al sistema utilizado para denominar la cebada en Marruecos, donde la mayoría de las variedades locales se llaman *beldi*, que quiere decir “local”, para distinguirlas de las variedades modernas introducidas. Los agricultores, sin embargo, identifican claramente las variedades y las distinguen según las características de la semilla, la espiga y la planta, según el rendimiento y la calidad de la paja como alimento animal y, con frecuencia, según la calidad de la harina (Rh'rib et al. 2002).

A diferencia de las habas, los estudios de los nombres del trigo duro en Marruecos indicaron que los agricultores designan categorías grandes que comprenden diferentes variedades o entidades (Taghouti y Saidi 2002). Esta metaclasificación se basa en los caracteres de la espiga, especialmente el color (negro o blanco). Dentro de cada categoría, las variedades com-

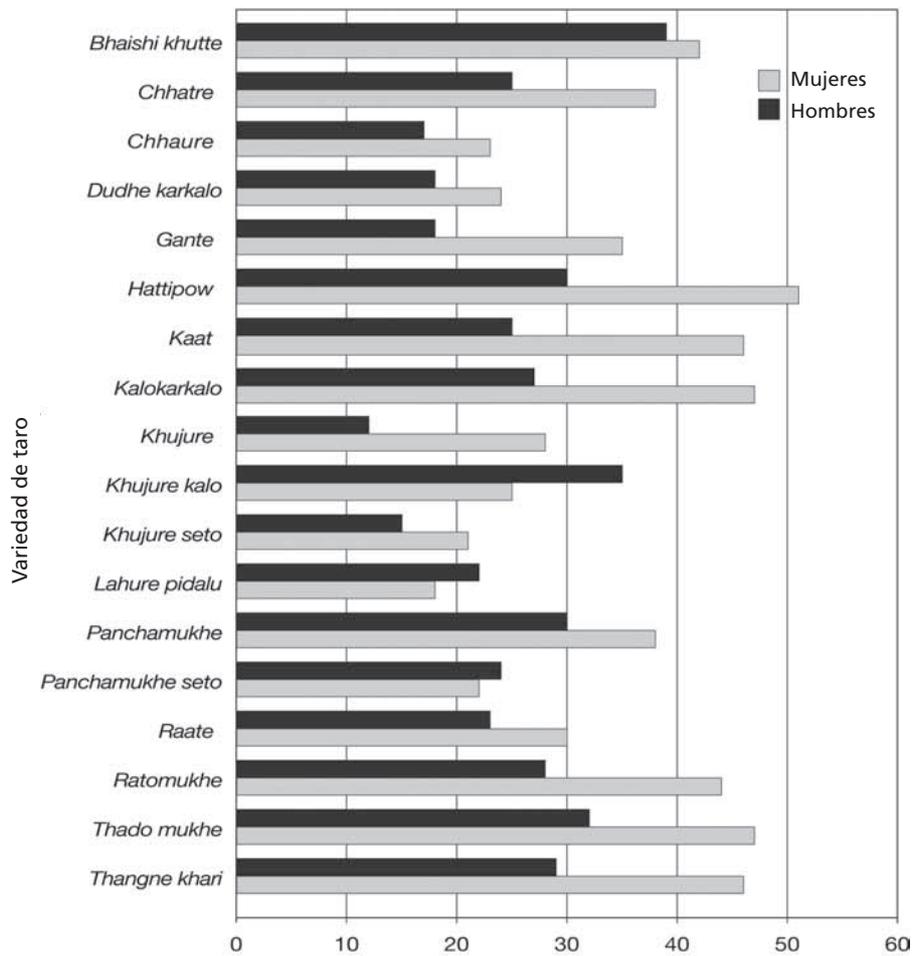




Aldeas (organizadas con base en la distancia geográfica en km desde Ain Kchir)

FIGURA 3.1. Comparación de la consistencia entre agricultores de diferentes aldeas en relación con el nombre de la variedad de haba *foul sbai labiade* y entre los mismos agricultores en relación con las características de la variedad (comparación basada en el índice de consistencia  $r$ ). Coeficiente de correlación entre  $r$  (índice de consistencia) y  $d$  (distancia en km desde Ain Kchir a las otras 7 aldeas) para los nombres y las características =  $-0.537$  y  $-0.173$ , respectivamente; grado de significancia de la correlación para los nombres y las características =  $0.002$  y  $0.280$ , respectivamente (M. Sadiki, M. Arbaoui, L. G. Houti y D. Jarvis, datos no publicados, 2004).

parten el mismo nombre de su grupo, pero los agricultores las distinguen con base en otros caracteres, como la calidad de la harina y la altura de la planta. Otro caso es el de las variedades de alfalfa de Marruecos, que generalmente se denominan según su origen geográfico. Los nombres de las variedades de alfalfa, derivados de un mismo ecositio, son genéricos y hacen referencia a la adaptación a las condiciones edáficas y climáticas locales. Existen dos grupos principales *-demante* (área montañosa) y *rich*



Porcentaje de agricultoras y agricultores que usan diferentes características.

FIGURA 3.2. Descripciones hechas por agricultores de ambos géneros en relación a las características de variedades de taro denominadas por los agricultores. Se indica el porcentaje de mujeres y hombres que usan diferentes características para cada variedad (Deepak Rijal, datos no publicados, 2004). La diferencia en la frecuencia de las características usadas por las mujeres vs. las usadas por los hombres fue probada por Wilcoxon ( $Z = -5.696$ ).

(área de oasis)- que difieren entre sí en hábito de crecimiento, rapidez con que crecen después de cortados y resistencia al invierno. Dentro de cada grupo, los agricultores separan las variedades con base en los caracteres agronómicos y morfológicos de las plantas (Bouzegaren et al. 2002).

Si el conjunto de caracteres es la unidad unificadora para reconocer las variedades, ¿reconocen todos los agricultores los mismos cultivares locales utilizando los mismos caracteres? ¿Se podrán correlacionar las divergencias en los intereses de género con la denominación de las unidades de diversidad y los patrones de diversidad en las fincas? Las investigaciones sobre la denominación de las variedades locales de taro de Nepal, presentadas en la Figura 3.2, indican que las mujeres tienen más consistencia entre sí que los hombres cuando seleccionan los caracteres que usan para describir las variedades de taro. Los agricultores caracterizaron 18 razas nativas de taro usando 24 descriptores relacionados con el cormo (tipo, forma, tamaño, crecimiento), el cormelo (cantidad, tamaño), la hoja (forma, tamaño, textura, color), el pecíolo (color, color de la vaina, cantidad), la altura de la planta (baja, mediana, alta) y el sistema radicular (profuso). En comparación con los hombres, las mujeres usaron los mismos descriptores con mayor frecuencia para todas las razas nativas. Cuando se les pidió caracterizar las razas nativas, la información de las mujeres fue más fidedigna que la de los hombres al reconocer descriptores específicos. Los hombres, con frecuencia, sólo usaron los caracteres del cormo y de los brotes para distinguir las variedades, mientras que ellas usaron descriptores adicionales como el cormelo, la forma y el tamaño de la hoja, y los hábitos de crecimiento.

Un estudio similar realizado en Vietnam con 47 cultivares de taro presentes en siete localidades, mostró que el nivel de consistencia entre las mujeres para denominar y describir las variedades era ligeramente más alto (80.57–98.5%) que entre los hombres (78.2–94%), aunque no estadísticamente significativo (Canh et al. 2003; Hue et al. 2003).

### Nombres y diferenciación genética de las variedades de los agricultores

El que los nombres o los caracteres utilizados por los agricultores para distinguir sus variedades sean muy consistentes entre aldeas, no responde la pregunta de hasta qué punto las unidades nombradas por los agricultores son genéticamente diferentes o a qué nivel –agromorfológico, bioquímico, molecular— se puede encontrar esta diferenciación.

Se practicaron algoritmos de agrupamiento a los datos agromorfológicos de variedades de arroz denominadas por los agricultores, en tres localidades de Nepal con diferente altitud (Bara, <100 msnm; Kaski/Begnas, 600–1,400 msnm; y Jumla, 2,200–3,000 msnm), para evaluar si estas variedades eran distintas a nivel agromorfológico (Bajracharya 2003;

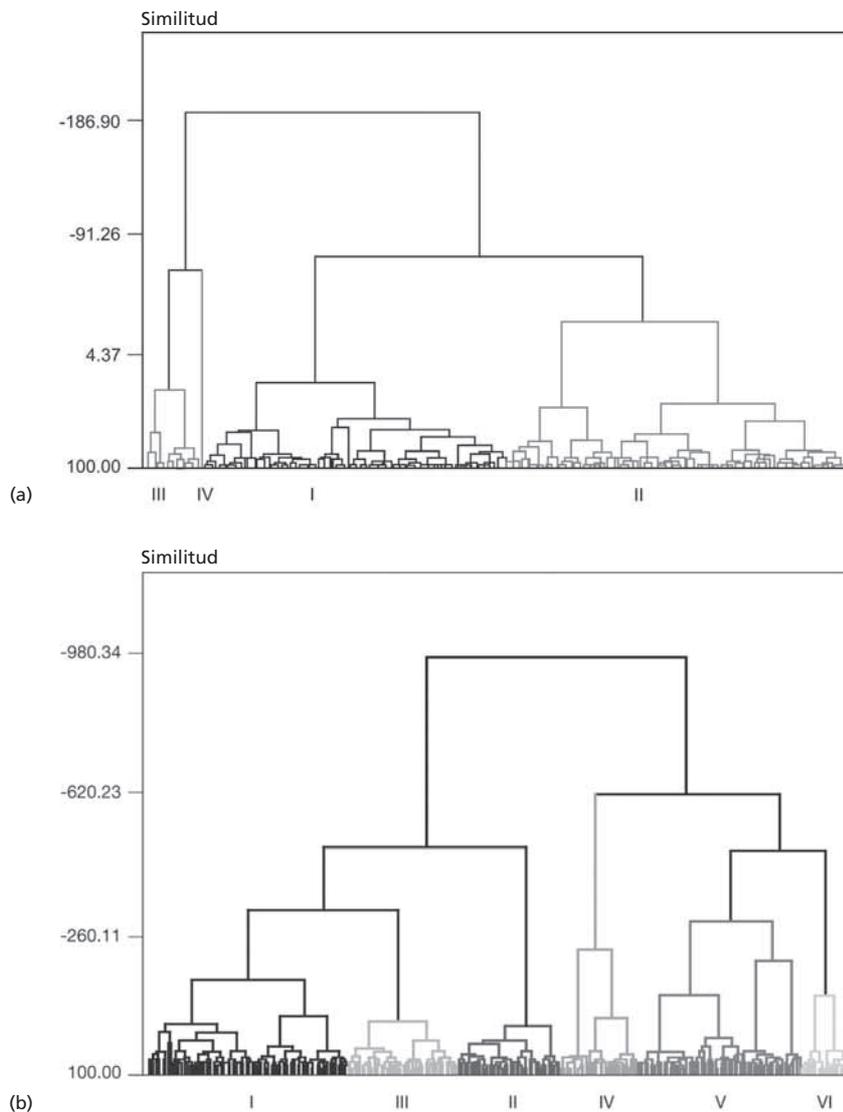


FIGURA 3.3. Dendrograma de accesiones de arroz de tres localidades y de variedades modernas tomadas como testigo, Nepal (Bajracharya 2003; Bajracharya et al. 2006). (a) Localidad Jumla: Diversidad en los nombres pero poca diversidad genética (morfológica) en los cultivares nativos. Figura 3(a) adaptada de Bajracharya et al. 2006; el color de las aristas y el estigma fueron caracteres diferenciadores. (b) Localidad Kaski: Aglomerado de poblaciones de cultivares nativos con nombres idénticos que presentan un alto grado de consistencia en los nombres y las descripciones agromorfológicas; se encontró un amplio rango de variabilidad agromorfológica; las características morfológicas de la hoja y el grano fueron importantes. (c) Localidad Bara: Se encontró una aglomeración evidente entre las unidades de diversidad de los agricultores y los agroecosistemas, presentando una alta consistencia en los nombres y descripciones agromorfológicas; los caracteres cuantitativos fueron responsables del 60% de la variación total en el análisis de componentes principales; los caracteres relacionados con la duración del ciclo de cultivo fueron importantes.

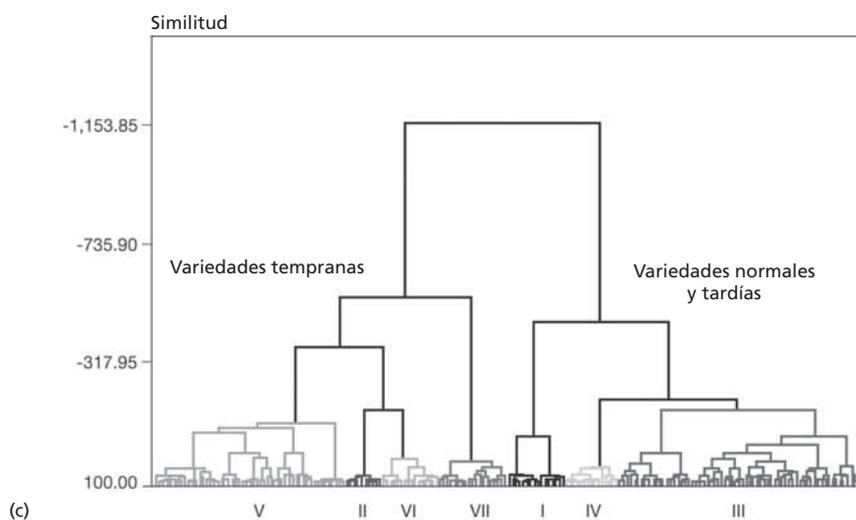


FIGURA 3.3., continuación

Bajracharya et al. 2006; Figura 3.3). En los dos sitios de menor elevación, las poblaciones de cultivares nativos con nombres idénticos se agruparon, indicando un alto grado de consistencia en los nombres y descripciones agromorfológicas; en Jumla, situado a una mayor elevación, se encontró que existían diversos nombres pero poca diversidad morfológica en los caracteres evaluados.

La evaluación morfológica del taro en Vietnam también reveló variación entre variedades con nombres similares (Hai et al. 2003) y entre las diferentes cultivares nativos de taro (Hue et al. 2003; Tuyen et al. 2003). Trabajos de investigación sobre cultivares de arroz realizados en India y en el Valle del Cagayán en Filipinas encontraron que las muestras del mismo nombre frecuentemente tenían una constitución genética diferente, a nivel bioquímico y molecular (Pham et al. 1999; Sebastian et al. 2001).

Análisis similares de las diferencias genéticas entre las variedades de haba sembradas por los agricultores en Marruecos –evaluación agromorfológica usando 10 variedades descritas sistemáticamente entre las 14 cultivadas en la región— revelaron una gran cantidad de diversidad fenotípica en estos tipos varietales para la mayoría de los caracteres estudiados (Sadiki et al. 2002). Los análisis de agrupamiento jerárquico y los análisis multivariados discriminantes revelaron que los lotes de semilla que llevaban el mismo nombre generalmente se agrupaban. Estos resultados

**Cuadro 3.6.** Porcentaje de accesiones de cada variedad clasificado en clases definidas por funciones discriminantes, con base en la probabilidad posterior de membresía.

Clases Originales [Análisis Factorial Discriminante de las Variedades nombradas por los Agricultores, Clases (Aglomerados) Basadas en el (AFD)]*	Clases (Aglomerados)*										
	Código	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Lakbir labmar</i>	D	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R'bai labiade</i>	E	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Foul beldi lou l'khal</i>	H	0	0	86	0	0	0	14	0	0	0
<i>T'lati laghlide beldi</i>	I	0	0	0	71	0	0	29	0	0	0
<i>Beldi moutouassate labiade</i>	J	0	0	0	14	86	0	0	0	0	0
<i>Foul labmar moutouassate</i>	M	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
<i>Foul moutouassate lou l'khal</i>	N	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
<i>Filt labiade</i>	U	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
<i>Foul r'guigue labmar</i>	T	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
<i>Foul bouzid s'ghir</i>	W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Fuente: Sadiki et al., datos no publicados.

\* El 94% de las accesiones fue correctamente clasificado por el AFD en las clases de sus variedades originales.

concuerdan con la descripción fenotípica de los tipos hecha por los agricultores, que indican que, para estas poblaciones, las unidades nombradas por los agricultores son distintas y las características tienen una base genética. Los datos preliminares de distancias genéticas a partir de marcadores moleculares usando la técnica de RAPDs confirmaron que las diferencias entre los lotes de semilla de diferentes tipos excedían las diferencias entre los lotes de semilla del mismo nombre (Belqadi 2003; Benchechou 2004). En Marruecos, el patrón de rangos de las accesiones establecido para 10 variedades locales con base en las características fenotípicas es muy coherente con las descripciones de las variedades de haba hechas por los agricultores (Belqadi 2003). En el Cuadro 3.6 se puede observar que el 94% de las 70 accesiones analizadas fue clasificado correctamente en sus tipos varietales, con base en similitudes en los caracteres agromorfológicos. Por tanto, el patrón de agrupamiento fenotípico concuerda con las descripciones que los agricultores hacen de las variedades locales. La distinción de las variedades con base en las características fenotípicas corresponde a las percepciones de los agricultores al designar sus variedades. Para estas 10 variedades, las unidades de diversidad de los agricultores coinciden con las unidades de diversidad fenotípica evaluadas.

#### Variabilidad aceptable en los nombres y diferenciación genética

¿Qué tan grande es la variabilidad asociada a un nombre “consistente” en el tiempo y en el espacio? En Uganda, es posible empezar a usar nuevos clones de banano en un área sin sus nombres originales, asignándoles nuevos nombres, de la misma manera que diferentes grupos étnicos pueden cambiar un nombre después de recibir un nuevo clon (Karamura y Karamura 1994). Para identificar una posible duplicación en las 192 variantes de bananos denominados, Karamura (1999) calculó primero el estimado de la combinación de pares de desigualdades para pares de hijuelos de la misma planta sobre la base en 61 caracteres morfológicos. Los pares de hijuelos de la misma planta tenían un coeficiente de distancia entre 0.044 y 0.147, que se utilizó como punto de partida para analizar cultivares nativos con el mismo nombre pero sin el mismo hijuelo, y determinar si las muestras eran en efecto variedades genéticamente diferentes. En las 192 variantes nombradas, 79 resultaron ser clones diferentes; Dieciocho pares de accesiones con nombres similares mostraron valores desigualmente inferiores a 0.1, dándole similares valores a los hijuelos provenientes de la

misma planta. Cuatro pares mostraron valores de similitud fuera del rango de los hijuelos, por lo que se consideraron clones diferentes.

### Unidades de los agricultores para el manejo de la diversidad

Las discusiones sobre las unidades de manejo de la diversidad por parte de los agricultores (UMDA), en vez del uso del nombre de una variedad, suscitan algunas preguntas: ¿Es esta unidad tan única como dinámica? ¿Cambiará en el tiempo? ¿Si uniéramos la variedad nombrada con el informante que le asignó el nombre, lograríamos una unidad única? Los caracteres y los nombres usados para describir variedades nombradas pueden diferir no sólo a escala espacial sino temporal. El nombre puede permanecer igual, pero los caracteres utilizados para describir la variedad nombrada pueden cambiar. Del mismo modo, los caracteres que usan los agricultores para describir una variedad pueden permanecer iguales, pero el nombre asociado a esta serie de caracteres puede cambiar con el tiempo, a medida que nuevos agricultores adoptan y cultivan estos materiales. Los agricultores también pueden modificar los nombres genéricos cuando añaden un nuevo descriptor al nombre, a medida que van apareciendo nuevos caracteres en sus poblaciones (consultar el ejemplo de la calabaza esponjosa en Pandey et al. 2003 y el ejemplo del taro en Rijal et al. 2003). Los cambios en los nombres también pueden depender de cómo el conocimiento tradicional de estas variedades cambia a través de generaciones, y cómo cambian a través del tiempo las actitudes y percepciones con relación a estas variedades. El concepto básico en todas estas posibilidades es que la composición genética de las poblaciones de cultivos nativos no es estática sino que sigue evolucionando en el tiempo (Brown 2000). A medida que los agricultores seleccionan las semillas o las plantas para la siguiente generación, los caracteres utilizados para la selección del siguiente ciclo de cultivo pueden permanecer constantes o cambiar, lo cual puede generar cambios en la estructura genética de la planta (ver capítulo 4).

También puede suceder que los caracteres que el agricultor considera más importantes para distinguir una variedad, no sean los caracteres genéticamente diferenciadores que el investigador utilice para distinguir las mismas variedades. En Nigeria, Busso et al. (2000) encontraron que las prácticas de los agricultores para el manejo del mijo, un cultivo de polinización cruzada, resultaron en más diferencias entre los agricultores que entre la variedad con el mismo nombre cultivada por diferentes agricultores. Por tanto, cultivos nativos individuales con diferentes nombres, cul-

tivados por un mismo agricultor, resultaron más similares en su estructura genética que aquellos con los mismos nombres cultivados por agricultores diferentes. En este caso, los caracteres que utilizaron los agricultores para distinguir las variedades con nombres diferentes no condujeron a la identidad genética a nivel molecular. Pressoir y Berthaud (2004) encontraron una situación similar en el maíz (otra especie de polinización cruzada) en México: el alto grado de variación en la época de floración y la sincronía de la floración femenina-masculina entre poblaciones indicaron que el patrón de estructura de población para estas características agromorfológicas podía ser muy diferente del obtenido con marcadores moleculares.

A pesar de los cambios que las variedades sufren en el tiempo, el nombre de una variedad en la finca donde se mantiene o en una aldea puede permanecer inalterado, o el guardián de la variedad decidir que el material que tiene hoy es completamente diferente de lo que era en el pasado (como se discute en el Capítulo 4 en el caso de banano) y entonces cambiar el nombre de la variedad. El punto clave, sin embargo, es que las poblaciones nombradas —independientemente de sus diferencias genéticas— serán tratadas de manera específica, y este manejo a su vez afectará o incluso controlará la estructura genética futura de las poblaciones mantenidas en las fincas (Brown y Brubaker 2002).

Podría haber diferencias en la manera en que se divide la diversidad, dependiendo de las características biológicas de un cultivo. Hamrick y Godt (1997) describieron el efecto del sistema de cruzamiento sobre la variabilidad dentro y entre poblaciones de un cultivo, revelando que los cultivos autógamos muestran el doble de diferenciación en sus poblaciones que los alógamos. Por tanto, se puede esperar que las diferencias entre variedades sean menos prominentes en los cultivos de polinización cruzada que en los autopolinizados. Por otro lado, las variedades denominadas por los agricultores pueden estar sujetas a una escala más detallada para las plantas autógamas que para las alógamas. En el caso de la alfalfa (alógama), el nombre genérico local se podría aplicar al material cultivado en toda la aldea, mientras que en el caso del sorgo, un cultivo parcialmente alógamo, se podrían sembrar varios cultivares nativos nombrados en la misma parcela. Una vez que los cultivares nativos alógamos, como el maíz, se han nombrado, manejados como unidades separadas y distinguidos por sus caracteres morfológicos heredables (como el color de la semilla y la divergencia en la época de floración), pueden acumular una divergencia genética significativa a lo largo del tiempo.

¿Es posible categorizar las variedades nombradas en grupos funcionales? ¿Se puede hacer una metaclasificación de los nombres analizando las

percepciones de los agricultores sobre los grupos funcionales? Xu et al. (2001) demostraron que aunque diferentes grupos étnicos del suroccidente de China usaban nombres diferentes para sus cultivos, dependiendo de los idiomas locales, era posible distinguir claramente los principales tipos morfológicos entre los diferentes grupos étnicos. Gauchan et al. (2003; ver también el Capítulo 16) categorizaron las variedades nombradas en aquellas con un alto grado de diversidad, aquellas con características adaptativas particulares y aquellas raras, observando que es más probable que los diferentes hogares mantengan ciertas variedades en una categoría y no en otra.

### Patrones de diversidad espacial y nombres de las variedades

La distribución de los nombres de las variedades dentro y entre comunidades y regiones puede ser un indicador de los patrones de riqueza y uniformidad de la diversidad genética mantenida en fincas. En Nepal se desarrollaron métodos para caracterizar la cantidad y distribución de cultivares, con base en los promedios de área y número de hogares que los producían (Sthapit et al. 2000). Los cultivares locales se categorizaron en grupos de cultivares que ocupaban áreas grandes o pequeñas (en comparación con el área promedio) y en grupos de cultivares producidos por muchos o pocos hogares (comparados con la cantidad total de hogares en el estudio). Este método de análisis de cuatro celdas (ACC) se ha utilizado de diversas maneras. Rana y colaboradores (consultar Rana 2004) calcularon la media del área en hectáreas por hogar para cada variedad cultivada en una aldea, para determinar si se consideraba que esa variedad se cultivaba en un área grande o pequeña a la escala de los hogares. Este método tenía un problema: los hogares que tienen más tierras agrícolas tienen la capacidad de sembrar áreas mayores de cualquier variedad, mientras que los hogares con menor área cultivable sólo pueden sembrar un área pequeña (con una o más variedades). Para resolver este problema, se volvió a analizar la información usando el porcentaje del área sembrada en una aldea con una variedad, en comparación con el porcentaje de agricultores de la aldea que estaban cultivando dicha variedad. Los resultados se presentan en la Figura 3.4.

Muchos agricultores cultivan las variedades que aparecen en el cuadrante superior derecho de la Figura 3.4c, las cuales cubren un porcentaje significativo del área de la aldea dedicada al cultivo de arroz. Igualmente existe una cantidad significativa de variedades cultivadas por unos pocos

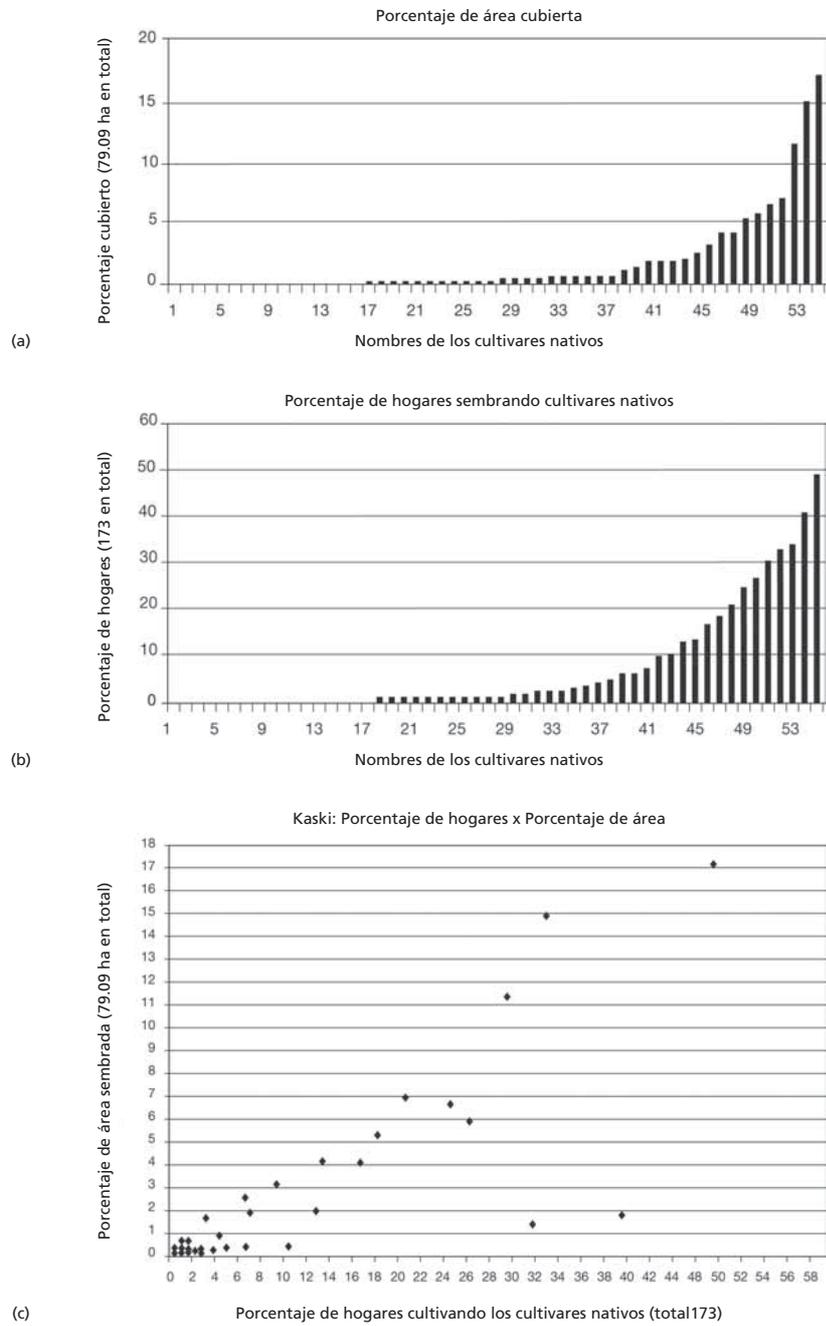


FIGURA 3.4. (a) Reanálisis de los datos para arroz con base en (b) el porcentaje de área sembrada (79.09 ha en total) y (c) el porcentaje de agricultores (H = hogares, 173 en total) que estaban cultivando la variedad en Kaski, un ecositio de altitud media (datos crudos de Sthapit et al. 2000).

agricultores, las cuales cubren sólo un pequeño porcentaje del área dedicada a este cultivo. Se puede también observar en el gráfico que para la mayoría de las variedades cultivadas, el área cubierta aumenta en la medida en que aumenta la cantidad de agricultores que cultivan esa variedad. Las variedades que quedaron por fuera de la tendencia principal, como los dos puntos en el extremo del cuadrante inferior derecho de la figura 3.4c, corresponden a variedades cultivadas por muchos agricultores pero en áreas tan pequeñas que el porcentaje total de cobertura no aumenta al mismo ritmo del de las otras variedades. Estas dos variedades —*rato anadi* y *seto anadi*— son variedades de arroz glutinoso cultivadas principalmente bajo riego o en condiciones *dhab* (áreas permanentemente inundadas). Estas variedades tienen un valor especial para la culinaria local durante las festividades. Los agricultores tienden a cultivar estos dos cultivares nativos, que poseen un significado especial religioso y cultural, en pequeñas áreas destinadas al consumo doméstico.

Hue et al. (2003) encontraron un segundo inconveniente en el método de análisis de cuatro celdas que acabamos de describir, cuando lo utilizaron con variedades de taro en Vietnam. El área promedio registrada para el cultivo de taro varió mucho dependiendo de las condiciones agroecológicas y de las fluctuaciones del mercado. En los sitios de estudio, el área osciló entre 28 y 3,600 m<sup>2</sup>, mientras que la cantidad promedio de agricultores que cultivaban cada variedad de taro osciló entre 1 y 25; de ahí que las definiciones de “muchas o poca área” y de “muchos o pocos agricultores” sean relativas y diferentes entre aldeas. Un análisis del patrón de distribución de la diversidad mostró que las aldeas con un área grande cultivada de taro no necesariamente contaban con la mayor diversidad de este cultivo. Muchos de los hogares por lo general cultivaban dos o tres cultivares locales de taro en áreas grandes, por lo cual se definieron estos cultivares como comúnmente dispersos en la localidad. Además, estos cultivares tienen alta demanda en el mercado por su calidad. Sin embargo, unos pocos hogares siguen manejando varios cultivares (entre cuatro y nueve) en pequeñas parcelas. El Cuadro 3.7 muestra la cantidad de diversidad de taro en términos de cantidad de variedades nombradas. Los ecosistemas de altitudes medianas, los montañosos y los arenosos de la costa del sur son ricos en cantidad de variedades de taro. Los índices de diversidad genotípica de taro se sistematizaron utilizando el índice de Simpson, para comparar la uniformidad varietal de taro (es decir, la frecuencia de agricultores que siembran cada cultivar a nivel de la aldea). El Cuadro 3.7 también ilustra la comparación entre sitios para los índices de diversidad de taro. El mayor índice de diversidad se encontró en la localidad de Sa

**Cuadro 3.7.** Cantidad de diversidad de taro en diferentes regiones ecológicas, Vietnam, 2003.

Sitio Ecológico	No. de Variedades	Rango de Área Sembrada/Cultivar (m <sup>2</sup> )	No. Promedio de Variedades/Hogar	Índice de Diversidad (H')
Sa pa	12	28-907	2-4	0.847
Da bac	10	25-360	2-3	0.800
Nho quan	9	40-1,810	1-3	0.680
Phu vang	9	50-241	2-4	0.730
Nghia hung	4	36-216	1-2	0.378
Tra cu	3	50-310	1-2	0.340

*Fuente:* Hue et al. (2003).

pa, seguido por Da bac, Phu vang y Nho quan. El índice de diversidad más bajo se encontró en Tra cu.

En Marruecos, la importancia de las variedades locales fue medida como el porcentaje del área cultivada con cada variedad local en la finca y en determinada zona geográfica. La distribución de las variedades locales en el espacio se determinó con base en la frecuencia de uso de cada variedad por los agricultores, y se encontró que la cantidad de variedades de haba cultivadas en el mismo ciclo por cada agricultor no se correlacionaba con el tamaño de la finca (Sadiki et al. 2005).

Grum et al. (2003) argumentaron que en vez de calcular el área efectiva, los investigadores junto con los agricultores y los extensionistas locales podrían usar el método de análisis de cuatro celdas para darle a los agricultores la oportunidad de discutir sus percepciones respecto al lugar que debía ocupar cada variedad en el cuadrante y si se debiera considerar rara o común, dispersa o localizada. Grum y sus colegas usaron este método en África Subsahárica para discutir las percepciones de los agricultores en relación a las variedades de arroz, ñame, sorgo, millo y caupí. El método despertó significativamente la conciencia de los agricultores y extensionistas respecto al alcance y la distribución de las variedades locales de los cultivos, y actualmente se usa en las universidades de Benín y Zimbabue como herramienta para medir la diversidad en fincas (M. Grum, comunicación personal, 2003). También se está utilizando para comprender el razonamiento de los agricultores al asignar un área determinada a cada cultivar, para identificar los cultivares considerados comunes o raros y para monitorear la diversidad local de los cultivos para acciones de con-

servación en Nepal, Mozambique, Sri Lanka y Malaysia (B. Sthapit, comunicación personal, 2003).

En Uganda, Mulumba et al. (2004) usaron el método de análisis de cuatro celdas para identificar y comprender las buenas prácticas para la conservación de cultivares nativos raros de banano en la zona semiárida de Lwengo en Uganda. Usando este método, los investigadores registraron 66 variedades de banano en el condado. Se identificaron 21 prácticas de manejo para las 19 variedades que los agricultores consideraron cultivares raros. El análisis de componentes principales indicó que de las 21 prácticas, 9 eran muy críticas para la supervivencia de los cultivares nativos raros.

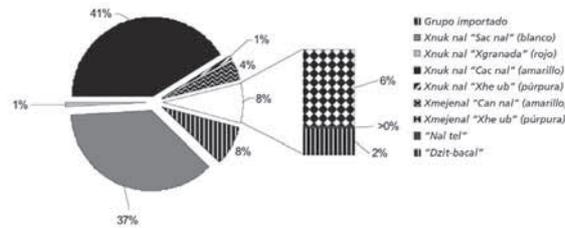
Karamura et al. (2004) utilizaron el mismo análisis para entender las estrategias de manejo que usan los agricultores para determinar cuáles contribuyen a reducir las plagas al tiempo que mantienen la diversidad. Sus resultados indicaron que las comunidades en el sitio de estudio siguen teniendo acceso y continúan seleccionando nuevos genotipos de banano, mostrando un promedio de 13 genotipos por finca. De la diversidad encontrada en este sitio, aproximadamente el 45% se mantuvo en pequeñas cantidades y en áreas muy pequeñas por diversas razones. Aunque los agricultores identificaron más de 20 prácticas de manejo de este cultivo en la comunidad y las consideraron esenciales para mantener la máxima diversidad posible de cultivares, el manejo exitoso de las parcelas de banano depende de la implementación cuidadosa de una serie de prácticas seleccionadas e integradas por la comunidad (incluyendo la siembra en aislamiento y en suelos sueltos, la reubicación continua, el trasplante y la aplicación de estiércol).

La asignación espacial de variedades a diferentes espacios productivos y usos de la tierra vincula el conocimiento ecológico con las prácticas culturales. El Recuadro 3.1 describe un ejemplo en México, en el cual la asignación de variedades está ligada a espacios de producción con una perspectiva de género. Con frecuencia los agricultores no pueden tomar riesgos al optimizar la asignación de variedades a determinados espacios productivos. Podría suceder que las variedades que han pasado de una generación a otra por ser específicas a un nicho, estén de hecho más ampliamente adaptadas y rindan mejor en espacios productivos diferentes y fuera de sus ambientes domésticos, porque los procesos de adaptación son complejos. La valoración que los agricultores hagan de determinados caracteres puede ser incompleta como se encontró en Nepal (Recuadro 3.2).

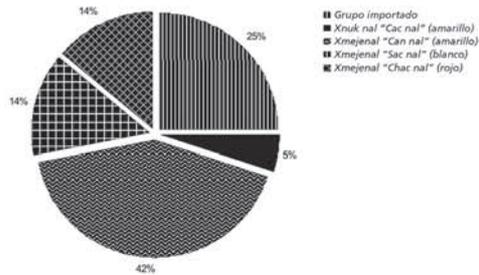
El uso del método de análisis de cuatro celdas ayuda a revelar el grado de diferencias entre cultivares nativos que no se logra captar al evaluar solamente la presencia o ausencia de los cultivares nativos encontrados en

**Recuadro 3.1. Distribución de la diversidad y los espacios de producción de los cultivos en Yucatán, México.**

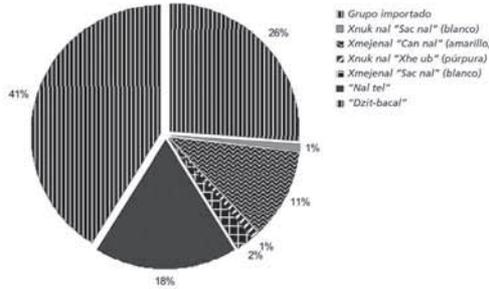
La siembra continúa de la diversidad de los cultivos en Yucatán, México, depende mucho de la interacción entre los principales espacios de producción existentes en los sistemas agrícolas tradicionales: los huertos familiares, las parcelas agrícolas (milpas) y las parcelas comunitarias<sup>1</sup>.



Porcentajes de maíz en aproximadamente 348,000 m² de tierras agrícolas



Porcentajes de maíz en aproximadamente 100,000 m² de parcelas comunitarias

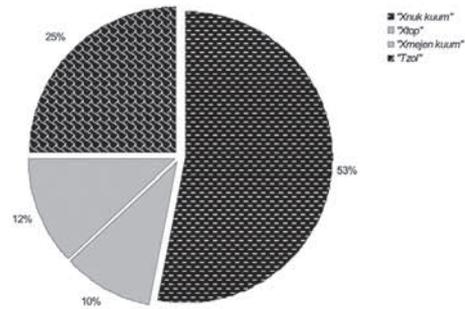


(a) Porcentajes de maíz en aproximadamente 1,136 m² de Jardines caseros

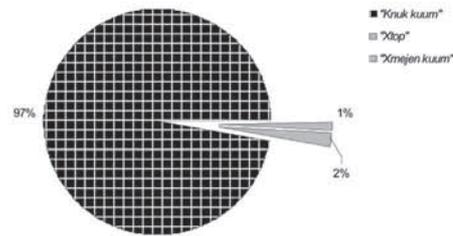
FIGURA EN EL RECUADRO 3.1. (a) Cantidad y distribución de las variedades de maíz en la población investigada. (b) Cantidad y distribución de las variedades de zapallo en la población investigada (figura adaptada de Lope 2004).

Recuadro 3.1, continúa en la página siguiente

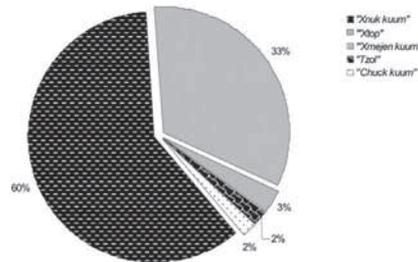
Recuadro 3.1, continuación



Porcentajes de zapallo en aproximadamente 1,014 m<sup>2</sup> de jardines caseros



Porcentajes de zapallo en aproximadamente 336,600 m<sup>2</sup> de tierras agrícolas



(b) Porcentajes de zapallo en aproximadamente 10,000 m<sup>2</sup> de parcelas comunitarias

FIGURA EN EL RECUADRO 3.1, continuación

Las relaciones de género se expresan en los espacios productivos, los cuales están relacionados más con un sexo que con el otro, lo que a su vez está relacionado con la división de trabajo por género y el conocimiento específico al género, y por tanto es probable que refleje diferentes patrones de cultivo y contenga diferentes variedades. Los hombres son responsables de manera exclusiva de cultivar las milpas, a las cuales las mujeres no pueden ir sin la presencia de

Recuadro 3.1, continuación

un hombre; las mujeres participan de las labores de campo solamente cuando se requiere mano de obra adicional, como durante la cosecha. Por otra parte, las mujeres realizan casi todas las labores y toman la mayoría de las decisiones en los huertos familiares, donde pueden trabajar solas. Se considera que los huertos familiares son principalmente del dominio femenino, mientras que las milpas son del dominio masculino. Se encontró que los códigos de comportamiento eran más fuertes en estos dos espacios tradicionales. En el caso de las parcelas comunitarias, estas fronteras de género son más flexibles porque tanto hombres como mujeres deciden explícitamente qué cultivos se siembran y en qué cantidades. Las mujeres pueden ir solas a las parcelas comunitarias y trabajar allí igualmente sin la presencia de hombres; los hombres también trabajan en las parcelas comunitarias (especialmente en aquellas que están ubicadas en la periferia de la aldea) y ambos géneros toman las decisiones con respecto a qué y cuánto se siembra. En la Figura del Recuadro 3.1 se pueden apreciar las variedades y las cantidades cultivadas en cada espacio productivo. Los resultados indican que es difícil caracterizar el maíz o el zapallo en términos de ser cultivos exclusivos para un género. En cambio, en el área estudiada, se encontró que los espacios tradicionales de producción, las milpas (espacios para los hombres) y los huertos familiares (espacios para las mujeres) son interdependientes en términos de la selección y el mantenimiento de variedades, y que esta interdependencia es el resultado tanto de similitudes como de las diferencias en las razones que tienen hombres y mujeres para sembrar determinado cultivar en un espacio productivo específico, junto con la influencia que hombres y mujeres ejercen sobre cada uno para la selección de las variedades de acuerdo con el espacio productivo, la cual se ejerce físicamente y como una negociación explícita o sutil.

1. Las parcelas agrícolas mayas, denominadas milpas, contienen cultivos de maíz asociado con frijol y zapallo, usando técnicas de roza y quema, sin mecanización y dependientes de las lluvias. Los espacios para los otros cultivos hortícolas están ubicados en las milpas, pero generalmente separados del maíz y sus cultivos asociados. El tamaño de cada parcela varía entre unos pocos mecatres (20 x 20 m, unidad que los agricultores locales usan para medir sus milpas) y de 4 a 5 hectáreas. Los jardines domésticos contienen una mayor cantidad de diversidad interespecífica; las especies cultivadas en estos jardines se usan principalmente como alimentos, medicinas, forraje, combustible y ornamentales. Además de estos dos espacios tradicionales, las parcelas comunitarias (*terrenos*) incluyen antiguos huertos familiares o sitios de residencia estacional (*ranchos*), ahora deshabitados, y tierras comunitarias que han sido distribuidas a familias específicas para uso en el futuro de acuerdo con la planeación espacial de la aldea y el crecimiento de la población. Entre las familias estudiadas en esta investigación, estas parcelas tienen un tamaño promedio de 40 x 60 m<sup>2</sup> y se usan de una manera que a veces refleja los patrones encontrados en las parcelas agrícolas y a veces los encontrados en los huertos familiares.

Fuente: Lope (2004).

**Recuadro 3.2.** Comparación del rendimiento de grano de cultivares de arroz, en un experimento de transplante recíproco realizado en Kaski, Nepal (1,150m)

Frecuentemente, los agricultores no pueden arriesgarse a evaluar dónde es óptima la asignación de sus variedades a espacios productivos específicos. En Nepal, se examinó el rendimiento relativo de cultivares de arroz sometidos a diferentes regímenes de humedad para determinar si el rendimiento relativo de los cultivares nativos difiere cuando se los evalúa bajo diferentes regímenes de humedad y fertilidad, y si los diferentes ecosistemas del cultivo de arroz necesitan adaptación varietal específica (Tabla 3.2 en el Recuadro). Se hizo siembra recíproca en tres diferentes regímenes de humedad de los ecosistemas de arroz: *ghaiya* (ecosistema de arroz de secano), *tari* (ecosistema de arroz pluvial) y *sinchit* (ecosistema de arroz de riego).

Se observó que las interacciones variedad x ecosistema fueron significativas y que la adaptación fue específica a la variedad (Figura 3.2 en el Recuadro). Las variedades de los ecosistemas *tari* y *ghaiya* presentaron los más altos rendimientos en sus propios ecosistemas, mientras que en el ecosistema *sinchit*, sólo las variedades *rato anadi* y *khumal 4* tuvieron sus más altos rendimientos en su propio ecosistema. Las variedades *kalo jhinuwa* y *ekle* presentaron rendimientos significativamente más altos en ambientes diferentes a su propio ambiente (el ecosistema de arroz *tari*, dependiente de las lluvias).

CUADRO EN EL RECUADRO 3.2. Cultivares de arroz y regímenes de humedad

Regímenes de Humedad (Diferentes Agroecosistemas)	Cultivares nativos como testigos a los Diferentes Regímenes de Humedad	Características y Valores Distintivos
<i>Ghaiya</i> (secano)	<i>Rato ghaiya</i>	La paja tiene buen valor, demanda nutrientes
<i>Tari</i> (pluvial)	<i>Mansara</i>	Cultivada en zonas marginales, ambientes poco fértiles, mala calidad como alimento
<i>Sinchit</i> (riego)	<i>Kathe gurdi</i>	Maduración temprana
	<i>Kalo jhinuwa</i>	Arroz aromático y fino
	<i>Ekle</i>	Popular, de alto rendimiento
	<i>Rato aanadi</i>	Arroz pegajoso
	<i>Khumal 4</i> (testigo)	Variedad mejorada

Fuente: D. Rijal, información no publicada, 2004.

Recuadro 3.1, continuación

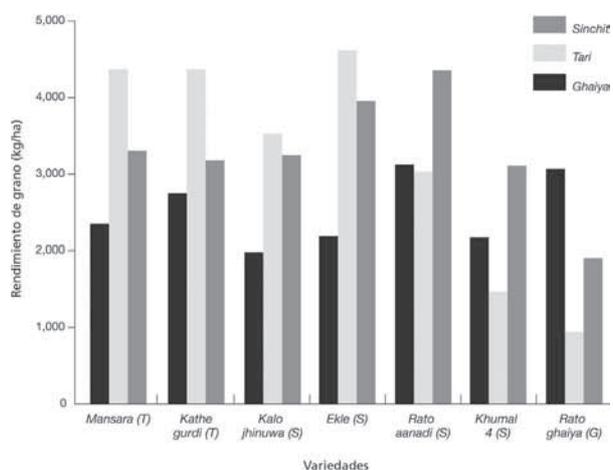


FIGURA EN EL RECUADRO 3.2. Comparación entre cultivares de arroz en cuando a rendimiento de grano en un experimento de trasplante recíproco, Kaski, Nepal (1,150 msnm). (Rijal, información no publicada).

La clasificación de los sitios con base en el rendimiento individual de las variedades mostró que los cultivares *mansara*, *kathe gurdi*, *kalo jhinuwa* y *ekle* presentaron mejores rendimientos en el ecosistema *tari*, seguido por *sinchit* y *ghaiya*. La variedad *rato aanadi* se comportó de manera similar en el ecosistema *ghaiya* y en *tari* pero su rendimiento fue inferior en *sinchit*, y la variedad *rato ghaiya* rindió más en *sinchit* que en *tari*, pero significativamente menos que en su ecosistema original (*ghaiya*). El testigo *khumal 4* logró su mayor rendimiento con riego (*sinchit*), seguido por su rendimiento en *ghaiya*.

Fuente: D. Rijal, datos no publicados

las fincas. Lo que es común al trabajo presentado aquí y en otros estudios publicados es la existencia de una pequeña cantidad de cultivares nativos abundantemente cultivados en toda una región y de un número mucho mayor de variedades moderadamente comunes, junto con una cantidad sustancial de variedades raras cultivadas en uno o dos hogares (Boster 1985; Zimmerer y Douches 1991; Pham et al. 1999; Tesfaye y Ludders 2003).

El método de análisis de cuatro celdas tiene un enfoque similar al que proponen Marshall y Brown (1975) y Brown (1978) para el muestreo de

alelos durante la colecta de germoplasma. Marshall y Brown han sostenido que los alelos que ameritan prioridad en el muestreo son aquellos que tienen una presencia restringida o localizada pero una frecuencia alta, y que esta técnica de muestreo ha sido ampliamente utilizada en la colecta de recursos fitogenéticos ¿Pero cómo se aplica este método al nivel de las cultivares nativos? Si muchos agricultores siembran un cultivar nativo en muchas áreas, éste se podría considerar disperso, lo cual nos llevaría a concentrarnos en seleccionar cultivares nativos que son cultivados por muchos agricultores en pequeñas áreas, como prioridad para la conservación. Sin embargo, hay que señalar que precisamente porque muchos agricultores cultivan este cultivar nativo en particular en muchas áreas pequeñas, el riesgo de pérdida no es muy alto.

Si unos pocos agricultores siembran un cultivar nativo en áreas restringidas, se podría decir que éste tiene una distribución altamente localizada (pocos agricultores y áreas pequeñas). Entonces este cultivar nativo se podría considerar como único y bajo una gran amenaza, por lo cual se convierte en un material importante para la conservación ex situ debido a que la conservación en fincas de un material tan diferente a los demás podría no ser rentable. Este es también un punto de entrada para vincular la conservación en fincas con la conservación ex situ. Si se va a contemplar la conservación en fincas de este material, entonces se necesita más información sobre su supervivencia a lo largo de los años.

Si un cultivar nativo es sembrado por unos pocos agricultores en grandes áreas, éste merece atención para la conservación en fincas, puesto que dicho cultivar podría tener complejos genéticos adaptativos y el potencial de adaptación a condiciones específicas. Además, se asegura la posibilidad de que sobreviva en fincas, con lo cual la conservación se vuelve rentable, y se garantizan también las oportunidades para que continúe evolucionando. Finalmente, es probable que la siembra de los cultivares nativos por muchos agricultores en áreas grandes sea de origen más reciente y no estén amenazados. Éstos son candidatos para la conservación en fincas en el futuro cercano, una vez que se haya asegurado la conservación de los cultivares nativos más importantes.

## Representatividad de las variedades locales para la diversidad regional

En este capítulo se han presentado evidencias para demostrar que la riqueza de las variedades de los agricultores o la cantidad de variedades que éstos tengan no necesariamente aumenta al mismo ritmo que la cantidad

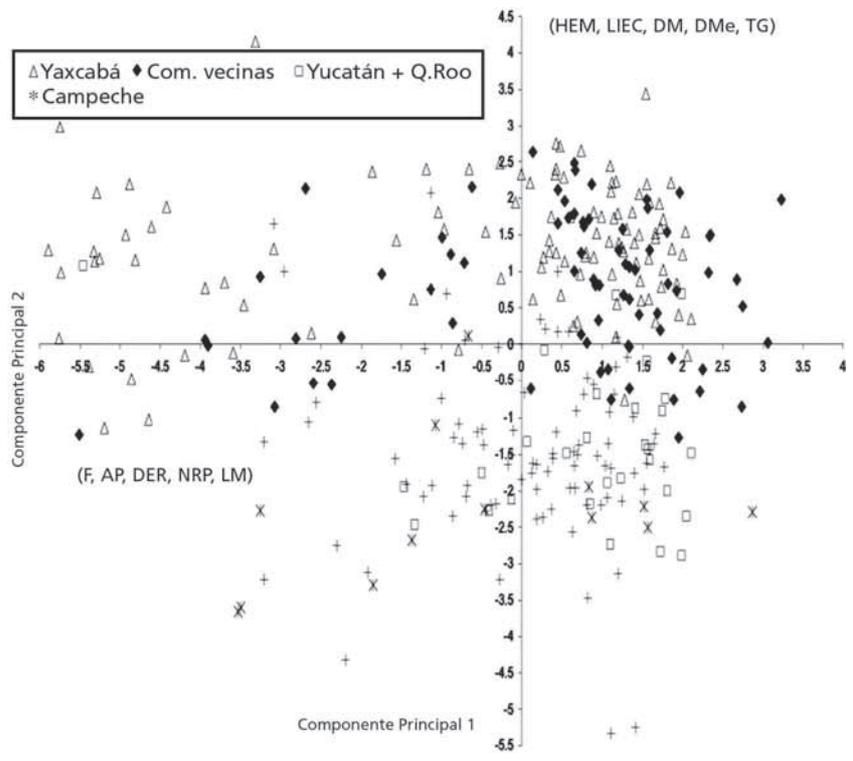
de diversidad (riqueza alélica). Puede darse el caso de que la diversidad genética contenida en unas pocas variedades en algunas aldeas sea similar a la cantidad de diversidad genética contenida en aldeas con muchas variedades, o puede ser que algunas aldeas contengan la mayoría de los caracteres para regiones mucho más grandes.

¿Qué tan representativo es un sitio de la diversidad presente en la región? Para poder determinar qué tan bien representada está la diversidad del maíz en un solo sitio de estudio —Yaxcabá, en la Provincia de Yucatán, Península de Yucatán—, Chávez y sus colegas (Chávez et al. 2000; Camacho-Villa y Chávez- Servia 2004) compararon la diversidad agromorfológica de 314 variedades de maíz de las tres provincias de la Península de Yucatán con la de 15 razas nativas de maíz de Yaxcabá. La distribución espacial en los dos primeros componentes principales mostró que las muestras de maíz de Yaxcabá poseen caracteres muy variables. La diversidad, medida en términos de caracteres agromorfológicos, de las 15 razas nativas de Yaxcabá incluía prácticamente toda la variabilidad agromorfológica presente en toda la Península de Yucatán (Figura 3.5).

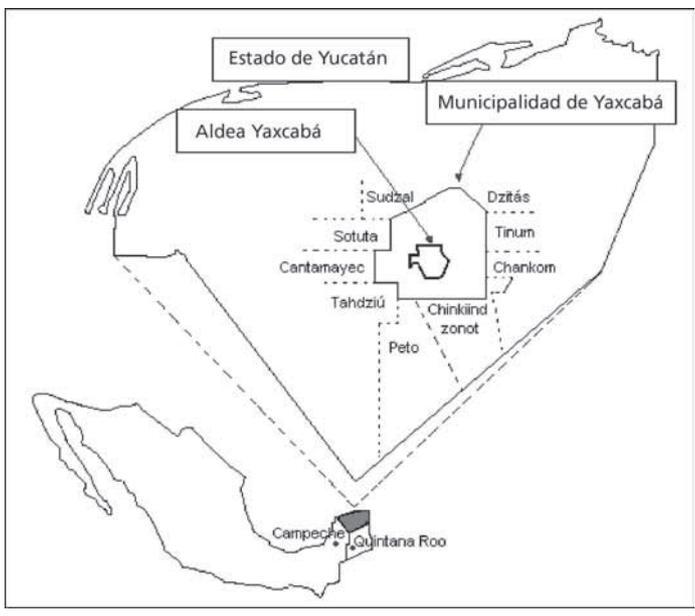
De la misma manera, la caracterización agromorfológica realizada a 312 accesiones de haba que representaban diferentes variedades locales, colectadas en las principales áreas productoras de haba de Marruecos, mostró que la mayoría de la diversidad se encontraba en el material proveniente de las dos provincias del norte (Belqadi 2003). Parece haber cierta asociación geográfica con la diversidad genética, y sería interesante explorar si ésta se puede rastrear a las diferencias en las prácticas de los agricultores en estas diferentes provincias.

## Conclusiones

Un resultado clave al examinar la relación entre las variedades nombradas por los agricultores y la diferenciación genética en diferentes países y cultivos ha sido el reconocimiento de que la caracterización que hacen los agricultores de las unidades de diversidad de los cultivos que manejan puede ir desde la simple aplicación de un nombre genérico para el cultivo, como *frijol*, a todas las variedades del cultivo, aún si las diferentes poblaciones se manejan de manera diferente, hasta la designación de un nombre específico de la localidad, a su vez modificado por un grupo de características. Este reconocimiento de que el nombre puede o no representar el nivel de diversidad del manejo de los agricultores ha ayudado a refinar los métodos para entender cómo los agricultores manejan la diversidad en sus fincas. Si



(a)



(b)

FIGURA 3.5

un nombre evidentemente refleja el nivel de diversidad de un cultivar nativo manejado por el agricultor, entonces este nombre se podría usar como unidad de conservación. Cuando el nombre no corresponde a la unidad manejada por el agricultor, entonces se deben incluir otros parámetros para definir con precisión la unidad de conservación. Si cultivares nativos claramente diferentes se nombran “locales”, entonces habría que incluir el nombre de la aldea o del hogar para definir estos materiales.

Es posible que algunas variedades con nombres raros en una aldea o región sean selecciones de algunas variedades comunes y que las variedades comunes contengan toda la diversidad encontrada en las variedades raras. El análisis de este problema podría requerir el examen de una serie de variedades raras y compararlas con las comunes. Estas preguntas son necesarias para comprender la relación entre la unidad reconocida por el agricultor –su variedad nombrada– y la cantidad de diversidad genética en el sistema que él o ella maneja. No se sabe si las variedades comunes utilizadas en toda una aldea o una región tiendan a ser más variables que las variedades menos comunes. Podría ser que las diferencias están re-

---

FIGURA 3.5. (a) Diagrama de dispersión de los primeros dos componentes principales donde se aprecia la dispersión de 314 poblaciones de maíz en la Península de Yucatán. Las poblaciones de maíz fueron colectadas en 1999 en los tres estados de la Península de Yucatán: Yucatán, Quintana Roo, y Campeche. De las 314 poblaciones, 182 fueron colectadas en la aldea de Yaxcabá y sus comunidades vecinas, las cuales están ubicadas en el corazón geográfico y cultural de la Península de Yucatán. Se caracterizaron las poblaciones con base en 34 características morfológicas y fenológicas. Se determinó el eje 1 (componente principal 1) básicamente por la floración (F), la altura de planta (AP), la distancia entre ramas (DER), el número total de ramas con panícula (NRP), y la longitud de la mazorca (LM). Se determinó el eje 2 (componente principal 2), de acuerdo con sus variables, básicamente por las hojas por encima de la mazorca (HEM), la longitud del entrenudo de la espiguilla central (LIEC), el diámetro de la mazorca (DM), el diámetro de la médula (DMe), y la textura del grano (TG). Las características morfológicas principales que describen la diferencia entre las poblaciones de maíz en la Península de Yucatán están relacionadas con las características reproductivas tales como la panícula (longitud, ramas, entrenudos), la mazorca (forma, longitud, diámetro, médula), y el grano (grosor, textura). Tal como lo presenta la figura, las poblaciones de maíz de Yaxcabá y sus comunidades vecinas cubren casi la dispersión completa de la diversidad morfológica en el eje del segundo componente principal, el cual fue determinado por las hojas por encima de la mazorca (HEM), la longitud del entrenudo de la espiguilla central (LIEC), el diámetro de la mazorca (DM), el diámetro de la médula (DMe), y la textura del grano (TG). La floración (F), la altura de planta (AP), la distancia entre ramas (DER), el número total de ramas con panícula (NRP), y la longitud de la mazorca (LM) del eje del primer componente principal establecieron las diferencias entre los cultivares nativos de los Estados de Quintana Roo y Campeche y los cultivares nativos del Estado de Yucatán (Chavez- Servia et al. 2000; Chavez- Servia, Camacho, y Burgos- May, información no publicada). Com. vecinas = Municipalidades vecinas; Q. Roo = Quintana Roo; Yaxcabá = municipalidad objetivo. (b) Mapa del origen de las muestras de maíz en el estudio. La Península de Yucatán está compuesta por los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

lacionadas mucho más con las diferencias de caracteres (y posiblemente con la distribución de la diversidad) y que todas las variedades tengan aproximadamente la misma riqueza alélica. Si las variedades localmente comunes mantenidas por los agricultores tienen el mayor número de alelos locales comunes, o si las variedades raras que los agricultores mantienen son, de hecho, selecciones a partir de variedades más comunes, entonces la pregunta que aflora es si el mantenimiento de las variedades comunes en fincas es suficiente. Si las variedades localmente comunes son las variedades que parecen ser especialmente importantes para cualquier agricultor debido a ciertas características específicas, uno podría esperar que estas variedades tuvieran una buena proporción de los alelos comunes con importancia adaptativa. El apoyo al mantenimiento en fincas de estas variedades localmente comunes sería entonces particularmente importante tanto para que los agricultores continúen usándolas hoy como para que la humanidad las use en el futuro.

### Agradecimientos

Este trabajo es el resultado de los esfuerzos del IPGRI –con el apoyo del proyecto global “Fortalecimiento de las Bases Científicas para la conservación In Situ de Agrobiodiversidad en Fincas”. Los autores agradecen a los gobiernos de Suiza (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación), los Países Bajos (Directorio General para la Cooperación Internacional), Alemania (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit/Agencia Alemana para la Cooperación Técnica), Canadá (Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo), Japón (Agencia Internacional Japonesa para la Cooperación), España y Perú por su apoyo financiero; al Dr. A. H. D. Brown por su revisión del manuscrito y al Dr. Jean Louis Pham por su ayuda en la síntesis de ideas sobre el uso de los nombres de las variedades como punto de partida para comprender la diversidad en fincas.

### Referencias

- Arias, L. 2004. *Diversidad genética y conservación in situ de los maíces locales de Yucatán, México*. PhD thesis, Instituto Tecnológico de Mérida, Yucatán, México.
- Arias, L., J. Chávez, B. Cob, L. Burgos y J. Canul. 2000. Agro-morphological characters and farmer perceptions: Data collection and analysis. Mexico. En D. Jarvis, B.

- Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 95–100. Roma: IPGRI.
- Bajracharya, J. 2003. *Genetic Diversity Study in Landraces of Rice (Oryza sativa L.) by Agro-morphological Characters and Microsatellite DNA Markers*. PhD thesis, Bangor, Reino Unido: University of Wales.
- Bajracharya, J., K. A. Steele, D. I. Jarvis, B. R. Sthapit y J. R. Witcombe. 2006. Rice landrace diversity in Nepal. Variability of agro-morphological traits and SSR markers in landraces from a high altitude site. *Field Crop Research* 95:327–335.
- Bellon, M. R. y S. B. Brush. 1994. Keepers of the maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany* 48:196–209.
- Bellon, M. R. y J. E. Taylor. 1993. “Folk” soil taxonomy and the partial adoption of new seed varieties. *Economic Development and Cultural Change* 41(4):763–786.
- Belqadi, L. 2003. *Diversité et ressources génétiques de Vicia faba L. au Maroc: Variabilité, conservation ex situ et in situ et valorisation*. Doctorat de thèse en sciences agronomiques, Rabat, Marruecos: Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- Benchechou, Z. 2004. *Analyse de la structure de la diversité génétique de la fève in situ en relation avec sa gestion à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc*. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle du diplôme d’ingénieur d’état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Marruecos: Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- Boster, J. S. 1985. Selection for perceptual distinctiveness: Evidence from Aguaruna cultivars of *Manihot esculenta*. *Economic Botany* 39(3):310–325.
- Bouzeeggaren, A., A. Birouk, S. Kerfal, H. Hmama y D. Jarvis. 2002. Conservation in situ de la biodiversité des populations noyaux de luzerne locale au Maroc. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune y D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*. Roma: IPGRI.
- Brown, A. H. D. 1978. Isozymes, plant population genetics structure and genetic conservation. *Theoretical and Applied Genetics* 52:145–157.
- Brown, A. H. D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms. En S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 29–48. Ottawa, Canada: IDRC/IPGRI/Lewis Publishers.
- Brown, A. H. D. y C. Brubaker. 2002. Indicators for sustainable management of plant genetic resources: How well are we doing? En J. M. M. Engles, V. R. Rao, A. H. D. Brown y M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 249–262. Roma: IPGRI y Wallingford, Reino Unido: CABI.
- Brush, S., R. Kesselli, R. Ortega, P. Cisneros, K. Zimmerer y C. Quiros. 1995. Potato diversity in the Andean Center of Crop Domestication. *Conservation Biology* 9(5):1189–1198.

- Burgos-May, L. A., J. L. Chávez-Servia y J. Ortiz-Cereceres. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. En J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 58–66. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Busso, C. S., K. M. Devos, G. Ross, M. Mortimore, W. M. Adams, M. J. Ambrose, S. Alldrick y M. D. Gale. 2000. Genetic diversity within and among landraces of pearl millet (*Pennisetum laucum*) under farmer management in West Africa. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60:1–8.
- Camacho-Villa, C. y J. L. Chávez-Servia. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. En J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 47–57. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Canh, N. T., T. V. On, N. V. Trung, C. A. Tiep y H. V. Lam. 2003. Preliminary study of genetic diversity in rice landraces in Ban Khoang Commune, Sa Pa District. En H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit y D. I. Jarvis, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam*. Proceedings of a symposium, Diciembre 6–12, 2001, Hanoi, Vietnam. Roma: IPGRI.
- Cazarez-Sánchez, E. 2004. *Diversidad genética y su relación con la tecnología de alimentos tradicionales*. MS thesis, Montecillos, Texcoco, México: Colegio de Postgraduados.
- Cazarez-Sánchez, E. y J. Duch-Gary. 2004. La diversidad genética de variedades locales de maíz, frijol, calabaza y chile, y su relación con características culinarias. En J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 250–255. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Chávez-Servia, J. L., L. Burgos-May, J. Canul-Ku, T. C. Camacho, J. Vidal-Cob y L. M. Arias-Reyes. 2000. Análisis de la diversidad en un proyecto de conservación in situ en México. En *Memorias del XII Seminario Científico*, Noviembre 14–17, 2000, La Habana, Cuba.
- Gauchan, D., M. Smale y P. Chaudhary. 2003. *(Market-Based) Incentives for Conserving Diversity on Farms: The Case of Rice Landraces in Central Terai, Nepal*. Paper presented at the fourth Biocon Workshop, Agosto 28–29, 2003, Venecia, Italia.
- Grum, M., E. A. Gyasi, C. Osei y G. Kranjac-Berisavljevic. 2003. *Evaluation of Best Practices for Landrace Conservation: Farmer Evaluation*. Paper presented at Sub-Saharan Africa Meeting, Nairobi, 2003.
- Hai, V. M., H. Q. Tin y N. N. De. 2003. Agromorphological variation of Mon Sap taro populations in the Mekong Delta, Vietnam: Role of on-farm conservation. En H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit y D. I. Jarvis, eds., *On-Farm Management of*

- Agricultural Biodiversity in Vietnam*. Memorias de un Simposio, Diciembre 6–12, 2001, Hanoi, Vietnam. Roma: IPGRI.
- Hamrick, J. L. y M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Science* 37:26–30.
- Harlan, J. R. 1975. Our vanishing genetic resources. *Science* 188:618–621.
- Hue, N., L. Trinh, N. Ha, B. Sthapit y D. Jarvis. 2003. Taro cultivar diversity in three ecosites of North Vietnam. En H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit y D. I. Jarvis, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam*. Memorias de un Simposio, Diciembre 6–12, 2001, Hanoi, Vietnam. Roma: IPGRI.
- Jarvis, D., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit y T. Hodgkin. 2000. *A Training Guide for In Situ Conservation On-Farm*. Version 1. Roma: IPGRI.
- Jarvis, D. I., V. Zoes, D. Nares y T. Hodgkin. 2004. On-farm management of crop genetic diversity and the Convention on Biological Diversity's Programme of Work on Agricultural Biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 138:5–17.
- Karamura, D. A. 1999. *Numerical Taxonomic Studies of the East African Highland Bananas (Musa AAA–East Africa) in Uganda*. Montpellier, Francia: INIBAP.
- Karamura, D. 2004. *Estimation of Distinct Clones in the Uganda National Banana Germplasm Collection*. Presentación en “Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On-Farm,” September 20–24, 2004, Roma.
- Karamura, D. y E. Karamura. 1994. *A Provisional Checklist of Banana Cultivars in Uganda*. Kampala, Uganda: National Agricultural Research Organization (NARO) y INIBAP.
- Karamura, D., E. Karamura, J. Wasswa, B. Kayiwa, A. Kalanzi y C. Nkwiine. 2004. *Analysis of Community Banana Based Management Practices: A Farmers' Perspective Towards Maintaining Diversity*. Presentado en “Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On-Farm,” Septiembre 20–24, 2004, Roma.
- Latournerie Moreno, L., J. Tuxill, E. Yupit Moo, L. Arias Reyes, J. Crisotbal Alejo y D. I. Jarvis. 2006. Traditional maize storage methods of Mayan farmers in Yucatan, Mexico: Implication for seed selection and crop diversity. *Biodiversity and Conservation*, 15(5): 1771–1795.
- Lope, D. 2004. *Gender Relations as a Basis for Varietal Selection in Production Spaces in Yucatan, Mexico*. M.S. thesis, Holanda: Wageningen University
- Louette, D., A. Charrier y J. Berthaud. 1997. In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20–38.

- Mar, I. y L. Holly. 2000. Hungary. Adding benefits. En D. Jarvis, B. Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 194–198. Roma: IPGRI.
- Mar, I., A. Simon y A. Gyovai. 2004. *Data Variables on Percent Coverage, Number of Farmers, Measurements of Richness and Evenness in Maize and Beans in Hungary*. Presentación en “Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On- Farm,” Septiembre, 20–24, Roma.
- Marshall, D. R. y A. H. D. Brown. 1975. Optimal sampling strategies in genetic conservation. En O. H. Frankel y J. G. Hawkes, eds., *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*, 53–80. Cambridge: Cambridge University Press.
- Martin, G. B. y M. W. Adams. 1987. Landraces of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northern Malawi. I. Regional variation. *Economic Botany* 41:190–203.
- Morales-Valderrama, C. y T. Quiñones-Vega. 2000. Social, cultural and economic data collection and analysis including gender: Methods used for increasing access, participation and decision-making. En D. Jarvis, B. Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 49–50. Roma: IPGRI.
- Mulumba, W. J., C. Nkwiine, K. B. Male, A. Kalanzi y D. Karamura. 2004. Evaluation of farmers’ best practices for on-farm conservation of rare banana (*Musa*) landraces in the semi-arid region of Lwengo sub- county, Masaka district—Uganda. *Uganda Journal of Agriculture* 9(1):275–281.
- Pandey, Y. R., D. K. Rijal, M. P. Upadhyay, B. R. Sthapit y B. K. Joshi. 2003. In situ characterization of morphological traits of sponge gourd at Begnas ecosite, Kaski, Nepal. En B. R. Sthapit, M. P. Upadhyaya, B. K. Baniya, A. Subedi y B. K. Joshi, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 63–70. Memorias del Taller Nacional, Abril 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI- BIRD/IPGRI.
- Pham, J. L., S. Quilloy, L. D. Huong, T. V. Tuyen, T. V. Minh y S. Morin. 1999. *Molecular Diversity of Rice Varieties in Central Vietnam*. Paper presented at the workshop of the participants of the project “Safeguarding and Preserving the Biodiversity of the Rice Genepool. Component II: On-Farm Conservation,” Mayo 17–22, 1999, Los Baños, Filipinas: Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz.
- Pressoir, G. y J. Berthaud. 2004. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico. *Heredity* 92:88–94.
- Quiros, C. F., S. B. Brush, D. S. Douches, K. S. Zimmerer y G. Huestis. 1990. Biochemical and folk assessment of variability of Andean cultivated potatoes. *Economic Botany* 44(2):254–266.

- Rana, R. B. 2004. *Influence of Socio-Economic and Cultural Factors on Agrobiodiversity Conservation On-Farm in Nepal*. PhD thesis, International and Rural Development Department, University of Reading.
- Rh'rib, K., A. Amri y M. Sadiki. 2002. Caracterisation agro morphologique des populations locales d'orge des sutes Tanant et Taounate. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune y D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*, 286–294. Roma: IPGRI.
- Rijal, D. K., B. R. Sthapit, R. B. Rana y D. I. Jarvis. 2003. Adaptation and uses of taro diversity in agroecosystems of Nepal. En B. R. Sthapit, M. P. Upadhyaya, B. K. Baniya, A. Subedi y B. K. Joshi, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 29–36. Memorias del Taller Nacional, Abril 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI- BIRD/IPGRI.
- Sadiki, M., M. Arbaoui, L. Ghaoutiy D. Jarvis. 2005. Seed exchange and suply systems and on-farm maintenance of crop genetic diversity: A case study of faba bean in Morocco. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J.-L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 81– 86. Memorias del Taller, Septiembre 16–20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Sadiki, M., L. Belqadi, M. Mahdi y D. Jarvis. 2001. Identifying units of diversity management by comparing traits used by farmers to name and distinguis faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars with measurements of genetic distinctiveness in Morocco. En *Memorias del Simposio LEGUMED "Grain Legumes in the Mediterranean Agriculture,"* Octubre 25–27, 2001, Rabat, Marruecos. París: AEP.
- Sadiki, M., A. Birouk, A. Bouizzgaren, L. Belqadi, K. Rh'rrib, M. Taghouti, S. Kerfal, M. Lahbhili, H. Bouhya, R. Douiden, S. Saidi y D. Jarvis. 2002. La diversité génétique in situ du blé dur, de l'orge, de la luzerne et de la fève: Options de stratégie pour sa conservation. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune y D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*, 37–117. Roma: IPGRI.
- Sawadogo, M., J. T. Ouedraogo, R. G. Zangre y D. Balma. 2005. Diversité biologique agricole et les facteurs de don maintien en milieu paysan. En D. Balma, B. Dossou, M. Sawadogo, R. G. Zangre, J. T. Ouedraogo y D. I. Jarvis, eds., *La gestion de la diversité des plantes agricoles dans les agro- ecosystemes*. Compte-rendu des travaux d'un atelier abrite par CNRST, Burkina Faso et International Plant Genetic Resources Institute, Ouagadougou, Burkina Faso, Diciembre 27–28, 2001. Roma: IPGRI.
- Schneider, J. 1999. Varietal diversity and farmers' knowledge: The case of sweet potato in Irian Jaya. En G. Prain, S. Fujusaka y M. D. Warren, eds., *Biological and Cultural Diversity*, 97–114. London: It Publications.

- Sebastian, L. S., J. S. Garcia, L. R. Hipolito, S. M. Quilloy, P. L. Sanchez, M. C. Califo y J. L. Pham. 2001. *Assessment of Diversity and Identity of Farmers' Rice Varieties Using Molecular Markers*. Conferencia Presentada en el Taller "In Situ Conservation of Agrobiodiversity: Scientific and Institutional Experiences and Implications for National Policies," Agosto 14-17, 2001, La Molina, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Soleri, D. y D. A. Cleveland. 2001. Farmers' genetic perceptions regarding their crop populations: An example with maize in the central valleys of Oaxaca, México. *Economic Botany* 55(1):106-128.
- Sthapit, B., K. Joshi, R. Rana, M. P. Upadhaya, P. Eyzaguirre y D. Jarvis. 2000. Enhancing biodiversity and production through participatory plant breeding: Setting breeding goals. En *An Exchange of Experiences from South and South East Asia*. Memorias de The International Symposium on Participatory Plant Breeding and Participatory Plant Genetic Resources Enhancement, Mayo 1-5, 2000, Pokhara, Nepal. Cali, Colombia: CIAT.
- Taghouti, M. y S. Saidi. 2002. Perception et désignation des entités de blé dur gérées par les agriculteurs. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune y D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*, 275-279. Roma: IPGRI.
- Tanto, T. 2001. Datos no publicados presentados en: "Strengthening the Scientific Basis of *In Situ* Conservation of Agricultural Biodiversity: Genetic Diversity and On-Farm Conservation Workshop," Junio 11-19, 2001, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Tesfaye, B. y P. Ludders. 2003. Diversity and distribution patterns of enset landraces in Sidama, southern Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50:359-371.
- Teshome, A., B. R. Baum, L. Fahrting, J. K. Torrance, T. J. Arnason y J. D. Lambert. 1997. Sorghum (*Sorghum bicolor*) landrace variation and classification in North Shewa and South Welo, Ethiopia. *Euphytica* 97:225-263.
- Tuyen, T. V., N. V. Truong y H. T. T. Hoa. 2003. *Farmers' Management of Taro Diversity as a Part of Farming Systems in a Coastal Sandy Area of Phuda*. Presentado en el Taller Nacional: "Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity On-Farm," Diciembre 6-8, 2002, Ban Me Thuot, Vietnam.
- Voss, J. 1992. Conserving and increasing on-farm genetic diversity: Farmer Management of varietal bean mixtures in central Africa. En J. L. Moock y R. E. Rhoades, eds., *Diversity, Farmer Knowledge and Sustainability*, 34-51. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Xu, J. C., Y. P. Yang, Y. D. Pu, W. G. Ayad, y P. Eyzaguirre. 2001. Genetic Diversity in taro (*Colocasia esculenta* Schott, *Araceae*) in China: An ethnobotanical and genetic approach. *Economic Botany* 55:14-31.

- Zimmerer, K. S. 2003. Just small potatoes (and ulluco)? The use of seed-size variation in “native commercialized” agriculture and agrobiodiversity conservation among Peruvian farmers. *Agriculture and Human Values* 20:107–123.
- Zimmerer, K. S. y D. S. Douches. 1991. Geographical approaches to native crop research and conservation: The partitioning of allelic diversity in Andean potatoes. *Economic Botany* 45:176–189.

## 4 Sistemas de semillas y diversidad genética de los cultivos en sistemas agrícolas

---

T. HODGKIN, R. RANA, J. TUXILL, D. BALMA, A. SUBEDI, I. MAR,  
D. KARAMURA, R. VALDIVIA, L. COLLADO, L. LATOURNERIE, M. SADIKI,  
M. SAWADOGO, A. H. D. BROWN, Y D. I. JARVIS

En el último siglo, los gobiernos de los países han dedicado grandes cantidades de recursos a la modernización de su sector agrícola, incluyendo el desarrollo y la diseminación de variedades mejoradas. A pesar de este gran esfuerzo, la mayoría de las comunidades rurales agrícolas de los países en desarrollo siguen usando sus fuentes tradicionales o informales de semilla o de material de siembra vegetativo (Gaifani 1992; Hardon y de Boef 1993; Tripp 2001). Estas comunidades guardan su propia semilla o la obtienen de sus amigos, parientes, vecinos o del mercado local. En un sistema informal de semillas, éstas se pueden adquirir mediante una transacción monetaria, a través del trueque o del intercambio de semilla de una variedad por semilla de otra, como regalo, como préstamo a pagar con la cosecha o aún a través de la expropiación clandestina de la parcela de otro agricultor (Badstue et al. 2002). Incluso la semilla de variedades desarrolladas por el sector formal se mantiene y distribuye informalmente (Mellas 2000; Bellon y Risopoulos 2001), la mayoría de las veces independientemente de las instituciones gubernamentales.

En Nepal, entre 1999 y 2000 menos del 3% de la semilla de arroz se compró al sector formal de semilla certificada. En Burkina Faso, donde los sistemas informales de semillas son amplios y sólidos, el sector formal vendió menos del 5% de la semilla de sorgo (Kabore 2000) y en México menos del 25% de la de maíz (Ortega-Paczka et al. 2000) en 1999. En Marruecos, entre 1999 y 2000, sólo 13% de la semilla de trigo duro y 2.5% de la semilla de leguminosas de consumo humano era certificada, lo que quiere decir que la mayoría de la semilla sembrada provino de la diversidad cultivada localmente o de semilla guardada de compras anteriores

(Mellas 2000). Además, las variedades tradicionales o locales continúan siendo gran parte del material que circula en estos sistemas informales en muchas partes del mundo. Más del 50% del área de producción de maíz en México, más del 50% del área de producción arroceras de Nepal y más del 90% del área de producción de millo en Burkina Faso continúan siendo cultivadas con variedades tradicionales (Upadhaya 1996; Perales 1998; Zangre 1998).

Se han realizado varios estudios sobre el funcionamiento de los sistemas informales de semilla, especialmente en relación a su capacidad para cubrir las necesidades de los usuarios durante emergencias y desastres como inundaciones, sequías o guerras (Almekinders et al. 1994; Richards y Ruivenkamp 1997; Sperling 2001). Se han llevado al cabo otros estudios sobre instituciones sociales que están implicadas en redes informales de semilla, o a través de vías en las cuales se cubren las necesidades que tienen los agricultores de contar con variedades apropiadas (Weltzien y vom Brocke 2000). Gran parte de estos trabajos han concentrado su atención en la función que cumple el sistema de semillas más que en los materiales presentes en el sistema. McGuire (2001), por ejemplo, escribió sobre los procesos involucrados en el suministro de semillas, y Domínguez y Jones (2005) describieron los sistemas de semillas como una manera en la que los agricultores producen, seleccionan, guardan y adquieren sus semillas. Igualmente, Almekinders et al. (1994) hicieron referencia a los sistemas de semillas en términos del flujo de semilla y otros materiales de siembra a través del sistema de producción, y a los roles que desempeñan en este flujo los agricultores y las instituciones del sector formal e informal.

Los sistemas de semillas son evidentemente importantes para el mantenimiento en fincas de la diversidad genética de los cultivos. La cantidad y las proporciones de diferentes variedades y su disponibilidad, relaciones y movimientos dentro de un área muchas veces dependen de forma significativa del funcionamiento de los sistemas informales de semillas locales (Jarvis et al. 2005), que pueden ser bastante dinámicos y cambiar de un año a otro. Es probable que las características de los sistemas y las maneras en que evolucionan en el tiempo tengan un impacto importante en la diversidad genética presente en cada cultivo. Algunas de las características más importantes de los sistemas de semillas que se puede esperar afecten la diversidad genética incluyen la disponibilidad, el acceso y las fuentes de diferentes materiales, los métodos de mantenimiento y las prácticas de selección utilizadas; y la magnitud en la que éstas cambian a través del tiempo.

Los sistemas de semillas de cultivos específicos están sujetos a mucha variación en cuanto a la disponibilidad de materiales diferentes, lo cual es

el resultado de variaciones en la producción, los mercados, el clima y catástrofes como sequías y huracanes. Las unidades de mantenimiento también presentan mucha variación. En algunos casos hay determinados hogares encargados de mantener poblaciones separadas. En otros, se combinan y mezclan las poblaciones, y luego se separan en diferentes lotes de semilla para sembrar en nuevos sitios. Tanto la selección natural como la que hacen los agricultores tienen efectos importantes en la semilla que se produce para futuros cultivos y las perspectivas y prácticas de los agricultores pueden diferir en el manejo de sus provisiones de semilla y al introducir un nuevo material, lo cual depende del género, el nivel de vida y la edad. El área en la que se encuentra una variedad también varía sustancialmente, y mientras que algunas se mantienen localmente, otras pueden ser parte de sistemas de semilla amplios que se extienden en más de una región o país (Louette et al. 1997; Zimmerer 2003; Valdivia 2005).

En este capítulo se hace una revisión del trabajo del proyecto global para la conservación en fincas del IPGRI, hoy Bioversity International (Jarvis y Hodgkin 2000) y de otra información sobre el mismo tema de sistemas de semillas y diversidad genética. Se examina cómo operan los diferentes componentes de los sistemas de semillas (por ejemplo, la fuente de la semilla, el flujo de semillas, la producción de semilla, la selección por parte de los agricultores y el almacenamiento de semillas) en relación con las fuerzas evolutivas que determinan la estructura genética de las poblaciones de las variedades cultivadas en fincas. Se examinan las diferentes maneras en que los sistemas de semillas contribuyen al flujo, migración, selección, mutación y recombinación de genes. Finalmente discutimos cómo los sistemas de semillas contribuyen a mantener la diversidad de los cultivos y nos preguntamos cómo podrían apoyar mejor el mantenimiento de suficiente capacidad adaptativa en los cultivos a medida que se intensifican los sistemas agrícolas.

### Estructura de Poblaciones y Sistemas de Cruzamiento

Las variedades tradicionales son lotes de semilla mantenidos por agricultores individuales. El primer problema en cualquier análisis de los sistemas de semillas es, con frecuencia, el de la identidad, poder establecer que diferentes lotes de semilla efectivamente pertenecen a la misma variedad y determinar la relación entre el nombre de la variedad y la composición genética. Para lograrlo, hay que entender las maneras en las que los agricultores de un área usan los nombres y entienden la identidad (ver Capí-

tulo 3). En su trabajo con maíz en México, Louette et al. (1997) definieron un lote de semillas como una unidad física de granos asociada con el agricultor que lo siembra y la variedad o el cultivar como el conjunto de lotes de semillas de los agricultores que llevan el mismo nombre o comparten el mismo origen y características. Sadiki et al. (2005; Capítulo 3) demostraron que es posible identificar un conjunto de caracteres utilizados de manera consistente por los agricultores para identificar las variedades, y sugirieron que éstos proporcionan una base efectiva para el análisis del manejo, el mantenimiento y la evolución de las variedades.

El análisis de la diversidad genética en los sistemas de semillas requiere una descripción de la estructura de la metapoblación de las variedades locales de un cultivo y los procesos para la producción y el abastecimiento de semillas. Esto involucra el análisis de los tamaños y la conectividad de la red de subpoblaciones, parcial y variablemente aisladas, que constituyen la siembra de variedades en una región. Los vínculos entre los componentes de la red surgen desde el sistema de aprovisionamiento de semilla o del flujo de semilla a través del sistema. A medida que los lotes de semillas se van adaptando a las diferentes localidades y que los agricultores llevan a cabo su propia selección, los diferentes lotes de semilla tienden a diferenciarse. Esto será balanceado por el intercambio o la venta de semillas o por el aprovisionamiento de materiales de los mercados o de otras fuentes.

Uno de los principales factores determinantes de la estructura genética de las variedades tradicionales es el sistema de cruzamiento del cultivo (Brown 2000). Muchos cultivos como el arroz, el trigo y la cebada son principalmente autógamos, mientras que otros como el mijo y el maíz son alógamos. Y otros, como la papa, la yuca, el banano y muchas frutas, se propagan por medio de clones y la producción de semilla es rara o ausente. Es poco frecuente que un cultivo sea totalmente autógamo; aunque la polinización cruzada puede ser infrecuente en cultivos como el arroz, el sorgo o las habas pueden alcanzar niveles significativos de alogamia (por ejemplo, el 84% para las habas; Bond y Poulsen 1983).

El mantenimiento de las propiedades y características específicas de una variedad es posible en el caso de los cultivos autógamos o propagados por clones, mientras que el mantenimiento de variedades con determinados conjuntos complejos de características es más problemático en los cultivos de polinización cruzada. Es común que se produzca un flujo de genes entre parcelas adyacentes de diferentes variedades (Louette et al. 1997), lo cual implica que se debe hacer selección en cada generación para mantener las características reconocidas de la variedad. Yadav et al. (2003) documentaron que cada hogar de agricultores en Nepal cultivaba poblaciones muy

pequeñas de sólo una o dos plantas de calabaza esponjosa, un cultivo de polinización abierta, pero que a nivel de la comunidad se mantenían cinco tipos distintos. Al parecer, hubo suficiente flujo de genes entre hogares para limitar la depresión consanguínea, además de la selección por parte de los agricultores para mantener la población idéntica al tipo.

En la mayoría de los cultivos propagados por clones, la “semilla” es en realidad alguna otra parte de la planta (por ejemplo, el tubérculo en la papa y el ñame, el cormo en el taro, el chupón en el banano). Se esperaría que la variabilidad dentro de la variedad fuese muy limitada (consultar a Brush et al. 1995 y Zimmerer y Douches 1991 para información sobre variabilidad dentro de la variedad en papa). Karamura et al. (2005) sugirieron que esto tiene implicaciones para la sostenibilidad del sistema porque mientras que todo lo que rodea la planta —la textura del suelo, los nutrientes y la disponibilidad de agua— puede haber estado cambiando durante siglos, la composición genética del banano puede no haber cambiado tanto. Esto tiene mucha importancia cuando se dan cambios rápidos durante períodos cortos, como es el caso de la adopción de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes por parte de un agricultor.

## Los Sistemas de Semillas y la Acción de las Fuerzas Evolutivas

Las propiedades de los sistemas de semillas, tales como la fuente de la semilla, el flujo de semilla, la producción de semilla, la selección por parte de los agricultores y el almacenamiento de semilla, tienen un impacto importante en el grado y la distribución de la diversidad genética en los sistemas agrícolas tradicionales a través de sus efectos en las fuerzas evolutivas que mantienen o cambian la composición genética de las poblaciones de plantas. Estas fuerzas son el tamaño de la población y los cuellos de botella, y su efecto en la deriva genética; la migración, que incluye tanto el intercambio de semilla como el flujo de polen; la recombinación y la mutación, que crean nuevos genes o combinaciones de genes; y la selección resultante de las fuerzas ambientales o las actividades humanas.

### *Tamaño de las poblaciones, cuellos de botella y deriva genética: cantidad y tamaño de las poblaciones que son fuentes de semilla*

El tamaño de la población de una variedad o de un lote de semillas varía considerablemente dependiendo del cultivo y de las situaciones en que se encuentre. Como se señaló anteriormente, las poblaciones de calabaza es-

ponjosa de Nepal son muy pequeñas y en los hogares no es frecuente que se siembren más de 10 individuos (Yadav et al. 2003). Lo mismo sucede con muchos de los cultivos de los huertos familiares (Watson y Eyzaguirre 2002; Mar et al. 2005). Por el contrario, los agricultores siembran poblaciones de plantas de muchos miles de individuos de una sola variedad en cultivos como el arroz o la cebada.

De la misma manera que existen diferencias marcadas entre cultivos en relación con el tamaño de la población, también puede haber cambios sustanciales entre un año y otro para una misma variedad, y las decisiones que tomen los agricultores sobre el tamaño y la ubicación de sus parcelas afectarán significativamente el tamaño general de la población y su estructura. En Ban Mae Moot, una aldea de unas 100 familias en Tailandia, la cantidad de parcelas destinadas para algunas variedades cambió significativamente de un año a otro. En tanto que las dos variedades más populares permanecieron inalteradas en 2001 y 2002, una variedad que se había cultivado en sólo tres parcelas en un área en el año 2001 se convirtió en la tercera más popular en el 2002 y fue cultivada por 16 agricultores en las cinco áreas cultivadas de la aldea. En este caso, uno de los agricultores suministró la semilla adicional para expandir el área sembrada y los nuevos agricultores guardaron su propia semilla para los años siguientes (K. Rerkasem, comunicación personal, 2003).

También es común que se presenten disminuciones dramáticas en la cobertura (y tamaño de la población) de una variedad. Chaudhary et al. (2004) registraron una disminución en un mismo año en la cantidad de agricultores (de 16 a 3) que mantenían una variedad tradicional de arroz (en ese mismo año, la cantidad de variedades tradicionales mantenidas disminuyó de 22 a 15). De la misma manera que se presentan cambios en la cantidad de agricultores (o en la cantidad de subpoblaciones), también pueden presentarse cambios significativos en las áreas de producción tanto a nivel de aldea como de agricultor.

Las regulaciones gubernamentales también pueden controlar las decisiones de los agricultores sobre los tamaños de las poblaciones. En Hungría, las regulaciones con respecto a las semillas limitan el tamaño de población de variedades de maíz porque las variedades locales no se pueden sembrar en parcelas grandes y por tanto están limitadas a áreas pequeñas y a huertos familiares (Mar et al. 2005).

Las caídas drásticas seguidas de incrementos en la cantidad de agricultores que cultivan una variedad generan cuellos de botella generalmente asociados con la pérdida de diversidad genética. Esta situación puede ser el resultado de desastres como inundaciones o huracanes, en la que la dis-

ponibilidad local de semillas se ve severamente limitada, como es el caso del frijol en México. El mantenimiento a largo plazo de tamaños de poblaciones reducidos también es probable que resulte en una disminución de la diversidad genética. Cuando se consideran los efectos sobre la diversidad que tiene el tamaño de una población, es necesario tener en cuenta tanto el tamaño del lote de semillas (la población mantenida por un agricultor) como el tamaño de las poblaciones de la variedad (la suma de diferentes lotes de semillas), y considerar la cantidad de intercambio y mezclas que ocurren entre lotes de semillas en el tiempo.

Las formas en que se mezclan lotes de semillas para constituir una única población más numerosa de una variedad, también depende del sistema de reproducción del cultivo y de la ubicación física de las unidades de producción, dentro de un área determinada. Los campos de los agricultores pueden ser grandes o pequeños, cercanos o muy distantes. Esta estructura puede tener diferentes efectos en la diversidad genética de los cultivos, dependiendo también de la magnitud de la polinización cruzada. Qualset et al. (1997) sugirieron que un terreno pequeño aísla las poblaciones de variedades entre sí, reduciendo la generación de nuevo material genético por recombinación natural. Basados en la teoría biogeográfica (McArthur y Wilson 1967), Qualset et al. (1997) indicaron que sin manejo humano, la diversidad genética de cultivos en pequeñas áreas sufriría erosión genética y las poblaciones mostrarían reducción por endogamia. Ellos también sugirieron que la intervención humana puede cambiar estos procesos e introducir nuevas características genéticas en las poblaciones aisladas mediante el intercambio de semillas y la selección por parte del agricultor (ver también Louette et al. 1997).

El efecto de la erosión genética depende del tamaño de la población. Cuando el tamaño de la población es grande, frecuentemente se considera que la erosión genética en esa población tiene poca importancia (Gillespie 1998), como es el caso de la mayoría de los cultivos que crecen en los sistemas agrícolas. El grado de deriva genética en relación con la frecuencia de alelos y con la pérdida de alelos de la población se puede evaluar mediante el concepto de tamaño efectivo de la población. Este es un parámetro de estandarización abstracto, definido como el tamaño de una población ideal hipotética que produciría un aumento de la homocigosis (o pérdida de heterocigocidad o variación en la frecuencia de alelos) igual al que produciría la población objeto de estudio.

Los datos de efectos genéticos en poblaciones y subpoblaciones de los cultivos son muy escasos. Louette (2005) describió la inestabilidad genética de variedades locales y variedades exóticas de maíz mexicano debida al

tamaño reducido de las poblaciones. En Cuzalapa, el área de las parcelas es limitada y se siembran diversas variedades en la misma parcela. El tamaño de los lotes de semillas sembrados por variedad es pequeño, y más del 30% de los lotes de semillas sembrados durante las seis temporadas de siembra incluidas en la encuesta de Louette tenían menos de 40 mazorcas. En consecuencia, una proporción significativa de los lotes de semillas estudiados sufrieron una reducción en el tamaño de su población, causando fluctuaciones en su diversidad y posiblemente pérdida de alelos raros.

El cambio dramático en el tamaño de la población (y la naturaleza de la población inicial) seguido de períodos de baja producción se ilustra bien en las variedades de haba cultivadas en Marruecos. Una comparación de perfiles de variedades después de diferentes épocas de cultivo en Marruecos muestra que cada aldea siembra las mismas variedades. Sin embargo la frecuencia o volumen de cada variedad en el flujo de semillas (proporción de semilla de cada variedad presente en el total de semilla utilizada en una aldea) cambia de acuerdo con el tipo de época y la fuente del suministro de semilla. En los años buenos los agricultores conservan la semilla en las aldeas, mientras que después de un año malo la mayoría de los agricultores necesitan comprar semillas de sus variedades preferidas en los mercados locales. En años buenos, ellos mantienen más cantidad de diferentes lotes de semillas de mayor número de variedades que en los años malos. En los años buenos hay más poblaciones iniciales, que generalmente son pequeñas, mientras que en los años malos se utiliza una sola gran población de partida (del mercado). Adicionalmente, la frecuencia de las variedades cambia en términos del área sembrada (Recuadro 4.1).

Se pueden hacer otras dos observaciones generales acerca del efecto en la diversidad genética de un tamaño finito de población. Primero, la deriva genética y los cuellos de botella en el tamaño de las poblaciones tienen un impacto más inmediato en la riqueza de alelos que en la uniformidad. Se pierden primero las variantes raras. Hay poca información sobre cuán serio es esto a nivel genético en los sistemas de semillas de los cultivos, aunque es claro que las variedades raras son las primeras en desaparecer cuando el número de variedades se reduce en un período de tiempo corto (Chaudhary et al. 2004). La diversidad agromorfológica de *Phaseolus lunatus* L. mantenida en 30 huertos familiares de 3 áreas diferentes de Cuba parece permanecer alta (Castiñeiras et al. 2001a) a pesar de que se mantienen en pequeñas y aparentemente aisladas poblaciones. Segundo, el tamaño efectivo de la población probablemente tiene que ser muy pequeño si ha de ser la única causa de una erosión genética sustancial. Sin embargo, cuando se combina con la selección, los tamaños pequeños pueden ero-

**Recuadro 4.1.** Estadística para comparaciones de diversidad. Número efectivo de razas nativas en un área.

Supongamos que en una finca o aldea una encuesta revela que seis cultivares nativos y sus frecuencias  $\{p_i\}$  observadas son las siguientes:

$$\{0.5, 0.25, 0.1, 0.05, 0.05, 0.05\}$$

El concepto de número efectivo de entidades (por ejemplo, cultivares nativos, orígenes) en un área, es el número de entidades ( $n_e$ ) con frecuencia idéntica ( $1/n_e$ ) que darían la misma probabilidad de ancestro idéntico, como cuando se compara el origen de cualquiera de dos genes seleccionados al azar:

$$n_e = 1 / (\sum p_i^2).$$

Para este vector de frecuencias, el número real de cultivares nativos es seis; el número efectivo es 3.03 (Recuadro—Cuadro 4.1).

RECUADRO - CUADRO 4.1. Ejemplo: Composición de los cultivares nativos de habas a partir de la semilla propia de los agricultores en nueve aldeas de Ort-zagh, Marruecos.

Promedio	Buen año	Año Regular		Mal año
	9 aldeas	9 aldeas	7 aldeas *	9 aldeas
Proporción de semilla propia del agricultor	0.93	0.82	0.4	0.31
Número actual de cultivares nativos	5.1	5.0	4.6	3.6
Número efectivo de cultivares nativos	3.49	3.53	2.54	1.97 †

Fuentes: Arbaoui (2003); Ghaouti (2003).

\* Estos promedios excluyen 2 aldeas que sembraron solamente semilla comprada.

† En las dos aldeas donde no se sembraron cultivares nativos locales, el número efectivo se definió como cero.

Conclusión: En los años malos, los agricultores tienen menos semilla propia para sembrar con una riqueza menor de cultivares nativos y una menor igualdad de frecuencias

sionar seriamente la diversidad no seleccionada. Esta situación se puede presentar en variedades mantenidas en huertos familiares (Castiñeiras et al. 2001b; Yadav et al. 2003; Mar et al. 2005), los cuales servirían para investigar esta posibilidad.

### *Migración: Intercambio de Semillas y Polen*

La migración es la dispersión o movimiento de plantas individuales, material vegetativo de propagación, semillas, o polen entre poblaciones o subpoblaciones, que usualmente pero no necesariamente difieren en sus frecuencias génicas. Se pueden distinguir dos clases de migración de semillas: migración entre poblaciones de la misma variedad local, entre campos, agricultores o comunidades; y migración entre poblaciones de diferentes variedades como resultado de la mezcla deliberada o accidental.

La migración mediada por semillas parece ser una característica importante de los sistemas de semilla tradicionales, en lo que se refiere a dispersión o movimiento de semillas. El flujo de genes debido a la migración de polen probablemente también es importante, pero hay muy poca información respecto a su ocurrencia (ya sea entre poblaciones de la misma variedad o entre diferentes variedades) en los sistemas agrícolas tradicionales (pero vea Louette 2005). Sin embargo, actualmente se considera que este flujo de genes es de particular importancia debido al incremento de la dispersión de nuevas variedades que contienen transgenes (Gepts y Papa 2003).

Los sistemas de semillas tradicionales son dinámicos, con cambios frecuentes en la cantidad, la identidad y la distribución de variedades locales. En los mercados locales y en los programas de mejoramiento comerciales o nacionales constantemente hay disponibilidad de nuevas variedades y nuevos materiales, y esto complica aún más el análisis de las consecuencias genéticas de la migración en los sistemas de semillas tradicionales. En general, se considera que la migración es una poderosa fuerza homogeneizadora en cuanto a la extensión y la distribución de la diversidad genética, y puede ser que actúe como una vía importante para mantener la identidad de muchas variedades locales de cultivos.

#### ESCALA DE MIGRACIÓN

La mayor parte de la migración en los sistemas agrícolas tradicionales parece ser bastante local. Entre el 75% y el 100% de la semilla usada por los agricultores en el valle Aguaytia en Perú se intercambiaba dentro de la comunidad. Solo se intercambiaron semillas de frijol, yuca y maíz fuera de la comunidad; aun así el intercambio representó sólo una minoría de la semilla utilizada (25%, 15.2% y 13.5% respectivamente; Riesco 2002). En un estudio más detallado, Collado-Panduro et al. (2005) encontraron que el intercambio de semilla de maíz, yuca, maní, ají y algodón entre 13

comunidades a lo largo del río de la Amazonía central en Perú fue mucho menor que dentro de las comunidades. Esto parece reflejar las dificultades de acceso y comunicación entre las comunidades y el río que es la principal ruta de comunicación entre ellas.

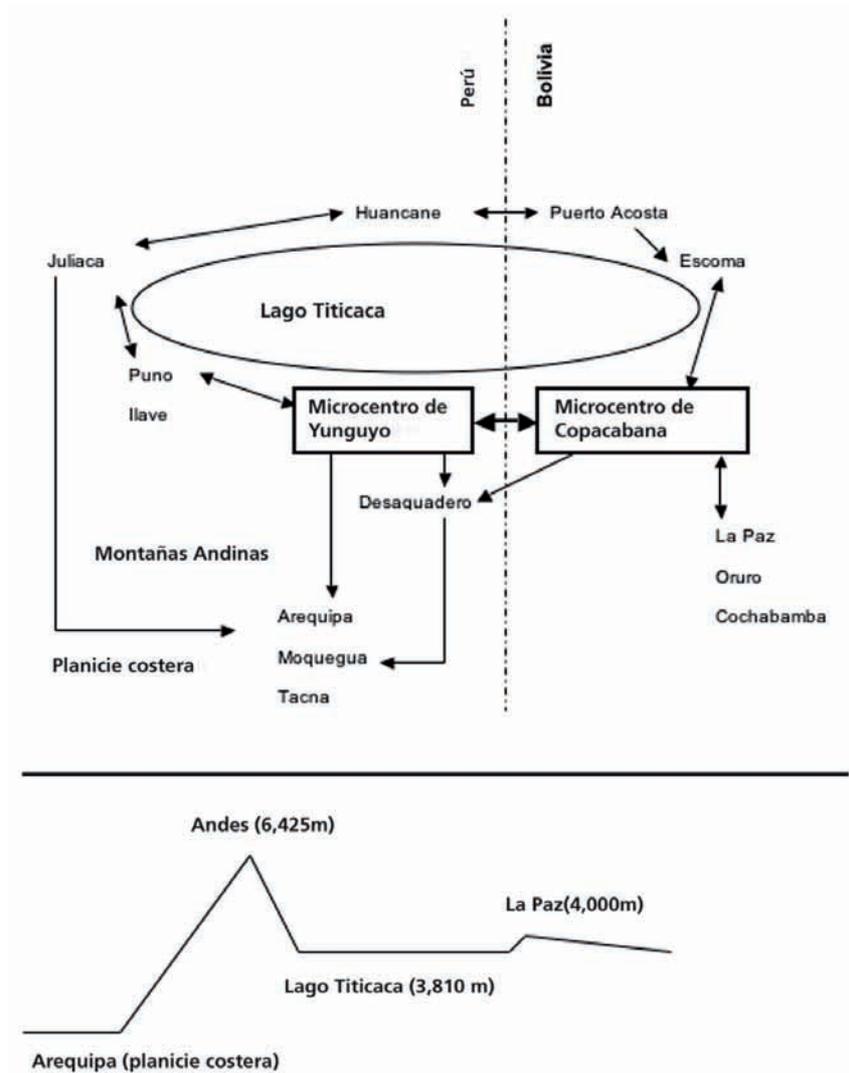


FIGURA 4.1. Patrón de distribución de la variedad Isleño de oca en Bolivia y Perú

Sin embargo, la escala de migración puede ser mucho mayor. En Perú frecuentemente se transfieren las variedades de papa entre diferentes altitudes dentro de un área, como práctica de manejo y producción de semillas (Zimmerer 1996). Mayores distancias pueden estar involucradas, como lo ilustra Valdivia (2005) para algunos cultivos andinos de raíces y tubérculos (Figura 4.1). En el mercado local se vendió la variedad *Isleño* de oca andina cultivada en los campos de Cochabamba (en Bolivia). De Cochabamba llegó a Oruro y La Paz. De La Paz (El Alto), migró a comunidades cercanas y a la frontera entre Bolivia y Perú. Desde allí entró a Perú y parte del material llegó a Yunguyo (que parece ser un microcentro de conservación), donde otra vez se vendió. Los destinos de esta variedad, como semilla, fueron comunidades como Apillani, Ollaraya y Unicachi, y también a ciudades más grandes como Llave, Puno y Juliaca, desde donde viajó a comunidades cercanas y fue usada como semilla y para consumo. Otros de sus destinos fueron ciudades costeras de Perú como Tacna, Moquegua y Arequipa, para consumo. Dependiendo de la producción y las condiciones climáticas, la ruta de migración de la semilla también puede ir a la inversa. Es así como semillas de Huancane (Perú) llegaron a Puerto Acosta (Bolivia) y desde allí a La Paz, para fluir desde la capital a otras partes de Bolivia. La distancia entre Cochabamba en Bolivia y Arequipa en Perú es de más de 800 km.

Otros ejemplos reconocidos de desplazamientos de variedades entre comunidades o regiones incluyen el abastecimiento de material de siembra de yuca en el Amazonas brasileño (Coomes 2001) o el desplazamiento de variedades específicas de cebada en Nepal. Sin embargo, en ninguno de estos casos el movimiento de materiales presenta los complejos patrones descritos para la oca.

#### REEMPLAZO DE SEMILLAS Y FUENTES DE SEMILLA

Aunque la mayoría de los agricultores prefieren guardar sus propias semillas tanto como sea posible, después de unos años pueden tener que reemplazarlas total o parcialmente con semillas de la misma variedad pero de diferente fuente. Esta fuente es generalmente un familiar, un vecino o el mercado local (comúnmente en este orden de preferencia). Así, luego de unos años, ocurre una dinámica y una mezcla de movimiento, mediante las cuales las progenies de poblaciones individuales se transfieren entre agricultores, se convierten en mezclas durante el intercambio o mercadeo, actúan como fuentes de nuevos intercambios o se pierden. La extensión en la que este tipo de movimiento ocurre varía entre cultivos, países y

comunidades, reflejando factores ambientales, problemas de producción, relaciones sociales y condiciones socioeconómicas.

Datos recientes de varios sistemas indican que hay estrategias conservadoras para el reemplazo de semillas. Por ejemplo, el Recuadro 4.1 resume los datos de dos cultivos en tres aldeas de Hungría. En el caso del frijol, 75% (Dévaványa), 83% (Örség) y 89% (Tiszahát) de los agricultores reemplazaron semillas menos de seis veces o no reemplazaron de sus variedades durante las dos últimas décadas. En el caso del maíz las cifras son un poco más altas: 92% en Dévaványa, 93% en Örség, 84% en Tiszahát. Sin embargo, este conservacionismo de corto plazo puede ser engañoso. Desde el punto de vista del tamaño efectivo de la población de toda la variedad, la pregunta es si se presenta flujo de semillas o de genes desde la reducida población local hacia las nuevas, reponiendo la reserva. Cuando la migración resulta en un reemplazo, el tamaño efectivo de las poblaciones fuente determina el tamaño de todo el sistema. Ese tamaño sería menor que si ocurriera algún intercambio entre viejas reservas y reservas nuevas (consultar a Maruyama y Kimura 1980 respecto al tratamiento teórico modelo).

**Cuadro 4.1.** Prácticas de los agricultores para reemplazar las semillas de variedades locales de frijol y maíz en Hungría.

	Dévaványa				Örség				Tiszahát			
	Frijol		Maíz		Frijol		Maíz		Frijol		Maíz	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
<i>Reemplazo</i>	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Sin reemplazo de semilla	26	31	10	21	56	56	24	37	57	58	41	50
Al menos 3 pero < de 6 veces	36	44	34	71	27	27	36	56	30	31	28	34
Más de 6 veces	1	1	0	0	2	2	1	2	4	4	5	6
Sin estrategia definida de reemplazo	20	24	4	8	15	15	3	5	7	7	8	10
Total	83	100	48	100	100	100	64	100	98	100	82	100

Fuente: Mar et al. (2005).

Los resultados obtenidos en Nepal mostraron que la mayoría de la diversidad de los cultivos locales de arroz, taro, millo africano y cebada se mantuvo a través de redes sociales mediante el intercambio informal de semillas dentro y entre comunidades (Baniya et al. 2003). Los flujos de semillas de millo africano fueron bajos en algunos años y cerca del 90% de los agricultores guardaron sus propias semillas. Sin embargo, 82% cambiaron semillas en intervalos de tiempo regulares, la mayoría en un promedio de tres años; las mujeres agricultoras se involucraron más frecuentemente en estos intercambios que los hombres. Algunas comunidades consideran que la obtención de semillas de variedades locales de otros agricultores es un signo de falta de destreza como agricultor, por lo que si es posible se evita.

La actitud y el enfoque de los agricultores en relación al reemplazo de semillas varían dependiendo de diversos factores. En Nepal, los agricultores están dispuestos a obtener semillas de variedades modernas de los mercados o incluso de fuentes formales. Pareciera que ellos creen que se debe cambiar la semilla frecuentemente para obtener rendimientos consistentes y que esta semilla es probablemente de mejor calidad que su propia semilla guardada de la misma variedad. Sin embargo, este no es el caso con la semilla de las variedades locales —generalmente no disponibles en los mercados locales— para las cuales el mantenimiento se combina con una cuidadosa selección.

La mayoría de los agricultores nepaleses, cuando reemplazan semillas, obtienen de otros las semillas deseadas inmediatamente después de la cosecha. En algunos casos, cuando las semillas no germinan o cuando ellos consideran que sus plántulas son inferiores para transplantar, solicitan plántulas prestadas como fuente de nuevo material. Esta es una forma de manejar la crisis y estos agricultores generalmente tienen pocas opciones en cuanto a la variedad obtenida, aunque traten de obtener material de un microambiente similar al de ellos.

En Yucatán, México, los agricultores por lo general siembran maíz, frijol y calabaza juntos (sistema de milpa). Una práctica predominante es que los agricultores guarden semilla de maíz y calabaza siempre que sea posible. Sin embargo, hay una dependencia significativa en las transacciones entre agricultores para obtener semilla de las variedades locales de frijol. Los agricultores reconocidos y regularmente buenos productores del cultivo de frijol pueden mantener un negocio floreciente a nivel local y regional, vendiendo semilla de frijol a otros agricultores que no aseguraron una reserva de semilla de sus propias plantaciones. Mientras que el frijol se transfiere de agricultor a agricultor principalmente en transacciones en dinero, cuando los lotes de semillas de maíz y calabaza se transfieren, es

generalmente como regalo o como trueque de un tipo de semilla por otro. Estos diferentes flujos de semilla pueden explicar por qué el frijol es usualmente el primer cultivo que los yucatecos excluyen del sistema de milpa cuando alteran su sistema como respuesta a condiciones agroecológicas y sociales cambiantes.

Como se ha mostrado con las habas en Marruecos y otros cultivos en México y Mozambique, el alcance de la migración puede cambiar sustancialmente de un año a otro, presentándose una migración significativa cuando la producción es baja o como resultado de grandes pérdidas de semilla por desastres como inundaciones y huracanes.

#### REDES DE ABASTECIMIENTO DE SEMILLAS

Lope (2004) ha mostrado que en Yucatán, México, las variedades pueden existir en la aldea pero que se requieren lazos sociales apropiados para acceder a ellas. En particular, los agricultores yucatecos tienden a confiar extremadamente en sus redes familiares y compadrazgos o relaciones de padrinazgo cuando buscan reservas de semillas para renovar o reemplazar sus materiales de siembra.

El análisis de la red de abastecimiento de semillas de arroz en Nepal (Subedi et al. 2003) reveló su complejidad y dependencia de una serie de variables sociales. En diferentes comunidades funcionan diferentes tipos de redes. En las tierras bajas de Bara, donde predominan las variedades modernas de arroz, se encontraron varias redes pequeñas independientes, mientras que en las colinas de Kaski (todavía dominada por las variedades locales) había pocas redes, pero eran más grandes. Probablemente la razón de esta diferencia son los contactos sociales más amplios de algunos individuos y la selección de variedades de diferentes agricultores así como de otras fuentes de semilla. En ambas áreas, Subedi et al. (2003) identificaron ciertos agricultores como nudos, debido a su participación en un gran número de intercambios. Los agricultores nudo se convierten en fuentes reconocidas de semilla para otros productores y además acumulan material de siembra de dentro y de fuera de la comunidad. Es interesante observar que estos agricultores se consultan muy poco entre ellos, a pesar de su importante papel en el flujo de semillas. Se ha sugerido que estos agricultores nudos podrían actuar también como guardianes clave de la diversidad de los cultivos en el sistema (Subedi et al. 2003).

Incluso en las redes más grandes, no todos los individuos están conectados entre ellos a nivel de la comunidad. En cambio hay subredes que están enlazadas entre ellas a través de ciertos individuos. Esto indica que

no necesariamente todos los miembros de la comunidad participan en el flujo informal de semillas o material de siembra. Habría un mayor flujo de materiales a través de un número de redes pequeñas mejor distribuidas espacialmente. En una gran red social, puede que no sea posible el contacto directo con todos los individuos, pero los contactos ocasionales de miembros de la red pueden servir para la diseminación de innovaciones y mensajes, pues los contactos ocasionales brindan la oportunidad de encontrar más información y nuevos materiales (Granovetter 1973).

En las tierras bajas y en las colinas de Nepal no se encontraron redes exclusivas de un sólo género. Los materiales genéticos fluyen a través de grupos mixtos de hombres y mujeres en ambas áreas de estudio. Esto contrasta con el flujo de información de las redes encontradas por Subedi y Garforth (1996) en algunas comunidades en las colinas occidentales de Nepal. En algunas comunidades se encontraron redes hombre-hombre, hombre-mujer (lideradas por el hombre), mujer-hombre (lideradas por la mujer) y mujer-mujer. Igualmente, las redes de suministro de semillas de arroz no están basadas en el estrato social, indicando que no hay barreras de género ni del estrato social para el flujo de materiales genéticos.

En contraste, en Yucatán, el flujo de semillas de maíz, frijol y calabaza tiende a estar fuertemente influenciado por el género, dependiendo de los sitios de producción del cultivo. Se considera que la milpa es el centro de la esfera de influencia del hombre y es el hombre quien maneja el flujo de semillas de los cultivos sembrados allí, particularmente del maíz. Sin embargo, cuando se siembran estos mismos cultivos en huertos familiares y en lotes de la aldea, las mujeres generalmente juegan un papel prominente en la selección, cuidado e intercambio de las semillas, pues se considera que estos lugares son el centro de influencia de las mujeres. Para un cultivo como el ají, generalmente cultivado en las milpas y en huertos familiares, el hombre y la mujer probablemente juegan roles igualmente importantes en el flujo de semillas, visto éste en el contexto de la comunidad o de la variedad.

En Hungría, el acceso a semillas locales y al conocimiento sobre las prácticas específicas de producción está limitado y se lleva a cabo a través de contactos personales. El Instituto Nacional para el Control de Calidad de la Agricultura controla la venta de semillas en mercados locales, de forma que el funcionamiento de un sistema informal de semillas no está legalizado y los mercados no son parte del sistema. Sin embargo, en los mercados se venden semillas de variedades tradicionales como grano para consumo y algunas de ellas pueden encontrar su camino de vuelta y ser usadas como material de siembra (Figura 4.2).

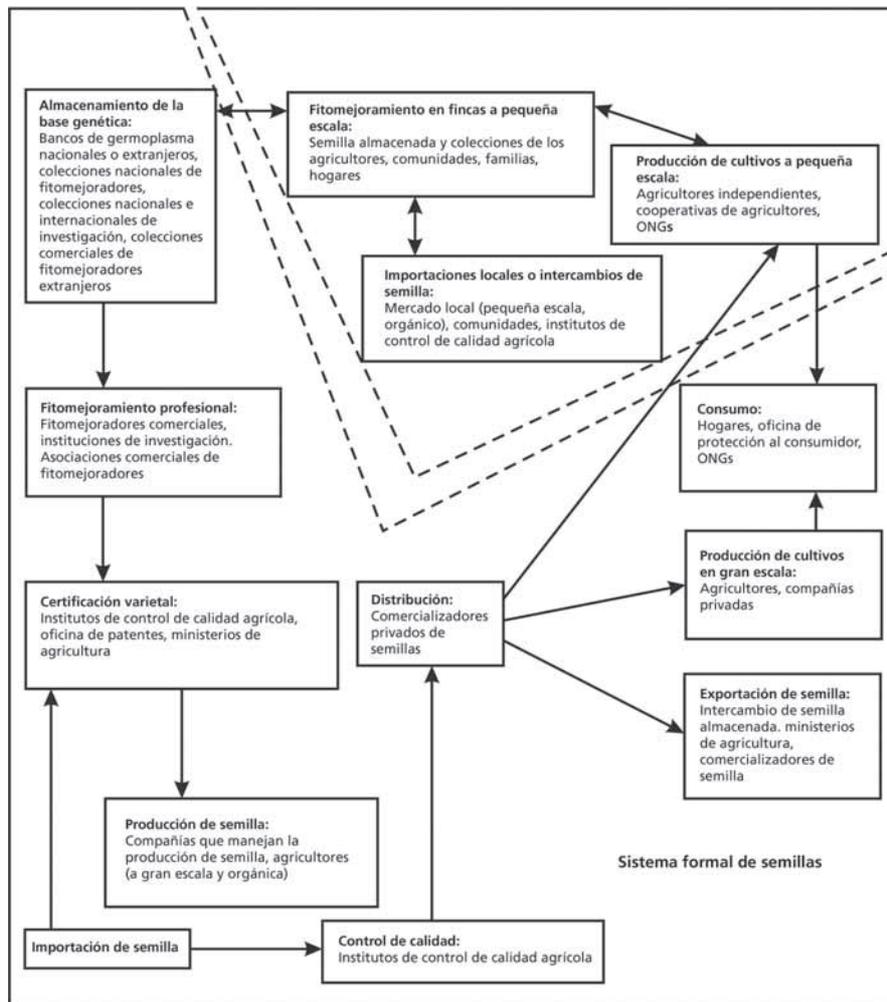


FIGURA 4.2. Flujo de semillas a través de los sectores informal y formal de Hungría. (Mar et al. 2005). ONG: Organización no gubernamental.

#### MIGRACIÓN Y SELECCIÓN

Los estudios de migración de subpoblaciones (divergentes) en sistemas modelo han mostrado que las tasas desiguales de migración reducen el tamaño efectivo de la población del sistema, particularmente cuando se reemplaza la semilla de una finca (Maruyama y Kimura 1980; Wang y

Caballero 1999; Whitlock 2003). Por tanto, los efectos de la migración en la diversidad dependen estrechamente de la interacción entre migración y selección, de la manera en que los agricultores manejan el ingreso continuo de diversidad y qué tan bien se adapta el nuevo material al ambiente local. Las variedades que migran pueden desplazar a las locales existentes (o determinadas poblaciones de las variedades locales), mezclarse con ellas, hibridizarse e intercambiar genes y, en última instancia, fusionarse dentro de una población. El efecto genético de la migración está estrechamente relacionado con las prácticas de manejo y selección utilizadas por los agricultores que están introduciendo o distribuyendo los nuevos materiales.

En Yaxcabá, Yucatán, la proporción de lotes de semillas de maíz mejorado sembrado por los agricultores mayas es casi igual a los de cultivares nativos de ciclo corto (*xmejennal*). Ambos materiales por lo general se siembran en campos y microambientes similares. Sin duda, la adopción del maíz mejorado en las dos décadas pasadas ha involucrado cierta cantidad de desplazamiento de poblaciones de *xmejennal*, pero la existencia de maíz mejorado se está volviendo “criolla” (*sensu* Bellon y Risopoulos 2001) en algunas características como el cierre de la mazorca, sugiriendo que a lo largo de la vida los agricultores han tolerado o fomentado un flujo sustancial de genes desde las razas nativas hacia las poblaciones de maíz mejorado. Considerando que el maíz es una planta de polinización abierta, es de esperarse que el flujo de genes ocurra también desde las existencias de maíz mejorado criollo hacia los materiales locales, y al inspeccionar varios lotes de *xmejennal* se observó que éstos contienen al menos algunas mazorcas con granos característicos del maíz mejorado. Louette et al. (1997) también mostraron que el flujo de genes ocurre en las variedades de maíz Cuzalapa. La selección del agricultor puede muy bien minimizar este efecto al seleccionar aquellas características importantes para la producción, pero se sigue presentando con los genes o rasgos que no están sujetos a la presión de selección.

También es importante tener en cuenta el cambio genético que puede ocurrir dentro de las variedades como resultado del uso y la selección de la semilla en las fincas, dependiendo del sistema de reproducción del cultivo. En el Valle de Cuzalapa en México, los agricultores constantemente intercambian pequeños lotes de semillas de maíz, en la región y en campos más alejados. Aunque son de pequeña magnitud, estos intercambios se han convertido en una parte integral del cultivo de maíz local, pues pueden proveer semilla para sembrar en cualquier época del año e introducen nueva diversidad en un cultivar nativo existente (Louette et al. 1997).

## *Recombinación*

La recombinación durante la reproducción sexual en plantas heterocigóticas resulta en la creación de combinaciones de genes nuevas. Estas pueden o no sobrevivir y formar parte de una población, dependiendo de la selección natural o de la del agricultor. La recombinación en especies de polinización abierta como el maíz y el millo africano provee una producción continua de nuevos genotipos en cada generación. En especies autopolinizadas, consistentes principalmente de plantas homocigóticas, la recombinación tiene un efecto mayor solamente cuando ocurre polinización cruzada ocasional. En el contexto del sistema de semillas y su papel al mantener la diversidad genética de los cultivos, la importancia de la recombinación está en las consecuencias de la polinización cruzada entre poblaciones que han emigrado y locales después de la migración de semilla de algún tipo o en las consecuencias del flujo de genes a través del polen.

El hecho de que los agricultores tradicionales con frecuencia detectan y se interesan por los nuevos tipos que aparecen en sus campos ha sido notado a menudo (Richards 1989). Estos nuevos tipos pueden ser simples contaminantes (o migrantes), pero también pueden ser la progenie resultante de algún tipo de cruzamiento y, por lo tanto, una consecuencia de la recombinación. Aunque la recombinación indudablemente es importante en el mantenimiento de la diversidad, su papel en o el efecto sobre el funcionamiento del sistema de semillas parece ser mínimo. Sin embargo, considerando la forma en la que operan los sistemas de semillas, sería interesante explorar más ampliamente las formas en que se integran los nuevos materiales al sistema de semillas de un cultivo y las diferentes formas en las que reemplazan, compiten, o se mezclan con los componentes existentes.

Con la introducción de cultivos genéticamente modificados, el flujo de polen puede volverse cada vez más significativo en términos de su efecto en las poblaciones y en las características de las variedades locales. Si esto ocurre podría alterar las prácticas de manejo de semillas y el funcionamiento de los sistemas de semillas, dependiendo de las prácticas de manejo y selección del agricultor. En la actualidad los genes que más preocupan son los que confieren tolerancia a herbicidas y resistencia a plagas. Se ha reportado (independientemente que no se ha confirmado) la presencia de ADN transgénico en variedades locales de maíz en Oaxaca, México (Quist y Chapela 2001).

## Mutación

Las tasas bajas de mutación en la mayoría de los cultivos parecen eliminar la mutación como un agente de cambio importante a corto plazo, excepto en las especies de propagación clonal. En los bananos, la mutación ciertamente lleva a la aparición de hijuelos que difieren de la planta madre. Todos los bananos domesticados, ya sean diploides o triploides, prácticamente no producen semillas y son clonalmente propagados. Se ha encontrado que las mutaciones somáticas son más comunes en los diferentes grupos de bananos, particularmente aquellos cultivados a gran escala, entre ellos el banano dulce, el banano de las tierras altas de África oriental (*Musa* del grupo AAA) y los plátanos (*Musa* AAB) (Pickersgill y Karamura 1999).

En África oriental, donde las diferencias son ligeras, los hijuelos pueden mantener el mismo nombre y ser considerados de la misma identidad que la planta madre. Sin embargo, donde se notan diferencias significativas, los agricultores pueden usar un nuevo nombre para los propágulos. Las diferencias de este tipo casi siempre están asociadas con el racimo y son significativas para los agricultores, comercializadores y consumidores. Por ejemplo, se dice que los plátanos de altura se convierten en bananos para fabricar cerveza, al volverse más amargos por su mayor contenido de taninos. Es posible que se le asignen nuevos nombres a los bananos cerveceros, pero algunas veces mantienen el nombre original. Esto ocurre porque el fenotipo del banano cervecero permanece igual al del plátano, aunque el cervecero ya no se puede consumir crudo o cocido por su alto contenido de taninos. Entonces encontramos nombres como *Nakabululu-enyamuunyo* (para cocinar) y *Nakabululu-embiire* (para cerveza) y *Nakabululu-embiire* también tiene su propio nombre: *Enshyenyuka*. Si el cambio es perceptible pero menor, como el cambio en la pigmentación del pseudotallo, de los pecíolos o de la nervadura central, los hijuelos pueden retener el nombre, con un nombre adicional para indicar el cambio. Por ejemplo *Nakitembe* (*Musa* AAA), un clon de África oriental, generalmente tiene pecíolos y nervadura central de color verde, pero hay una mutación con pecíolos y nervadura central de color rojo, llamada *Nakitembe omumyufu* (rojo) (Karamura y Karamura 2004).

Estas mutaciones parecen incrementar la variabilidad de los genotipos en un área y, dependiendo del éxito de cualquier tipo de mutante, alteran la distribución de la diversidad existente (Recuadro 4.2). En Uganda, *Siira*, un clon de plátano de las tierras altas que tiene un racimo mediano, tiene un mutante (*Atwalira*) con un racimo cilíndrico, compacto y pesado. El mutante se ha vuelto más comercial que su progenitor original y se ha ex-

tendido a áreas no ocupadas por este último (D. Karamura, comunicación personal, 2004). Aunque las mutaciones pueden jugar un papel en la generación de nuevas variaciones en una cantidad de especies propagadas por clones, no se ha investigado plenamente la magnitud con la que esto ocurre y cuántos tipos nuevos entran en el sistema de suministro de semillas. En el norte de Vietnam se usan diferentes órganos del taro para propagar diferentes variedades. Sería interesante investigar si los diferentes órganos y métodos de propagación están asociados a diferentes velocidades de mutación y si tienen algún efecto en la variabilidad encontrada en los materiales intercambiados de las diferentes variedades (Recuadro 4.2).

En algunos cultivos es posible que los agricultores hayan seleccionado inadvertidamente sistemas mutantes (como aquellos causados por la presencia de elementos (genes) transportables) porque ellos generan patrones diferenciadores de color de semilla, tallo y flores. Un caso puede ser el sistema Ac/Ds en maíz, en el que genes transportables inducen mutaciones con efectos fenotípicos. Clegg y Durbin (2000) sugirieron que los primeros domesticadores humanos de *Ipomoea purpurea* pueden haberse concentrado en la diversidad del color de la flor, que es una consecuencia de la rica variedad de elementos móviles presentes en el genoma de la campanilla. Estos patrones pueden actuar como identificadores de variedades o brindar propiedades nuevas e interesantes. Así, las mutaciones pueden actuar como una causa identificable, aunque menor, del cambio en las variedades y en las plantas propagadas por semillas, y en consecuencia podrían influenciar el mantenimiento e intercambio de variedades.

### Selección

#### SELECCIÓN DEL AGRICULTOR Y SELECCIÓN NATURAL

El paquete genético de las variedades locales probablemente depende de los efectos tanto de la selección natural como de la selección (consciente e inconsciente) realizada por el agricultor (Recuadro 4.3). Para muchos caracteres, la selección del agricultor puede reforzar la selección ambiental en el tiempo, especialmente la selección de tolerancia a ambientes con plagas, clima y suelos adversos. En Yucatán, por ejemplo, el tiempo promedio a la floración de la raza nativa más ampliamente sembrada, *xnuuknal*, coincide exactamente con el período de inicio promedio de la época lluviosa (cuando comienza la siembra) y el pico de la pluviosidad mensual promedio. Este último pico ocurre precisamente cuando las flores masculinas del maíz liberan polen, cuando las flores femeninas se vuelven receptivas

#### Recuadro 4.2 Flujo de semilla de banano en Uganda

En general, se reconocen dos vías de distribución de la semilla de banano: el sistema tradicional y el no tradicional –aunque a nivel de finca generalmente convergen las dos vías. En el sistema tradicional, mucho más antiguo y disperso, los agricultores deliberadamente seleccionan y recolectan semillas de amigos, vecinos o familiares cercanos y lejanos, y las siembran en sus propios huertos. La selección de las semillas se rige por criterios bien definidos en toda la región (Cuadro en el Recuadro 4.2).

Las vías tradicionales se caracterizan por una alta diversidad de cultivares en cada finca, pudiendo presentarse tanto como 30 cultivares diferentes en la misma parcela, en complejas mezclas. Una vez que se selecciona e introduce un cultivar, normalmente se siembra cerca de la casa principal o de la cocina, desde donde se pueda observar, durante varios ciclos, la planta de banano y sus hijuelos, el tamaño de los racimos, la calidad culinaria, la respuesta a plagas y enfermedades y otras características, antes de llevar las plantas a un sitio apropiado en el huerto, para producción y conservación. Otra característica del sistema es el escaso uso de insumos y su bajo rendimiento. Los hijuelos recolectados de los vecinos, familiares y amigos por lo general no se limpian y en consecuencia traen consigo muchas plagas y enfermedades presentes en el suelo. El sistema parece haber sobrevivido mediante el trueque, en el que los materiales de siembra se intercambian sin que haya dinero de por medio. Entonces, cualquier intento para mejorarlo debe tener en cuenta que los agricultores tradicionalmente no compran material de siembra de banano.

CUADRO EN EL RECUADRO 4.2. Porcentaje de agricultores que utilizan varios criterios para seleccionar el material de siembra.

Criterio	Tanzania		Uganda	
	Chanika	Ibwera	Masaka	Bushenyi
Tamaño del racimo	29	35	32	26
Sabor	22	18	17	16
Período de maduración	18	10	21	12
Resistencia a enfermedades	16	11	17	19
Vigor de la planta	2	6	1	0
Capacidad para producir chupones	2	8	0	2
Comercialización de los racimos	4	4	3	8
Tolerancia a la sequía	4	0	0	0
Dedos largos	3	1	2	4
Suavidad una vez cocidos	1	2	1	0
Adaptabilidad al suelo	1	1	1	2
Longevidad	1	1	1	5

Fuente: Karamura y Karamura (2004).

Cuadro en el Recuadro 4.2. Porcentaje de agricultores que utilizan varios criterios para seleccionar el material de siembra.

Método de propagación	Cultivar	Agroecosistema	Patrón de Distribución
Cormelo y rebrotes	<i>Khoai lui doc xanh</i>	Tierras bajas	Amplio
	<i>Chat chay hau</i>	Tierras bajas y altas	Amplio
	<i>Mac phuoc mong</i>	Tierras altas	Amplio
	<i>Hau danh pe</i>	Tierras altas	Amplio
	<i>Khoai mung tia</i>	Tierras altas	Amplio
	<i>Mon tia</i>	Tierras bajas, huerto familiar	Amplio
Rebrote joven	<i>Nuoc tia</i>	Tierra húmeda alrededor de aljibes	Amplio
	<i>Nuoc xanh</i>	Tierra húmeda alrededor de aljibes	Amplio
	<i>Khoai ngot</i>	Tierras bajas, huertos familiares	Amplio
	<i>Bac ha</i>	Huertos familiares, tierra húmeda	Limitado
	<i>Tam dao xanh</i>	Tierras altas, huertos familiares	Amplio
	<i>Hau xi</i>	Huertos familiares, tierra húmeda	Amplio
Estolón	<i>Man hua vai</i>	Tierras altas	Amplio
	<i>Hau giang</i>	Tierras altas	Amplio
	<i>Khoai doi</i>	Tierras bajas	Amplio
Cabeza de cormo	<i>Kao pua</i>	Tierras altas	Limitado
	<i>Hau Danh chun</i>	Tierras altas	Amplio
	<i>Mat qui</i>	Tierras altas	Amplio
Ojos de cormo	<i>Hau doang</i>	Tierras altas	Amplio
	<i>Phuoc oi</i>	Tierras altas	Amplio
Semillas y rebrotes	<i>Kay nha</i>	Huertos familiares y tierras altas	Amplio

**Recuadro 4.3** Diferencias étnicas, de estrato social, edad y género relacionadas con la selección y el almacenamiento de las variedades.

El algunas regiones de Burkina Faso, dependiendo de su edad y su rango social, las mujeres intervienen en igualdad de condiciones en la selección de las variedades de los cultivos para la aldea y las áreas vecinas. Las mujeres son las principales protagonistas del procesamiento de los granos hacia otros alimentos y productos forrajeros, llegando a procesar más del 95% de la cosecha. Las mujeres se encargan de casi todo el mercadeo de las variedades locales al menudeo, pero tanto hombres como mujeres se encargan del mercadeo al por mayor. Las mujeres, especialmente las del pueblo de Bixa de Médéga, juegan un papel muy importante en la selección de las variedades de sorgo, millo, maní y caupí que se van a sembrar.

En Burkina Faso se realizó un estudio de la edad de los agricultores y la selección de semillas entre mujeres (de 17 a 90 años de edad) y hombres (de 23 a 79 años). En todos los niveles sociales de la aldea, las mujeres con más de 50 años están involucradas en la producción y conservación de las semillas (Cuadro en el Recuadro 4.3). En Burkina Faso cualquier mujer que produzca y almacene semillas debe tener en cuenta algunos rituales. Por ejemplo, una mujer agricultora no puede haber participado en actividades sexuales el día anterior a la preparación y el almacenamiento de la semilla, y cualquier mujer en la familia que esté embarazada o menstruando, no debe tocar los recipientes con semilla, ni debe tocar frutos de tamarindo, leche, millo africano o harina de sorgo. Para asegurar el buen almacenamiento de las semillas, la selección se debe hacer durante períodos sin luna.

CUADRO EN EL RECUADRO 4.3. Burkina Faso: Los hombres y las mujeres manejan los sistemas de siembra de acuerdo con criterios para la toma de decisiones, intereses socioeconómicos y rituales.

Cultivo	Persona que Decide	
	Hombre	Mujer
Sorgo	+++	++
Millo	+++	++
Caupí	+++	++
Maní	+	+++
Frafra o papa Hausa	+++	o
Ocra	o	+++

+++ = poder de decisión alto (interviene siempre)  
 ++ = poder de decisión medio (interviene algunas veces)  
 + = poder de decisión bajo (rara vez interviene)  
 o = sin poder de decisión (nunca interviene)

*Recuadro 4.3, continúa en la página siguiente*

Recuadro 4.3, continuación

Estudios similares en Marruecos mostraron que al momento de seleccionar las semillas, las mujeres tenían tanto conocimiento como sus esposos o padres acerca de la diferencia entre cultivares nativos y variedades mejoradas.

Las espigas de sorgo y millo y las mazorcas de maíz se almacenan en graneros. Se utilizan plantas locales para proteger de plagas el grano almacenado, incluyendo *Cissus quadrangularis*, *Sansevieria senegambica*, *Hyptis spicigera* y *Cassia migricans*. La planta fresca se muele, se mezcla con agua y se asperja en el granero antes del almacenamiento. También se utilizan los residuos de las nueces de karité como protección contra las plagas. Los granos también se mezclan con ceniza y se almacenan en recipientes. Este proceso se lleva a cabo temprano en la mañana o al atardecer, sin luz natural. Las mujeres embarazadas o menstruando no participan en el proceso.

Fuente: Madibaye Djimadoum, Fédération National des Groupements Naam.

y cuando las mazorcas polinizadas empiezan a desarrollarse –en resumen, cuando la planta de maíz se encuentra en una etapa fisiológica en la que la demanda de agua es más crítica. Este también parece ser el caso de selección por adaptación a estreses específicos ya sean abióticos o bióticos.

Los estudios agromorfológicos han mostrado que las variedades locales de sorgo recolectadas en Mali en 1998 y 1999 maduraban entre 7 y 10 días antes que las recolectadas hace 20 años, ya sea como resultado de la selección natural o como resultado de la selección de los agricultores, favoreciendo los materiales con tiempos de maduración más cortos en un ambiente de disponibilidad de humedad cada vez más incierto (M. Grum, comunicación personal, 2001).

#### DESASTRES Y CATÁSTROFES

Eventos ambientales extremos pueden provocar presiones de selección inusualmente intensas en el acervo de genes de los cultivos. En 2002, el estado central de Yucatán, México fue devastado por un huracán que arrasó el cultivo de maíz (que representa cerca del 80% del maíz de subsistencia cosechado en Yucatán) en el pico de su período de maduración de los cultivares nativos de ciclo largo. Aunque las pérdidas de la cosecha fueron grandes, cerca del 75% de los agricultores maiceros pudieron salvar al menos pequeñas cantidades de sus variedades *xnuuk-nal*. Al hacerlo, tendie-

ron a salvar, de las plantas de cada población, las que estaban ligeramente más avanzadas en su maduración fisiológica cuando el huracán golpeó y entonces pudieron completar su desarrollo hasta llegar a semilla viable. En efecto, el huracán actuó como una fuerza de selección, adelantando el tiempo promedio de maduración de muchas poblaciones de maíz en Yucatán (la fecha de siembra también influyó en la intensidad de selección en todas la poblaciones).

El huracán también reconfiguró poblaciones de los cultivos locales, especialmente de frijol común (*Phaseolus vulgaris* var. *xkolibu'ul*) y haba (*Phaseolus lunatus*). Antes de 2002, los sondeos anuales en la comunidad de Yaxcabá revelaban que entre 66 y 70% de los agricultores sembraban frijol común y entre 45 y 65% sembraban habas. En 2002, se perdieron completamente más del 90% de los lotes de semilla de frijol común y más de 83% de los de semilla de haba de los agricultores, debido a daños relacionados con el huracán. La mayoría de los lotes de semilla remanentes quedaron reducidos a una fracción de su tamaño normal (un puñado de semillas en lugar de varios kilogramos). En 2003, la proporción de agricultores resembrando con reservas de frijol común y haba fue solamente del 20% para cada caso; la mayoría de estos agricultores obtuvo su semilla fuera de la finca, especialmente por intercambio o comprándola a agricultores de otras comunidades. El efecto neto fue una gran reducción en la cantidad de poblaciones locales de frijol y la desaparición de muchas subpoblaciones locales, que fueron reemplazadas por nuevos materiales de fuentes alternativas. Estos nuevos materiales fueron a su vez sometidos a las fuerzas locales de selección y presumiblemente sufrieron algunos cambios en sus propias características.

Durante los períodos de emergencia (sequías e inundaciones), los agricultores viajan a otras aldeas con condiciones ambientales similares para intercambiar o comprar semillas. El mercado local es una fuente importante de semillas, especialmente durante las emergencias, pero los agricultores más pobres por lo general no tienen los recursos para comprar semilla. No todas las aldeas tienen mercados y los agricultores de áreas remotas, alejadas de los mercados, por lo que para la semilla se encuentran en una situación más vulnerable e insegura.

Los grandes eventos ambientales, como los huracanes y las inundaciones, pueden causar cambios dramáticos en los materiales de siembra y la inseguridad crónica de semillas puede producir cambios continuos en los materiales usados por los agricultores. Sadiki et al. (2005) encontró que los agricultores marroquíes tienden a depender de su propia semilla de haba en los años buenos y en los malos obtienen la semilla en los mercados

locales. En estas circunstancias, el desarrollo de diferentes poblaciones locales (cuya constitución genética refleja selección local y deriva) mantenidas por cada agricultor, se alterna con reemplazos de fuentes voluminosas obtenidas de mercados cercanos o de otras partes.

#### PRÁCTICAS DE SELECCIÓN DE SEMILLAS

Cuando se seleccionan variedades con base en sus caracteres agromorfológicos, las prácticas de los agricultores influyen en el mantenimiento de la diversidad genética en las fincas. Las prácticas de selección de semilla, que a la larga afectan la estructura genética de las variedades, incluyen la selección de parcelas o porciones del campo antes de la cosecha, y la selección de plantas o partes de las plantas (entre y dentro de los frutos o las inflorescencias) en la cosecha (Wright et al. 1994).

En el maíz se ha identificado toda una serie de prácticas de selección que seguramente son importantes en cuanto a sus efectos en el mantenimiento de la identidad de las variedades y de la diversidad genética dentro de las variedades, aunque los efectos genéticos precisos no son claros. Louette y Smale (2000) encontraron que las prácticas tradicionales de selección de semillas de los agricultores mexicanos conservaban la integridad de las características de la mazorca que definían sus variedades, incluso en presencia de un flujo de genes significativo causado por la polinización cruzada entre variedades.

El momento y secuencia de la selección de semillas puede variar de un agricultor a otro dentro de una misma comunidad. En Yaxcabá, Yucatán, como en todo México, en cada ciclo de cultivo la mayoría de los agricultores seleccionan la semilla de maíz de su cultivar nativo, basándose principalmente en las características de la mazorca y los granos, incluyendo tamaño de la mazorca, sanidad de la mazorca, uniformidad del color del grano y tamaño del grano. En Yucatán, el proceso de selección no se hace todo al mismo tiempo, sino que se desarrolla en varios pasos, empezando con la cosecha de maíz en enero y terminando con el final de la siembra en mayo. En el paso inicial de la selección, cuando los agricultores escogen las mazorcas de mejor calidad, la mayoría almacenan las mazorcas con las hojas (brácteas) y evalúan el potencial de la semilla almacenada con base en las características de la mazorca, como tamaño, peso y cobertura de mazorca. De este grupo de mazorcas sin deshojar, algunos agricultores inmediatamente seleccionan las mazorcas para semilla, las guardan aparte y las restantes las destinan para su eventual consumo. Sin embargo, otros agricultores simplemente almacenan juntas todas sus mazorcas de alta ca-

lidad, sacando de este grupo para consumo cuando se necesita y después seleccionan sus mazorcas para semilla poco antes de la época de siembra. Las características de los granos juegan su papel cuando se deshojan y desgranar las mazorcas, lo cual usualmente hace el agricultor uno o dos días antes de iniciar la siembra. Sin embargo, algunos agricultores prefieren deshojar su maíz antes de almacenarlo, lo que podría hacer que tengan en cuenta las características del grano en una etapa más temprana del proceso de selección.

En algunos casos, los efectos de las prácticas de los agricultores son mucho menos claros y siguen siendo temas de especulación. En toda Mesoamérica generalmente no se usan como semilla los granos de los extremos distal y basal de la mazorca de maíz (Johannessen et al. 1970). Aunque las diferentes secciones de la mazorca de maíz no se diferencian en su estructura genética, parece que sí hay competencia de polen y selección, que conduce a diferencias en la estructura genética de las semillas tomadas de diferentes secciones de la mazorca (Mulcahy et al. 1996).

En Nepal, los agricultores productores de arroz pueden seleccionar panículas o semillas (Recuadro 4.3; Rana 2004). El momento de la selección puede depender de la apariencia de los órganos reproductivos o de las características vegetativas, si se considera que éstas últimas son importantes. Puede haber también prácticas rituales asociadas a la selección de semillas o a la preparación de la semilla antes de la siembra (Rana 2004).

La cantidad de semilla necesaria también es importante. En Nepal, cuando se necesita gran cantidad de semilla de las variedades cultivadas en áreas extensas, los agricultores seleccionan las parcelas buenas, retiran las plantas atípicas y luego cosechan toda la parcela para obtener semilla (selección negativa). Sin embargo, para las variedades cultivadas en áreas pequeñas, es más común la selección de las mejores panículas (selección positiva) (Figura 4.3). Rana (2004) encontró que los agricultores tienen especial cuidado cuando seleccionan la semilla de las variedades cultivadas en pequeñas áreas con fines culturales y religiosos, pues no está permitido ofrecerle mezclas “impuras” a Dios.

Aunque la selección de semilla es importante en muchos tipos de producción, no significa que sea universal. La selección de semilla de arroz en campos marginales y campos comunitarios en Nepal no es común a no ser que el agricultor no tenga otra fuente de semillas. La selección de semilla tampoco se hace anual o regularmente. En algunas circunstancias, los agricultores seleccionan las semillas sólo cuando la población está muy infestada de plantas fuera de tipo o cuando hay problemas de enfermedades y plagas, esterilidad y volcamiento (Rana 2004).

Cuadro 4.3. Mantenimiento de la calidad de la semilla en diferentes operaciones por parte de los agricultores de Kaski, Nepal en el año 2000.

Actividad	Cosecha		Limpieza		Secado		Almacenamiento		Siembra	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Siembra en la misma parcela	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4
Cosecha al mismo tiempo	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
No cosecha los martes	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—
Guarda el cormelo separandolo para semilla o desecha las plantas fuera de tipo	5	8	3	4	1	2	10	17	1	2
Siembra juntas diferentes variedades	1	1	—	—	1	2	1	2	1	2
Desecha otras variedades de la parcela (depuración)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Limpia los cormos y cormelos	—	—	55	90	1	2	—	—	—	—
Seca la semilla durante 2 a 4 días	—	—	—	—	37	68	—	—	—	—
Las guarda en un lugar seco o en el <i>Kholi</i>	—	—	—	—	11	20	8	14	—	—
Elimina las semillas contaminadas y siembra después de una buena preparación del suelo	—	—	1	2	—	—	1	2	6	11
Selecciona los mejores tipos del montón	1	1	—	—	—	—	1	2	—	—
Guarda un corte durante la cosecha	55	82	1	2	—	—	—	—	—	—
Almacena en la canasta grande ( <i>Doko</i> <sup>†</sup> )	—	—	—	—	—	—	19	33	—	—

El Cuadro 4.1 continúa en la página siguiente

Cuadro 4.1 continuación

Actividad	Cosecha		Limpieza		Secado		Almacenamiento		Siembra	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
No requiere más secado	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—
Siembra detrás del arado	—	—	—	—	—	—	—	—	34	65
No requiere mucha limpieza	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Siembra en el hoyo sin romper el brote	—	—	1	2	1	2	1	2	4	8
Siembra semilla sana	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2
Almacena en <i>Mach</i> <sup>†</sup> o <i>Khol</i> <sup>†</sup>	—	—	—	—	—	—	13	23	—	—
Almacena juntos	—	—	—	—	—	—	1	2	1	2
El área de cultivo depende de las necesidades	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mantiene separados en el hoyo	—	—	—	—	—	—	2	3	—	—
Siembra separadamente	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4
La semilla de tubérculos no se seca directamente al sol	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—
Total	67	100	61	100	54	100	57	100	52	100

\* El número indica el porcentaje de la columna.

<sup>†</sup>*Doko*: canasta grande hecha de bambú que se utiliza para transportar materiales voluminosos como pastos y forrajes; *Khol*: estructura especial hecha de pequeños trozos de madera; *Mach* (*Machan*): soporte temporal elevado del suelo, hecho con materiales localmente disponibles.

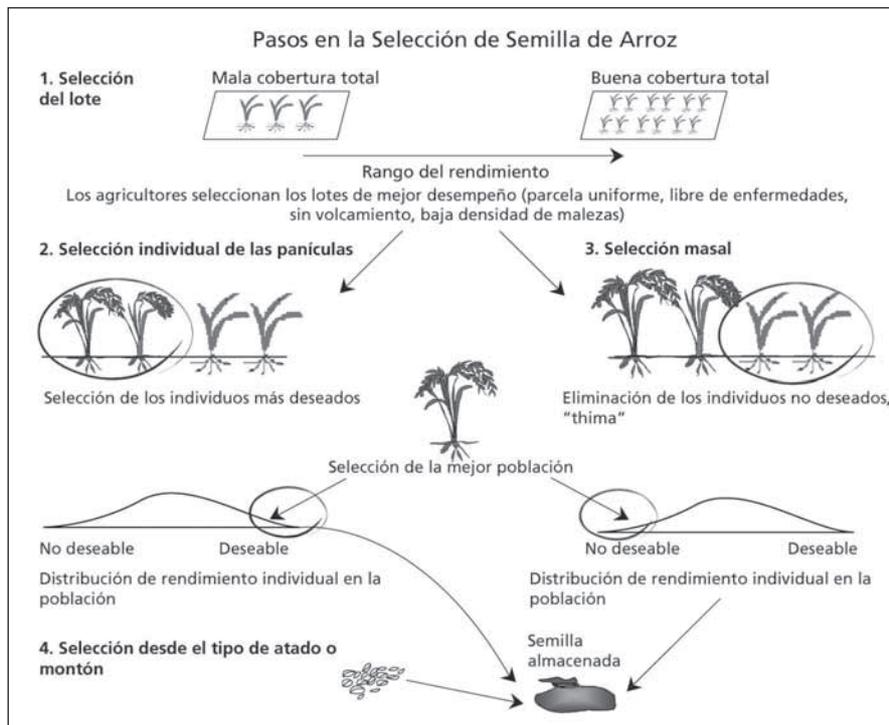


FIGURA 4.3. Procedimientos para seleccionar semilla de arroz practicados por los agricultores en los sitios estudiados (Rana 2004).

En Burkina Faso, los agricultores productores de millo africano cosechan la semilla del centro de la parcela para mantener la "pureza". Ellos cosechan las espigas de millo y las panojas de sorgo de un rango de tipos de plantas progenitoras, teniendo en cuenta la uniformidad del color del grano y la dehiscencia de las panojas. Esta práctica parece favorecer la calidad y el vigor de las semillas. Cuando los agricultores siguieron esta práctica durante cinco años (1997–2002) entre 20% y 48% de los hogares obtuvieron mejor calidad de semilla. En general, se encontró que se usaban algunas prácticas de selección de semillas en la cosecha, la trilla y el secado, y también antes del almacenamiento y la siembra (Balma et al. 2005).

En cambio, los agricultores del norte de Marruecos normalmente no almacenan las semillas de haba separadas de los materiales de siembra y hacen la selección al momento de la siembra. Por lo tanto, al parecer los

agricultores no hacen esfuerzos adicionales para mantener el potencial de germinación de la semilla durante el almacenamiento.

#### ALMACENAMIENTO Y SELECCIÓN DE SEMILLAS EN LAS FINCAS

Los efectos de la selección generalmente continúan después de la cosecha. Los elementos y métodos de almacenamiento de la semilla determinan la vulnerabilidad de la semilla a insectos y enfermedades, y al deterioro fisiológico, afectando la calidad y cantidad de semilla disponible para la siguiente siembra (Gepts 1990). Además de asegurar semilla limpia y viable, las condiciones en las que se almacene pueden actuar como una fuerza de selección en el lote de semillas. Las semillas mejor adaptadas a las condiciones de almacenamiento tendrán más posibilidades de sobrevivir hasta la próxima temporada de siembra que las menos adaptadas; esta selección tiene un efecto potencial en la diversidad genética futura de la población del cultivo.

A veces la semilla para la siguiente siembra no se almacena de manera diferente a como se almacena para el consumo. En Yucatán, el almacenamiento de semilla de maíz en condiciones diferentes a las usadas para el maíz de consumo ocurre principalmente en años adversos, cuando los agricultores solamente tienen una cantidad limitada de semilla en mazorcas de alta calidad provenientes de su propia cosecha. En estos años, los agricultores cuidadosamente seleccionan y separan las mazorcas para semilla y las almacenan en condiciones especiales, como en las vigas de la cocina donde puedan recibir el humo del fuego de la cocción en el hogar (Yupit-Moo 2002).

A diferencia de las habas en Marruecos, la importancia de encontrar un lugar seguro o un recipiente adecuado para el almacenamiento de semillas es crucial para los agricultores, para minimizar el daño a sus granos durante el manejo poscosecha. En Perú, a los agricultores encuestados se les preguntó que estimaran el porcentaje de semilla perdida durante almacenamiento en los últimos cinco años (Collado-Panduro et al. 2005). El porcentaje más alto reportado fue en maíz: el 29.2%, 38%, y 17.6% de los hogares Shipibo, Ashaninka y *mestizo*, respectivamente, los que tuvieron pérdidas de entre 75 y 100% de su semilla (el porcentaje más alto en al menos uno de los últimos 5 años). Las causas incluyeron gorgojos (*Sitophilus spp.*) y polillas (*Sitotroga cerealella*), que afectaron principalmente los cultivares nativos de granos semiduros (algunos híbridos entre amarillo Cubano y las razas Piricinco) y algunos de grano blando harinoso (como las razas Piricinco). Menos daño sufrieron los cultivares nativos de

grano duro. El frijol también presentó pérdidas significativas. Por ejemplo, el 41.2%, 19.9%, y 16% de los hogares Ashaninka, Shipibo y *mestizo*, respectivamente, estimaron una pérdida de más de 75% de la semilla almacenada (el porcentaje más alto en al menos uno de los últimos 5 años). Las mismas plagas afectaron levemente la semilla de maní (3% de los hogares). Cada comunidad enfrentó pérdidas significativas durante el almacenamiento de semillas. En consecuencia, el almacenamiento de semillas es un punto frágil en el sistema de manejo poscosecha y en el suministro de semillas a la comunidad.

En Yucatán, los métodos tradicionales de almacenamiento de semillas de maíz y frijol parecen ser más efectivos que en Perú. Los agricultores de Yaxcabá indicaron que las pérdidas poscosecha normalmente eran bajas y Yupit-Moo (2002) reportó que algunos coleópteros habían dañado menos del 20% de las mazorcas de maíz de los cultivares nativos después de más de un año de almacenamiento dentro de las hojas (brácteas) en los graneros tradicionales. Esto puede reflejar que, en general, el ambiente es apropiado, con una larga estación seca en la región, y que ha habido una adaptación morfológica de los cultivares nativos al almacenamiento, incluyendo la hermeticidad que proporciona una cubierta (brácteas) de la mazorca larga y ajustada. Los agricultores de Yucatán expresaron una queja común en relación con las variedades modernas y es su susceptibilidad a plagas de insectos en condiciones de almacenamiento tradicional.

La selección continúa después de la siembra como resultado de técnicas específicas de cultivo. Algunos ejemplos incluyen el sembrar muchas semillas en un mismo lugar y ralea después de la germinación, así como eliminar las plantas masculinas florecidas no deseadas. Sin embargo, se encontraron muy pocos estudios de los efectos genéticos de estas prácticas. Tanto la selección natural como la selección hecha por los agricultores en poblaciones individuales de variedades locales al parecer aumentan las diferencias entre las poblaciones y sus lotes de semillas. Luego de un tiempo, debido a que cada agricultor utiliza prácticas ligeramente diferentes y siembra el material en campos diferentes, los lotes de semilla del agricultor tienden a diferenciarse en muchas características deseables, aunque puede que éste no sea el caso para las propiedades clave que caracterizan una variedad. Cuando hay un criterio común o compartido acerca de ciertas características específicas deseadas en una variedad (como precocidad, sabor, color de la semilla), la selección del agricultor hace que se mantengan en todas las poblaciones.

Los efectos de la migración causados por el intercambio de materiales o la compra ocasional de semilla en los mercados contrarrestan la tendencia

de las poblaciones locales a divergir como resultado de la selección. Estos materiales son otra vez objeto de selección, creando nuevas poblaciones locales con mejor adaptación a las fincas y a los agricultores de cada región.

## Conclusiones

Los agricultores necesitan disponibilidad de semillas sanas y viables, de la variedad que ellos prefieren, en el momento apropiado (Weltzien y vom Brocke 2000). Los agricultores buscan semillas auténticas del tipo y de fuentes confiables. Sin embargo, es importante recordar que los criterios de autenticidad de los agricultores pueden diferir sustancialmente de aquellos de los mejoradores, porque los agricultores puede que no enfatizan la uniformidad agromorfológica sino otras características que cubran sus necesidades económicas, ambientales o culturales.

En la medida en que los sistemas agrícolas cambian debido a su intensificación, a los cambios ambientales o a eventos fortuitos, las necesidades de semilla de los agricultores también cambian. Un primer desafío será asegurar que —en el contexto de estas condiciones cambiantes— el flujo de semillas y los sistemas de producción de semillas continúen suministrando materiales provenientes de poblaciones lo suficientemente grandes para que la capacidad de adaptación del sistema continúe, al tiempo que cumpla con las preferencias de los agricultores. Un segundo desafío será mantener prácticas de selección que garanticen la calidad, la adecuación y la diversidad del material con base en las preferencias de los agricultores. Lo que queda claro es la doble importancia de mantener altos niveles de diversidad fenotípica y genética dentro de los sistemas de semillas, al tiempo que se mantienen variedades particulares que satisfagan las necesidades tanto del presente como del futuro.

Aunque claramente existen muchas variaciones diferentes y complejas en las prácticas asociadas con la cosecha, el manejo, el intercambio y el uso de semillas de diferentes cultivos, la significación genética de estas prácticas en términos de identidad y de diversidad genética de los patrones encontrados en las variedades locales es mucho menos clara. Dada la dinámica de estos sistemas, en los que la diferenciación entre poblaciones y el intercambio son característicos, es tentador hablar de las variedades como metapoblaciones (Zimmerer 2003). Sin embargo, falta información clara para demostrarlo y ciertamente hacen falta estudios adicionales que analicen apropiadamente los patrones de diversidad en estos sistemas agrí-

colas tradicionales. Estos estudios deben incluir análisis que nos ayuden a entender el papel de los mercados como centros para mezclar poblaciones de una variedad y las formas en que el intercambio generalmente ayuda a la migración de genes nuevos o diferentes. También necesitamos entender mejor hasta qué punto la selección causa cambios significativos en las diferentes poblaciones de una variedad.

Una forma es apelar a los modelos teóricos de genética de poblaciones más reales y disponibles (como por ejemplo los modelos “isla-continente”, “piedra rodante”, “aislamiento-por-distancia,” “metapoblación”) y comparar los datos con los parámetros clave de esos modelos (por ejemplo, la velocidad de migración, el tamaño de las poblaciones locales, las probabilidades de extinciones a nivel local). Una segunda aproximación es diseñar un modelo computarizado del sistema que haga seguimiento a la composición varietal del cultivo más importante de la comunidad y simule su comportamiento en el tiempo, introduciendo fluctuaciones (como las sugeridas por la variabilidad observada en el proceso) y grandes trastornos periódicos. Los procesos incluyen las fracciones de semillas de diversas variedades de diferentes fuentes (semilla almacenada por los agricultores, vecinos, mercados locales, sector formal), con diferentes usos (consumo, almacenadas, intercambiadas, vendidas). Este tipo de modelo ha sido útil al estimar las probabilidades de supervivencia de poblaciones de plantas silvestres amenazadas (Young et al. 2000). De esta forma, nos podremos enfocar en valorar las tendencias actuales y la resistencia del sistema de semillas, y en determinar los parámetros críticos para la supervivencia de la diversidad. Es posible que las redes existentes de subpoblaciones parcialmente aisladas, manejadas por los agricultores, sean óptimas en el sistema actual, pero que no lo sean para una agricultura más intensiva. Estos resultados nos pueden advertir cuándo se necesitan intervenciones para hacer que un sistema de semillas retenga su capacidad de adaptación.

## Agradecimientos

Este trabajo es el resultado del proyecto global “Fortalecimiento de las Bases Científicas para la Conservación *In Situ* de la Agrobiodiversidad en Fincas”, que recibe el apoyo del IPGRI. Los autores agradecen los gobiernos de Suiza (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación), Holanda (Dirección General para la Cooperación Internacional), Alemania (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit/Agencia Alemana para la Cooperación Técnica), Canadá (Centro Internacional de Investi-

gación para el Desarrollo), Japón (Agencia Internacional Japonesa para la Cooperación), España y Perú por su apoyo económico.

## Referencias

- Almekinders, C. J. M., N. P. Louwaars y G. H. de Bruijn. 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica* 78:207–216.
- Arbaoui, L. 2003. *Analyse des facteurs évolutifs de la diversité génétique de la fève (Vicia faba L.) in situ et leurs impacts sur son maintien et sa gestion à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc*. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Marruecos: IAV Hassan II.
- Badstue, L. B., M. Bellon, X. Juárez, I. Manuel y A. M. Solano. 2002. *Social Relations and Seed Transactions Among Small Scale Maize Farmers in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico: Preliminary Findings*. CIMMYT Economics Working Paper 02–02. Ciudad de México: CIMMYT.
- Balma, D., T. J. Ouedraogo y M. Sawadogo. 2005. On-farm seed systems and crop genetic diversity. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 48–53. Memorias del Taller, Septiembre 16–20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Baniya, B. K., A. Subedi, R. B. Rana, R. K. Tiwari y P. Chaudhary. 2003. Finger millet seed supply system in Kaski district of Nepal. En *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 171–175. Memorias del Taller Nacional, Abril 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI- BIRD/IPGRI.
- Bellon, M. R. y J. Risopoulous. 2001. Small scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: A case study from Chiapas, Mexico. *World Development* 29(5):799–811.
- Bond, D. A. y M. H. Poulsen. 1983. Pollination. En P. D. Hebblethwaite, ed., *The Faba Bean (Vicia faba L.)*, 77–101. Londres: Butterworths.
- Brown, A. H. D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms. En S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 29–48. Ottawa, Canadá: IDRC/IPGRI/Lewis Publishers.
- Brush, S., R. Kesseli, R. Ortega, P. Cisneros, K. Zimmerer y C. Quiros. 1995. Potato diversity in the Andean center of crop domestication. *Conservation Biology* 9:1189–1198.
- Castiñeiras, L., Z. Fundora, S. Pico y E. Salinas. 2001a. Monitoring crop diversity in home gardens as a component in the national strategy of in situ conservation of

- plant genetic resources in Cuba, a pilot study. *Plant Genetic Resources Newsletter* 123:9-18.
- Castiñeiras, L., Z. Fundora Mayor, T. Shagardosky, V. Moreno, O. Barrios, L. Fernández y R. Cristobal. 2001b. Contribution of home gardens to in situ conservation of plant genetic resources in farming systems: Cuban component. En J. W. Watson y P. B. Eyzaguirre, eds., *Contribution of Home Gardens to In Situ Conservation of Plant Genetic Resources in Farming Systems*. Memorias: Second International Home Gardens Workshop, Julio 17-19, 2001, Witzenhausen, Alemania. Roma: IPGRI.
- Chaudhary, P., D. Gauchan, R. B. Rana, B. R. Sthapit y D. I. Jarvis. 2004. Potential loss of rice landraces from a Terai community in Nepal: A case study from Kachorwa, Bara. *Plant Genetic Resources Newsletter* 137:14-22.
- Clegg, M. T. y M. L. Durbin. 2000. Flower color variation: A model for the experimental study of evolution. En F. J. Ayala, W. M. Fitch y M. T. Clegg, eds., *Variation and Evolution in Plants and Microorganisms: Towards a New Synthesis 50 Years After Stebbins*, 211-234. Washington, DC: Academia Nacional de Ciencias.
- Collado-Panduro, L., J. L. Chávez-Servia, A. Riesco y R. Soto. 2005. Community systems of seed supply and storage in the central Amazon of Peru. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 103-108. Memorias del Taller, Septiembre 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Coomes, O. T. 2001. Crop diversity in indigenous farming systems of Amazonia: The role and dynamics of agricultural planting stock transfers among traditional farmers. En *Resúmenes del International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*, 27, Noviembre 8-10, 2001, Montreal, Canadá.
- Domínguez, C. E. y R. B. Jones. 2005. The dynamics of local seed systems in Mozambique, and the roles played by women. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 141-148. Memorias del Taller, Septiembre 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Gaifani, A. 1992. Developing local seed production in Mozambique. En D. Cooper, R. Vellvé y H. Hobbelink, eds., *Growing Diversity*, 97-105. Londres: Intermediate Technology Publications.
- Gepts, P. 1990. Genetic diversity of seed storage proteins in plants. En A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kakler y B. S. Weir, eds., *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, 64-82. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Gepts, P. y R. Papa. 2003. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environmental Biosafety Research* 2:89-103.

- Ghaouti, L. 2003. *Analyse de la diversité génétique de la fève in situ et études des mécanismes de sa maintenance à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc*. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Marruecos: IAV Hassan II.
- Gillespie, J. H. 1998. *Population Genetics: A Concise Guide*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Granovetter, M. 1973. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology* 78:1360-1380.
- Hardon, J. y W. de Boef. 1993. Linking farmers and breeders in local crop development. En W. de Boef, K. Amanor, K. Wellard y A. Bebbington, eds., *Cultivating Knowledge: Genetic Diversity, Farmer Experimentation and Crop Research*, 64-71. Londres: Intermediate Technology Publications.
- Jarvis, D. I. y T. Hodgkin. 2000. Farmer decision making and genetic diversity: Linking multidisciplinary research to implementation on-farm. En S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 261-279. Ottawa, Canadá: IDRC/IPGRI/Lewis Publishers.
- Jarvis, D. I., R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds. 2005. *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*. Memorias del Taller, September 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Johannessen, C. L., M. R. Wilson y W. A. Davenport. 1970. The domestication of maize: Process or event? *Geographical Review* 60(3):393-413.
- Kabore, O. 2000. Burkina Faso: ppb, seed networks and grassroot strengthening. En D. I. Jarvis, B. Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 192-193. Roma: IPGRI.
- Karamura, D. y E. B. Karamura. 2004. *Implications of chimerism in the East African highland bananas*. Manuscrito no publicado.
- Karamura, E. B., D. A. Karamura y C. A. Eledu. 2005. Banana and plantain seed systems in the Great Lakes region of East Africa: A case for a clonal seed system. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 76-80. Memorias del Taller, Septiembre 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Lope, D. 2004. *Gender Relations as a Basis for Varietal Selection in Production Spaces in Yucatan, Mexico*. MS thesis, Holanda: Wageningen University.
- Louette, D. 2005. Management of maize varieties in a traditional agricultural system of Mexico. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 95-102. Memorias del Taller, Septiembre 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Louette, D., A. Charrier y J. Berthaud. 1997. In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20-38.

- Louette, D. y M. Smale. 2000. Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. *Euphytica* 113:25-41.
- Mar, I., A. Gyovai, G. Bela y L. Holly. 2005. Multilevel seed movement across producers, consumers and key market actors: Seed marketing, exchange and seed regulatory framework in Hungary. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez- Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 54-59. Memorias del Taller, Septiembre 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Maruyama, T. y M. Kimura. 1980. Genetic variability and effective population size when local extinction and recolonization of subpopulations are frequent. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 77:6710-6714.
- McArthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- McGuire, S. 2001. Analyzing farmers' seed systems: some conceptual components. En L. Sperling, ed., *Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa*. Memorias del Taller, Junio 21-24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.
- Mellas, H. 2000. Morocco. Seed supply systems: Data collection and analysis. En D. I. Jarvis, B. Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 155-156. Roma: IPGRI.
- Mulcahy, D. L., M. Sari- Gorla y G. B. Mulcahy. 1996. Pollen-selection: Past, present and future. *Sexual Plant Reproduction* 9:353-356.
- Ortega-Paczka, R., L. Dzib- Aguilar, L. Arias-Reyes, V. Cob-Vicab, J. Canul-Ku y L. A. Burgos. 2000. Mexico. Seed supply systems: Data collection and analysis. En D. I. Jarvis, B. Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 152-154. Roma: IPGRI.
- Perales, H. 1998. *Conservation and Evolution of Maize in the Valleys of Amecameca and Cuautla, México*. Unpublished PhD dissertation, University of California, Davis. University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.
- Pickersgill, B. y D. Karamura. 1999. Issues and options in the classification of cultivated bananas, with particular reference to the East African Highland bananas. En S. Andrews, A. C. Leslie y C. Alexander, eds., *Taxonomy of Cultivated Plants, Third International Symposium*, 159-167. Reino Unido: Real Jardín Botánico de Kew.
- Qualset, C. O., A. B. Damania, A. C. A. Zanatta y S. B. Brush. 1997. Locally based crop plant conservation. En N. Maxted, B. V. Ford-Lloyd y J. G. Hawkes, eds., *Plant Genetic Conservation: The In Situ Approach*. Londres: Chapman & Hall.
- Quist, D. y L. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature (Londres)* 414:541-543.
- Rana, R. B. 2004. *Influence of Socio-Economic and Cultural Factors on Agrobiodiversity Conservation On-Farm in Nepal*. PhD Thesis, Reading University.

- Richards, P. 1989. Farmers also experiment: A neglected intellectual resource in African science. *Discovery and Innovation* 1(1):19-25.
- Richards, P. y G. Ruivenkamp. 1997. *Seeds and Survival: Crop Genetic Resources in War and Reconstruction in Africa*. Roma: IPGRI.
- Riesco, A. 2002. *Informe Anual del Proyecto: "Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity": Componente del Perú*. Roma: IPGRI.
- Sadiki, M., M. Arbaoui, L. Ghaoui y D. Jarvis. 2005. Seed exchange and supply systems and on-farm maintenance of crop genetic diversity: A case study of faba bean in Morocco. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 81-86. Memorias del Taller, Septiembre 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Sperling, L., ed. 2001. *Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa*, 9-13. Memorias del Taller, Junio 21-24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.
- Subedi, A., P. Chaudhary, B. Baniya, R. Rana, R. K. Tiwari, D. Rijal, D. I. Jarvis y B. R. Sthapit. 2003. Who maintains genetic diversity and how? Policy implications for agro-biodiversity management. En D. Gauchan, B. R. Sthapit y D. I. Jarvis, eds., *Agrobiodiversity Conservation On-Farm: Nepal's Contribution to a Scientific Basis for Policy Recommendations*. Roma: IPGRI.
- Subedi, A. y C. Garforth. 1996. Gender information and communication networks: Implications for extension. *European Journal of Agricultural Education and Extension* 3(2):63-74.
- Tripp, R. 2001. *Seed Provision and Agricultural Development*. Londres: Overseas Development Institute.
- Upadhaya, M. P. 1996. Rice research in Nepal: Current state and future priorities. En R. E. Evenson, R. W. Herdt y M. Hossain, eds., *Rice Research in Asia: Progress and Priorities*, 193-215. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Valdivia, R. F. 2005. The use and distribution of seeds in areas of traditional agriculture. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia y T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 17-21. Memorias del Taller, Septiembre 16-20, 2003, Pucallpa, Perú. Roma: IPGRI.
- Wang, J. y A. Caballero. 1999. Developments in predicting the effective size of subdivided populations. *Heredity* 82:212-226.

## 5 Medidas de diversidad como insumo para decisiones acerca de la conservación de los recursos genéticos pecuarios

---

J. P. GIBSON, W. AYALEW Y O. HANOTTE

### Mapeo de la diversidad genética pecuaria

En los últimos 12,000 años, desde la domesticación de la primera especie pecuaria, se han desarrollado más de 6,379 poblaciones de razas documentadas, de unas 30 especies pecuarias (Scherf 2000). Estas razas han evolucionado y se han adaptado, permitiendo la producción pecuaria en un amplio rango de condiciones, incluyendo algunos de los ambientes naturales habitados por los seres humanos sujetos a los más severos factores de estrés. Estas características genéticas, que han evolucionado de manera natural, proporcionan un conjunto coherente de opciones sostenibles para la resistencia a enfermedades, la supervivencia y la producción eficiente. Muchas de estas opciones con frecuencia se han ignorado en la carrera por encontrar soluciones tecnológicas y de manejo a problemas específicos de la producción pecuaria en sistemas de bajos insumos. Se estima que 35% de las razas de mamíferos y 63% de las de aves están en riesgo de extinción y que semanalmente se pierde una raza. Aunque no se ha documentado con precisión, las amenazas a los recursos genéticos pecuarios, en el mundo en desarrollo parecen estar aumentando rápidamente, debido principalmente al cambio acelerado de los sistemas de producción y al uso extensivo del cruzamiento. Las nuevas amenazas, como la implementación de políticas de sacrificio selectivo para prevenir la dispersión de enfermedades pecuarias comercialmente importantes como la fiebre aftosa, y zoonóticas, como la encefalopatía espongiiforme bovina y la influenza aviar, pueden poner en riesgo ciertas razas en el mundo desarrollado y en vías de desarrollo.

La conservación efectiva de los recursos genéticos pecuarios, sea *in situ* o *ex situ*, implica la movilización de una cantidad sustancial de recursos sociales y económicos durante períodos largos. Esos recursos, por lo general, están disponibles en el mundo desarrollado, donde ya se está conservando de manera eficiente una buena proporción de las razas pecuarias raras, pero no así en el mundo en desarrollo, donde se encuentra la mayoría de la diversidad genética pecuaria. Por tanto, habrá que tomar ciertas decisiones difíciles en cuanto a qué razas conservar con los limitados recursos disponibles.

La información sobre la diversidad genética es útil para optimizar las estrategias tanto de conservación como de uso de los recursos genéticos agropecuarios. Aunque teóricamente quisiéramos asegurar que toda la variabilidad existente siguiera disponible en el futuro y que pudiéramos hacer esto de una forma efectiva en cuanto a costos, en la práctica los recursos para conservar la diversidad genética total de una especie siempre serán insuficientes. Aún si tuviéramos los recursos adecuados, no tenemos el conocimiento completo de toda la variación genética funcional dentro de una especie. Por tanto, lograr casi el 100% de la conservación de la variabilidad funcional implicaría un proceso ineficiente al conservar muchos más individuos o poblaciones (como variedades, razas, accesiones) de lo que sería necesario si tuviésemos toda la información. Se pueden utilizar diversas mediciones para obtener un cálculo indirecto de la diversidad genética funcional. La caracterización fenotípica proporciona un cálculo crudo del promedio de variantes funcionales de los genes portados por un determinado individuo o una población. Pero aún no tenemos registros de la mayoría de los fenotipos de gran parte de las especies de plantas con uso agrícola, animales y peces. Careciendo de información fenotípica confiable, las medidas más rápidas y efectivas en costos de la diversidad genética se obtienen del análisis de polimorfismos de marcadores genéticos moleculares anónimos. Una cuestión importante es determinar cómo los cálculos de diversidad genética molecular se pueden aplicar para mejorar la toma de decisiones en los esfuerzos de conservación y uso de los recursos genéticos.

Este capítulo hace un resumen de las diferentes medidas de diversidad fenotípica y genética, y revisa cómo se podrían usar para informar a quienes toman decisiones de conservación en el mundo en desarrollo. Se dan ejemplos de conservación de recursos pecuarios que podrían tener una aplicación más amplia en otras especies con uso agrícola. No incluimos aquí el uso de la información sobre diversidad genética molecular para

optimizar el uso de la diversidad genética, pero se presenta una posible estrategia propuesta por Gibson (2003).

## Caracterización fenotípica como medida de la diversidad genética pecuaria

### *Desarrollo histórico*

La enumeración y la caracterización fenotípica de la biodiversidad pecuaria son los primeros pasos esenciales en la planificación de programas de manejo sostenible. El amplio registro de las características físicas y productivas de las razas pecuarias se inició hace aproximadamente 150 años en los países cuyas economías estaban bien desarrolladas y ha continuado hasta la fecha, resultando en una extensa literatura científica. El interés económico de identificar y mejorar los genotipos más productivos, entre y dentro de las razas, ha impulsado el esfuerzo de llevar estos registros. Este trabajo se ha realizado principalmente en las economías muy desarrolladas y ha sido determinado por las razas más dominantes a nivel comercial. Sin embargo, en un sentido más amplio, ha ido aumentando la necesidad de hacer la caracterización fenotípica de la biodiversidad pecuaria de una manera sistemática, especialmente desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano realizada en Estocolmo en 1972 (FAO 1984; Cunningham 1992; Swaminathan 1992) y la entrada en vigencia del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) en 1993. Aunque no figuraba en primer plano entre las preocupaciones de los países, al suscribir el Convenio estaban tácitamente reconociendo la importancia del manejo sostenible de los recursos genéticos pecuarios. Y es un hecho que el CDB ha aumentado muchísimo en la última década el nivel de debate sobre el manejo sostenible de los recursos genéticos pecuarios.

Aunque los recursos genéticos pecuarios han sido parte del programa de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) desde el establecimiento de esta Institución, se adoptó un enfoque diferente en la década de los 80 después de la Consulta Técnica de la FAO en Roma y de la Consulta de Expertos de la FAO y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1980. Estas consultas llevaron a iniciar un programa mundial conjunto entre la FAO y el PNUMA sobre recursos genéticos pecuarios en 1982, que fue implementado en 1990. Una revisión de este programa en 1989 estableció las bases de la Estrategia Mundial para el Manejo de los Recursos Genéti-

cos de Animales (RGA), la cual fue desarrollada y se viene implementando desde 1993 a nivel mundial y regional, para brindar un marco contextual exhaustivo para el manejo de estos recursos en fincas. Un componente importante del programa técnico de trabajo de esta estrategia es la caracterización de los RGA, la documentación y la disseminación de la información a través de un sistema de información y una base de datos mundial, ampliamente disponibles y de fácil acceso (FAO 1999).

### *¿Por qué la caracterización?*

La caracterización fenotípica se hace para medir la diversidad entre razas definidas o poblaciones, con el objetivo de entender el grado, la distribución, las características básicas, el rendimiento comparativo, el valor utilitario y el estado actual de las razas o de poblaciones diferentes dentro de una raza. Las actividades esenciales incluyen la identificación y el inventario de las diferentes razas, una descripción detallada de sus hábitats naturales y adaptados, y el registro de sus características fenotípicas. La principal motivación del trabajo de caracterización es proporcionar información para el uso adecuado al bienestar humano (Cunningham 1992). Por tanto, el enfoque que por lo general se aplica se concentra en los atributos productivos y adaptativos de las razas. Esta información, junto con datos precisos sobre el estado y la distribución, puede convertirse en la base para establecer prioridades nacionales, regionales y mundiales para el manejo de los recursos genéticos animales (FAO 1984, 1999; Rege 1992). Tal como se discute en este capítulo, es fácil de decir pero difícil de lograr en la práctica.

### *Naturaleza de la caracterización*

Las descripciones más comunes de las características de una raza están basadas en el fenotipo. El fenotipo de una raza se determina con base en su marcado genotipo promedio, y el ambiente en el cual los animales se crían y se registran. Por lo general, los niveles de rendimiento dependen en mayor grado del ambiente en el que se crían los animales. Aunque el ambiente poco afecta algunas características de apariencia, como el patrón de colores y el tamaño y la forma de los cuernos, y aunque estas características varían entre animales de la misma raza, el ambiente afecta la mayoría de las características de rendimiento, las cuales presentan variación sustancial entre animales de la misma raza. Esto requiere que se registren

muchos animales en un ambiente bien definido para poder obtener un cálculo preciso y bien definido del fenotipo de la raza.

Dentro de la estrategia mundial para el manejo de los recursos genéticos de animales se han desarrollado y documentado una serie de recomendaciones sobre métodos para la caracterización exhaustiva (FAO 1984; Hodges 1987, 1992) y se han publicado listas completas de variables para describir las características fenotípicas y genéticas (listas de descriptores) de los recursos genéticos animales (FAO 1986a, 1986b, 1986c). Dicha caracterización incluye la descripción del ambiente de producción, en términos de insumos y rendimiento, y las dimensiones biológica, climática, económica, social y cultural (FAO 1984, 1986b, 1999).

En la práctica, los factores ambientales que afectan el fenotipo de los animales son tan complejos que ninguno de los descriptores propuestos por diversas autoridades describen los ambientes con suficiente precisión para determinar si dos o más razas, registradas en diferentes espacios y tiempos, fueron o no registradas bajo condiciones lo suficientemente similares para permitir una comparación válida de sus fenotipos. Pueden surgir comparaciones científicamente válidas entre razas bajo condiciones limitadas. La primera viene dada por el registro simultáneo de dos o más razas en la misma localidad sometidas a prácticas de manejo idénticas. La segunda es un enfoque indirecto en el cual el registro de diferentes razas se presenta en diferentes espacios o momentos, pero donde se pueden vincular los diferentes espacios o momentos mediante el uso de razas comunes. Se pueden entonces ajustar los efectos de los diferentes ambientes mediante las diferencias fenotípicas de las razas comunes en esos diferentes ambientes. Es poco frecuente que se lleve a cabo este tipo de estudios deliberadamente; este tipo de datos surgen de manera espontánea cuando se realizan muchos ensayos independientes en diferentes países o en diferentes momentos. Roughsedge et al. (2001) exploraron la posibilidad de hacer estas comparaciones indirectas entre razas de ganado bovino para carne analizando datos de varios experimentos publicados en el mundo desarrollado y concluyeron que el meta-análisis de los datos publicados produjo información significativamente más valiosa que la suma de las bases de datos experimentales obtenidas de manera aislada. Dicho meta-análisis es técnicamente válido solo donde las interacciones entre el ambiente y el genotipo son insignificantes. Es improbable que este supuesto sea válido en situaciones en las que los datos cubren un rango de ambientes y genotipos muy amplio, pero por lo demás, como primera aproximación, parece razonable. La actual dificultad en los países en desarrollo es que aunque existen los datos de muchas razas, es difícil tener acceso a ellos. Si se superara esta

dificultad, se haría un servicio valioso a los sistemas de información de los recursos genéticos pecuarios. Sin embargo, en ambientes rústicos típicos de los sistemas de producción pecuaria en el mundo en desarrollo, seguirá siendo un problema el que muchas de las características más importantes durante la vida productiva, son muy difíciles de registrar o que no sean registradas. En general, aunque hay mucha información valiosa sobre diversas razas esperando ser registrada y utilizada, para la mayoría de las razas hay muy poca información sobre el fenotipo de la mayoría de sus caracteres de importancia económica (ver el Capítulo 17).

Muchas decisiones sobre conservación o sobre el uso apropiado de germoplasma incluyen la eliminación de la mayoría de las opciones alternativas, reduciendo a candidatas sólo a algunas pocas razas que son apropiadas o accesibles. En tales casos, se puede eliminar sin riesgo una cantidad sustancial de opciones con base en diferencias fenotípicas extremas. Cuando no se tienen datos fenotípicos, se pueden también eliminar opciones sin riesgo, con base en la poca probabilidad de que posean características deseables desde el punto de vista de su actual distribución y uso. Una raza que haya evolucionado por fuera de la región en la que una determinada enfermedad sea endémica, por ejemplo, es poco probable que posea resistencia útil a esa enfermedad (la situación puede ser diferente en el caso de los cultivos; consultar el Capítulo 11). De la misma manera, las razas que han evolucionado en ambientes templados y húmedos muy probablemente no se adaptarán bien en las sabanas tropicales secas y propensas a la sequía. Por tanto, aún la información parcial e imprecisa de un fenotipo comparada con la información sobre la distribución nativa y la distribución por uso actual nos proporciona información valiosa para la toma de decisiones. La toma de decisiones se facilitaría muchísimo si la información actualizada sobre las características de una raza estuviera en bases de datos de acceso público, a su vez vinculadas a mapas realizados con la ayuda de sistemas de información geográfica (SIG) que mostraran los ambientes con riesgos físicos y patológicos en los cuales dicha raza evolucionó o se utiliza actualmente.

En el afán por caracterizar una raza, muchas veces se pasa por alto el conocimiento de los productores, tanto tradicionales como modernos, que generalmente tienen una profunda comprensión de su rebaño. Lo que hace falta es una base de comparación con otras razas. Además de las dificultades encontradas para convertir los términos que los ganaderos utilizan en medidas cuantificables, está la dificultad de captar este conocimiento con precisión y frecuentemente cuando puede ser de naturaleza demasiado general para ser útil. Entonces, por ejemplo, tienen muy poco valor las

aseveraciones de los ganaderos de que sus animales son resistentes a las enfermedades. Por el contrario, las observaciones de los ganaderos de que su rebaño es resistente (o susceptible) a determinadas enfermedades endémicas o epidémicas generalmente están basadas en hechos, especialmente en lugares donde han tenido la oportunidad de observar el comportamiento de razas alternativas bajo la presión de una enfermedad.

### *Documentación de la diversidad mundial*

Aunque la información sobre la mayoría de las razas en el mundo en desarrollo es limitada, de mala calidad y no ha sido colectada de manera sistemática, es sorprendente la cantidad de información que se ha colectado para muchas razas en los últimos 100 años o más. Gran parte de esta información fue publicada antes de que fuera estándar la publicación electrónica o aparece en la literatura gris de publicaciones gubernamentales o institucionales, o en revistas científicas de circulación nacional o regional, difíciles de conseguir fuera de un país o región. Dicha información es muy difícil de localizar y no se puede encontrar fácilmente a través de búsquedas estándar dentro de la literatura científica. Hay un enorme valor potencial en unir toda esta información y hacerla accesible a la comunidad internacional.

El primer esfuerzo para documentar la biodiversidad pecuaria a escala mundial fue el trabajo de Mason (1988). Este libro incluye nombres de razas, sinónimos y localidades donde se encuentran las razas; ofrece además una descripción básica del origen, la apariencia física y los principales usos de cada raza. No tiene cálculos de tamaño poblacional (excepto el indicar ocasionalmente el estado de una raza conocida y sus tendencias poblacionales), ni de las características de producción de la raza citada.

Otra importante contribución, pero solamente de una especie, es el libro de Felius (1995) titulado *Cattle Breeds: An Encyclopedia* (Enciclopedia de Razas de Ganado Bovino), que incluye una breve descripción de más de 1000 razas de ganado bovino. El libro hace una síntesis de los orígenes, la distribución y el desarrollo, además de discutir las posibles relaciones entre razas; también incluye una breve descripción de la apariencia típica y las dimensiones de cada raza, y algunos cálculos del tamaño de las poblaciones. No contiene información sobre el rendimiento, la adaptación y la resistencia a enfermedades.

Existe bastante literatura en la que se hacen comparaciones entre razas y compilaciones de informes de razas de determinada especie en un país o región. Estos estudios frecuentemente generaron informes exhaustivos de

información específica a una raza, y fueron usados como base para desarrollar programas realistas de desarrollo pecuario en sus respectivos países o regiones. La utilidad de esta información depende de cuán eficientemente se archive y se entregue a los actores indicados; desafortunadamente, gran parte de esta literatura es difícil de localizar y es de difícil acceso. Teniendo en cuenta que el volumen de literatura está creciendo rápidamente, lo que se necesita es unir toda esta información en un solo sitio de fácil acceso. La solución natural es desarrollar bases de datos electrónicas y sistemas de información disponibles a usuarios de todo el mundo.

La idea para el establecimiento de los bancos de datos de recursos genéticos pecuarios para los países en desarrollo surgió de la reunión del Panel de Expertos de la FAO y del PNUMA para la Conservación y el Manejo de los Recursos Genéticos Pecuarios, realizada en Roma en octubre de 1983 (FAO 1984). Aproximadamente 70% de la biodiversidad pecuaria mundial está en manos de pequeños agricultores, quienes generalmente no comparten la preocupación mundial por el mantenimiento de la biodiversidad pecuaria. Además, los países en desarrollo normalmente carecen de la capacidad para responder adecuada y efectivamente a la tasa cada vez mayor de pérdida de diversidad genética. Se cree que la falta de información precisa sobre la diversidad y el estado de los recursos genéticos pecuarios mantenidos en fincas contribuye a las amenazas actuales a la diversidad pecuaria.

#### *Estado actual y necesidades de contar con sistemas de información mundialmente accesibles en el futuro*

Existen actualmente varios sistemas de información electrónica sobre biodiversidad pecuaria, de dominio público, que se pueden consultar mundialmente. En el Recuadro 5.1 se resumen los orígenes y el contenido de estos sistemas de información.

Los sistemas de información existentes cumplen diversos propósitos. Colectivamente, contienen una cantidad sustancial de información, pero carecen de lo necesario y posible en el proceso de toma de decisiones efectivas para la conservación y el uso de los recursos. Hasta ahora, los sistemas de información existentes contienen sólo una mínima parte de la información disponible sobre la mayoría de las razas de la mayoría de las especies, y estos sistemas no tienen otra funcionalidad que la de hacer búsquedas simples por país o por raza. La siguiente generación de sistemas de información debe captar una alta proporción de la información del pasado y del presente sobre la mayoría de las razas pecuarias, y tratar de clasificar los

datos de manera que los usuarios puedan hacer sus propias evaluaciones sobre el valor de cada unidad de información. La funcionalidad de los sistemas de información debe aumentar considerablemente para que permita la extracción y el análisis personalizado de datos fenotípicos y de genética molecular dentro y entre fuentes de datos. Se espera que el alcance de la adquisición de datos pueda también ampliarse para que la información sobre las razas se pueda vincular a la elaboración de mapas del ambiente y de los sistemas de producción, mediante el uso de herramientas basadas en SIG. Esto permitiría que las características mal documentadas, como la resistencia a enfermedades y los caracteres adaptativos, se puedan predecir a partir de la distribución y uso, pasado y actual, de las razas. Estas son funciones fundamentales pero que se pueden lograr plenamente y que se están necesitando con urgencia si los investigadores, los encargados de hacer las políticas y tomar las decisiones, y los asesores de las comunidades agrícolas han de tener la información que necesitan para hacer recomendaciones adecuadas y tomar decisiones apropiadas para la conservación y el uso de los recursos genéticos pecuarios.

#### Estimación de diversidad genética con base en los marcadores moleculares

Los marcadores moleculares se usan comúnmente para estimar los parámetros de diversidad genética pecuaria. Dicha información se ha colectado en diversos proyectos con una gran cantidad de razas, pero aún falta una revisión de conjunto. Los primeros marcadores utilizados en especies pecuarias fueron los polimorfismos de proteínas. Durante los años 70 se llevaron a cabo una buena cantidad de estudios de variabilidad genética usando grupos sanguíneos y sistemas aloenzimáticos (Baker y Manwell 1980; Manwell y Baker 1980), pero el nivel de polimorfismo observado en estos marcadores fue generalmente bajo, lo cual redujo bastante su aplicación en estudios de diversidad. Con el desarrollo de las tecnologías basadas en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, de su nombre en inglés), los polimorfismos del ADN se convirtieron en los marcadores escogidos en las mediciones de variabilidad genética con marcadores moleculares. Actualmente, los marcadores más populares en los estudios de caracterización genética de especies pecuarias son las secuencias de ADN mitocondrial, especialmente la secuencia de la región hipervariable del lazo D o la región de control, y los loci microsatelitales y autosomales (Sunnucks 2001).

### Recuadro 5.1 Sistemas de información sobre recursos genéticos pecuarios mundialmente accesibles

El Banco Mundial de Datos para los Recursos Genéticos Pecuarios de la FAO se inició en 1987 cuando la FAO colaboró con la Asociación Europea para la Producción Animal (EAAP, de su nombre en inglés) en el desarrollo de un recurso informático electrónico que contuviera información descriptiva de todas las razas y variedades pecuarias reconocidas en el mundo. El banco de datos se administra desde dos sitios: el primero, con sede en Hanover, Alemania, sirve a toda Europa, y el segundo, con sede en Roma, Italia, que sirve al resto del mundo. La FAO coordina el ingreso de los datos, los cuales son proporcionados por representantes designados para cada país (FAO 1999).

El Banco Mundial de Datos se usa para mantener los inventarios de razas y monitorear la conservación de los recursos genéticos pecuarios, como parte del sistema de alerta temprana sobre diversidad de animales domésticos. Actualmente tiene información sobre 14,000 poblaciones de razas de 35 especies de mamíferos y aves. La Lista Mundial de Alerta para la Diversidad de los Animales Domésticos (wwl-dad-3) se construyó en 1999 a partir de la información obtenida de este Banco Mundial de Datos (Scherf 2000).

#### DAD-IS

DAD-IS ([www.fao.org/dad-is](http://www.fao.org/dad-is)) fue la primera base de datos de recursos genéticos animales mundialmente accesible desarrollada por la FAO. Se inició como una herramienta clave de comunicación e información para implementar la Estrategia Mundial para el Manejo en Fincas de los Recursos Genéticos Pecuarios, principalmente para ayudar a los países y a las redes nacionales en los programas de sus respectivos países (FAO 1999). Además de la información de razas a nivel nacional, DAD-IS brinda un servicio de biblioteca virtual con acceso a determinados documentos técnicos y políticos, incluyendo herramientas y directrices para la investigación en recursos genéticos pecuarios. También contiene vínculos a sitios importantes en internet con información electrónica relevante. Esta base de datos puede intercambiar puntos de vista y atender solicitudes específicas de información al vincular al conjunto de actores interesados en el tema: agricultores, científicos, investigadores, extensionistas y políticos.

DAD-IS brinda información sobre el origen, la población, el estado de riesgo, las características especiales, la morfología y el rendimiento de las razas (o de las variedades), con base en información proporcionada por los países miembros de la FAO. Actualmente, la base de datos contiene un listado de 5300 razas de 35 especies en 180 países. Un aspecto clave de DAD-IS es que tiene una herramienta para el almacenamiento y la comunicación de la información que le permite a cada país decidir cuándo y qué datos se pueden liberar a través del punto focal oficialmente designado. Por su naturaleza, la información es de poco valor para los usuarios externos puesto que sólo pueden obtener información limitada para la mayoría de las razas y países, sin acceso

*EL Recuadro 3.1, continúa en la página siguiente*

*Recuadro 5.1, continuación*

al origen, el contexto o la veracidad de la información suministrada, haciendo prácticamente imposible establecer comparaciones entre razas y países.

*Sistema de Información Europeo sobre la Biodiversidad Animal en Fincas*

Esta base de datos ([www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm](http://www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm)) fue desarrollada y administrada por el Departamento de Mejoramiento y Genética Animal, de la Escuela de Veterinaria de Hanover, en Alemania. Forma parte del Banco Mundial de Datos pero su uso está limitado a los 46 miembros de la EAAP y de los demás países europeos. El 23 de octubre de 2003, la base de datos incluía 1935 entradas de razas europeas de ocho especies pecuarias (búfalos, bovinos, caprinos, ovinos, caballos, asnos, cerdos, conejos). La base de datos despliega información resumida de las razas, incluyendo origen, desarrollo, tamaño de la población, estado de la raza, rendimiento y actividades de conservación. La base de datos también contiene vínculos a bases de datos de escala nacional para Alemania, Austria, Francia, los Países Bajos y Suiza, y a la página de internet de Razas Internacionales Raras de la EAAP (EAAP Animal Genetic Databank 2003).

*DAGRIS*

El Instituto Internacional de Investigación Pecuaria [International Livestock Research Institute (ILRI) desarrolló y actualmente maneja la base de datos DAGRIS ([dagris.ilri.cgiar.org](http://dagris.ilri.cgiar.org)), iniciada en 1999 para compilar y diseminar información sobre el origen, la distribución, la diversidad, las características, el uso actual y el estado de las razas nativas. La información se toma de resultados de investigación publicados. Un aspecto único de esta base de datos es que respalda la información sobre las razas con referencias bibliográficas y resúmenes de las publicaciones de origen. DAGRIS está diseñada para apoyar la investigación, la capacitación, la información pública, el mejoramiento genético y la conservación. En abril de 2003 se hizo pública en internet la Versión I de esta base de datos (DAGRIS 2003), también disponible en CD-ROM. La base de datos contiene actualmente más de 16,000 registros de características de 152 razas de ganado bovino, 96 de ovinos y 62 de caprinos africanos. Aunque está limitada a tres especies de África, se proyecta ampliar su alcance para incluir a Asia en el futuro cercano.

Los planes para el desarrollo futuro de la base de datos también incluyen el establecimiento de estructuras adicionales para cargar y descargar, de manera remota, información no revisada por un curador, y así ampliar el rango de usuarios que participan en su desarrollo. También se ha pensado adicionarle módulos que contengan herramientas de apoyo a la toma de decisiones para el uso sostenible y la conservación de los recursos genéticos pecuarios en países en desarrollo, módulos para captar y analizar información sobre genética molecular, y herramientas informáticas para vincular la base de datos a los SIG, de manera que se puedan sobreponer datos georreferenciados diferentes (Ayalew et al. 2003).

*Recuadro 5.1, continuación*

*Inventario de razas pecuarias de la Universidad Estatal de Oklahoma*

El Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Estatal de Oklahoma maneja esta base de datos ([www.ansi.okstate.edu/breeds](http://www.ansi.okstate.edu/breeds)) desde 1995. La aplicación brinda una breve descripción de las razas en cuanto a origen, distribución, características típicas, usos y estatus de la raza. Esta referencia clave sobre las razas de animales presenta un listado de razas de todo el mundo, con la opción de clasificar por regiones. Hasta octubre de 2003, la base de datos incluía 1074 razas (289 de ovinos, 269 de bovinos, 229 de caballos, 106 de caprinos, 73 de cerdos, 8 de burros, 7 de búfalos, 6 de camellos, 4 de venados, 1 de llamas, 1 de búfalo africano, 55 de aves de corral, 10 de patos, 7 de pavos, 7 de gansos, 1 de gallinas de Guinea y 1 de cisne negro). Contiene también vínculos a información útil en su Biblioteca Virtual Pecuaria.

El ADN mitocondrial se hereda como un elemento extra nuclear, casi exclusivamente a través del linaje materno. Cada individuo normalmente hereda un solo haplotipo de la hembra. Los análisis genéticos de las mitocondrias proporcionan por tanto una imagen incompleta de la diversidad presente en un individuo o una población, cuando no se conoce la diversidad genética nuclear, o no se tiene un análisis del flujo genético mediado por el macho (Awise 1994). Esto es especialmente importante en las especies pecuarias, que se reproducen exclusivamente por cruzamiento y en donde los machos de cría generalmente producen mucha progenie. Sin embargo, debido a la falta de recombinación y por heredar un solo haplotipo, los estudios del ADN mitocondrial han contribuido significativamente a la identificación de los progenitores silvestres de las especies domesticadas y a la comprensión del complejo proceso de domesticación, la que constituye una información esencial para entender el origen y la distribución de la diversidad genética (ver la reciente revisión de Bruford et al. 2003). Si se tienen secuencias de una cantidad grande de individuos no relacionados, la diversidad del haplotipo se puede calcular dentro de la raza y comparar entre razas. El análisis jerárquico de la varianza molecular (AMOVA) (Excoffier et al. 1992) nos permite comparar la distribución de la diversidad dentro y entre grupos de razas, o dentro y entre regiones geográficas (Luikart et al. 2001). El ADN mitocondrial también puede ser una manera rápida de detectar la hibridación entre especies o subespecies de animales (Nijman et al. 2003).

Los loci microsatelitales son marcadores nucleares codominantes encontrados en una densidad alta y aleatoriamente dispersos en todos los cromosomas de la mayoría (probablemente de todos) de los eucariotes. Son altamente polimórficos y la cantidad de alelos varía desde dos hasta cinco secuencias de pares de bases que se repiten una detrás de otra. Los microsatélites son pequeños y se pueden amplificar fácilmente con la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) a partir del ADN extraído de diferentes fuentes, incluyendo sangre, pelo, piel e incluso heces. Los polimorfismos se pueden visualizar en geles de secuencia, y la disponibilidad de secuencias automáticas de ADN permite el análisis con un alto movimiento de gran cantidad de muestras en un período de tiempo corto (Jarne y Lagoda 1996; Goldstein y Schlötterer 1999). Actualmente, ellos son los marcadores preferidos para los estudios de diversidad y análisis de parentesco, como para el mapeo de un locus del carácter cuantitativo, aunque en el futuro cercano podrían competir con su popularidad otros métodos de ensayo no costosos de marcadores polimórficos de un solo nucleótido. La FAO ha supervisado el desarrollo de recomendaciones para conjuntos de loci microsatelitales que se usan en los estudios de diversidad de las principales especies pecuarias (ver [dad.fao.org/en/refer/library/guidelin/marker.pdf](http://dad.fao.org/en/refer/library/guidelin/marker.pdf)).

Existe controversia sobre la elección del mejor modelo de mutación aplicado a la evolución de los loci microsatelitales y por ende de la selección de los mejores modelos de genética poblacional para el análisis de datos. El polimorfismo de los microsatélites probablemente se genera por una disminución del ADN (mecanismo conocido como “DNA slippage”) (Schlötterer y Tautz 1992), y los alelos resultantes son discretos. La suposición de un acervo infinito de posibles alelos podría ser equívoca puesto que el tamaño del nuevo mutante probablemente depende del alelo desde el cual mutó, además de que también es factible que se presenten retro-mutaciones. Estas son las razones por las cuales se han propuesto nuevas medidas de distancia genética y de diferenciación genética basadas en un modelo de mutación paso a paso (Goldstein et al. 1995). Los estudios de simulación, sin embargo, han mostrado que el uso de análisis que suponen un modelo de mutación de alelos infinitos es generalmente válido para estudios de diversidad dentro de una especie a partir de datos de los microsatélites (Takezaki y Nei 1996).

La información de los microsatélites se está utilizando para estimar la diversidad genética dentro de una raza y entre razas, y de las mezclas genéticas entre razas. La cantidad media de alelos (CMA), y la heterocigosidad observada y esperada ( $H_o$  y  $H_e$ ) son los parámetros de genética poblacio-

nal que más comúnmente se calculan para evaluar la diversidad dentro de la raza. Sin embargo, para que la CMA sea un parámetro de comparación válido entre razas es importante que los tamaños de las muestras sean iguales para todas las razas. Teóricamente, la diversidad alélica puede darnos información sobre la diferenciación de una raza, mediante la presencia de alelos únicos (también conocidos como alelos “privados”) dentro de una población. En la práctica, la observación de alelos privados se debe interpretar con precaución, especialmente si están presentes en frecuencias bajas, porque podrían ser el resultado de los artefactos de muestreo. De la misma manera, el error estándar de las mediciones de heterocigosidad depende de la cantidad de animales a los que se les determina el genotipo y del nivel de polimorfismo observado en los loci individuales.

Los parámetros más sencillos para evaluar la diversidad entre razas usando datos de los microsatélites son la diferenciación genética o los índices de fijación. Se han propuesto diversos métodos de estimación (ejemplo,  $F_{ST}$ ,  $G_{ST}$ ,  $\theta$ ), entre los cuales el más usado es el de  $F_{ST}$  (Weir y Basten 1990), el cual mide el grado de diferenciación genética entre subpoblaciones, calculando las varianzas estandarizadas de las frecuencias alélicas entre poblaciones. La significación estadística de los valores  $F_{ST}$  entre pares de poblaciones puede ser calculada probando la hipótesis nula de falta de diferenciación genética entre poblaciones y por ende la partición de la diversidad genética entre poblaciones (Mburu et al. 2003). De manera similar al análisis del polimorfismo del ADN mitocondrial, se puede realizar la prueba de AMOVA (Excoffier et al. 1992) para conocer la distribución de la diversidad dentro de una raza o entre grupos de razas.

Asimismo, los datos de los microsatélites de frecuencia se usan comúnmente para evaluar las relaciones genéticas entre poblaciones y también entre individuos, calculando las medidas de distancia genética con base en las frecuencias alélicas de los microsatélites. La medida más usada de distancia genética es la distancia genética estándar de Nei ( $D_S$ ) (Nei 1972). Sin embargo, en el caso de poblaciones estrechamente relacionadas, en las cuales la deriva genética es el principal factor de diferenciación genética (como sucede comúnmente en razas de animales, especialmente en el mundo en desarrollo), se recomienda usar la distancia modificada de Cavalli-Sforza ( $D_A$ ) (Nei et al. 1983). La relación genética entre razas se visualiza frecuentemente mediante la construcción de filogenias, generalmente usando el algoritmo de agrupamiento de vecinos (neighbor-joining (N-J) method) (Saitou y Nei 1987), que no trabaja suponiendo que la tasa evolutiva sea la misma en todas las progenies. Se han publicado numerosos artículos (como en la revista de la Sociedad Internacional de Genética

Animal, *Animal Genetics* [www.isag.org.uk]) donde se describen las relaciones filogenéticas entre razas pecuarias usando distancias genéticas. Sin embargo, una gran desventaja de la construcción del árbol filogenético es que éste supone que la evolución es no reticulada (es decir, que las progenies pueden divergir pero que nunca pueden resultar de cruzamientos entre linajes). Esta suposición es poco válida en el caso de las especies pecuarias donde las nuevas razas frecuentemente se originan a partir de cruzamientos entre dos o más razas ancestrales. La visualización de la evolución lograda mediante la reconstrucción filogenética se debe por tanto interpretar con precaución, conociendo que no se puede representar el cruce entre progenies.

Los análisis multivariados y, más recientemente, los métodos Bayesianos de agrupamiento se han sugerido para el análisis de datos mezclados de microsatélites de frecuencia alélica (Pritchard et al. 2000). Probablemente el estudio de especies pecuarias más completo de este tipo es el de ganado bovino africano realizado para todo el continente (Hanotte et al. 2002). Utilizando el análisis de componentes principales, los autores pudieron evaluar el nivel de mezcla genética de cada raza africana e inferir sus orígenes desde los tres centros de domesticación del ganado bovino actualmente reconocidos en ese continente. Además, al combinarla con información arqueológica, los datos moleculares permitieron identificar los centros de origen o los puntos de entrada al continente africano de las tres principales influencias genéticas presentes en los bovinos africanos. Cabe resaltar que el uso de información sobre genética molecular es una herramienta útil, combinada con otra información como datos arqueológicos y registros escritos, para comprender la naturaleza y la historia de los orígenes, y del posterior desplazamiento y desarrollo de la diversidad genética de las especies pecuarias. La construcción de mapas de los orígenes de la diversidad genética existente hoy nos permite inferir dónde se podría encontrar variabilidad genética funcional dentro de una especie de cuya variabilidad fenotípica tenemos poca información.

#### Uso de marcadores moleculares en las decisiones sobre conservación

Aunque en condiciones ideales, conservaríamos todas las razas pecuarias por su uso potencial en el futuro, es improbable tener los recursos económicos, físicos y humanos para hacerlo. Por tanto, tendremos que decidir cómo asignar recursos finitos a la conservación. Una meta de la conservación será conservar la mayor cantidad de diversidad posible para su

uso potencial en el futuro. Prácticamente no se tiene información sobre la distribución de polimorfismos genéticos potencialmente útiles entre razas, y existe muy poca información sobre los fenotipos de las razas del mundo en desarrollo. Por tanto, a corto plazo, la información de los marcadores moleculares brinda los cálculos más fácilmente obtenibles de la diversidad dentro de una raza y entre razas diferentes. En la siguiente discusión no se argumenta que la información de los marcadores moleculares sea superior a los parámetros fenotípicos u a otras mediciones indirectas o directas de la variabilidad genética funcional. Por el contrario, las determinaciones de diversidad genética basadas en marcadores moleculares son más valiosas cuando se carece del resto de la información, y van perdiendo su valor progresivamente a medida que se hacen mediciones directas e indirectas más detalladas y precisas de la variabilidad genética funcional (como la evaluación fenotípica precisa). Por último, las decisiones sobre conservación se deben apoyar en la mejor combinación de información sobre la diversidad genética funcional, incluyendo información basada en marcadores genéticos moleculares; pero, actualmente, las herramientas para la toma de decisiones se enfocan principalmente en el uso de datos obtenidos a través de marcadores genéticos moleculares o en mediciones de diversidad derivadas de tales datos. Al final de esta discusión se hacen algunas sugerencias sobre cómo se podrían desarrollar herramientas para la toma de decisiones más integrales. También se debe tener en cuenta que las decisiones sobre conservación incluirán los factores de valor social y cultural de las diferentes razas. Las herramientas para la toma de decisiones discutidas en este capítulo probablemente serán de mayor utilidad al ayudar a los decisivos a comprender las consecuencias de cada alternativa de acción; es decir, ayudar a mejorar, más que a dirigir, el proceso de toma de decisiones.

Un objetivo de la conservación es maximizar la diversidad genética disponible en el futuro. Diversos autores han sugerido aplicar métodos para maximizar el total de diversidad genética dentro de una raza, además de entre razas, estimando esta diversidad mediante el uso de marcadores genéticos moleculares (Toro et al. 1998; Eding et al. 2002). Otros autores se han enfocado en maximizar la diversidad futura entre razas (Thaon d'Aroldi et al. 1998; Simianer 2002), y se ha sugerido maximizar el equilibrio de la diversidad dentro y entre razas (Piyasatian y Kinghorn 2003).

Aunque se puede encontrar un alto grado de variabilidad genética en una misma raza (consultar el Capítulo 6), y aunque los métodos propuestos para maximizar la suma de la diversidad genética dentro y entre razas, evaluada mediante el uso de marcadores genéticos moleculares, son elegantes, dudamos que maximizar la suma de la diversidad genética entre

razas y dentro de ellas sea un criterio apropiado para establecer las metas de conservación, por las siguientes razones:

- La diversidad genética que se puede explotar más fácil y rápidamente se encuentra entre razas. Esto se explica porque se puede esperar que las frecuencias de los alelos que controlan los caracteres adaptativos y funcionales importantes sean altas o fijas dentro de una raza, motivo por el cual la sustitución o la absorción de razas mediante el cruzamiento genera cambios genéticos mucho más rápido que la selección dentro de una población.

- La teoría de la genética de poblaciones predice que deben existir relaciones notoriamente no lineales entre la distancia genética medida por marcadores anónimos y las diferencias genético funcionales (por ejemplo, aprovechables) entre razas, así estas diferencias hayan evolucionado por deriva genética o por selección. En un estudio reciente de diversidad genética molecular entre razas europeas de cerdos se encontró que la diversidad entre razas era mucho más alta de lo esperado, debido a la variación por deriva genética, lo cual concuerda con los efectos que ejerce la selección en sectores amplios del genoma durante la domesticación y la evolución de la raza (L. Ollivier, comunicación personal). Otro ejemplo que respalda estos dos puntos es el caso de la producción de leche en el ganado vacuno. Los promedios en plena lactancia de una vaca bien alimentada van desde menos de 800 L en las razas tropicales no lecheras hasta más de 6000 L en la raza lechera europea *Bos taurus*. Un programa de mejoramiento muy exitoso lograría un incremento de sólo el 1% anual en la producción de leche si trabajara con razas tropicales de bajo rendimiento lechero. Es decir, se necesitarían 202 años de mejoramiento de estas razas para alcanzar los niveles de rendimiento de las razas lecheras modernas. En cambio, la sustitución de razas podría lograr ese cambio entre 5 y 10 años, y el cruzamiento de razas lograría un aumento en la producción de leche de 50% en 5 años y de 75% en unos 10 años.

- Los métodos usados para evaluar la variación genética con base en la información de los marcadores moleculares necesariamente suponen que la variación genética dentro de la raza es funcionalmente la misma para todas las razas, lo cual puede no ser verdadero.

- La conservación de unas pocas razas mantendrá una muy alta proporción de variación dentro de la raza, de acuerdo con la evaluación realizada con marcadores moleculares.

- La medida de diversidad que se utiliza no es uniforme ni variable, lo que nos llevaría al resultado inverosímil de que si se adicionan nuevas

razas a un grupo de razas que se van a conservar, se puede reducir la cantidad estimada de diversidad conservada; y que si se adiciona una raza que ya está presente en el grupo de razas, se puede aumentar la diversidad conservada.

Creemos que el enfoque más apropiado sería el de maximizar la diversidad futura entre razas o tal vez el de enfatizar mucho más la conservación de la variabilidad entre razas que dentro de ellas. Diversos grupos han sugerido aplicar el método propuesto por Weitzman (1993, 1998) para la asignación de recursos para la conservación de la diversidad entre especies. Este enfoque ha sido tomado y ampliado por Simianer y sus colegas (Simianer 2002; Simianer et al. 2003). El método sugiere que lo primero es calcular las distancias genéticas entre razas, con base en la genética molecular o en otros datos. Una versión ligeramente modificada de la medida de diversidad,  $D$ , propuesta por Weitzman, se desarrolló para medir la diversidad genética que tiene las propiedades esenciales de no negatividad, uniformidad y copia invariable. Se desarrollaron métodos para calcular la probabilidad de extinción de cada raza,  $z_i$ , lo cual se puede entonces usar para calcular la diversidad futura esperada,  $D_F$ , permitiendo las probabilidades de extinción de todas las razas. La contribución marginal a la diversidad de cada raza,  $m_i$ , también se puede calcular como la diferencia entre la  $D_F$  (incluyendo esa raza en el conjunto de razas con su probabilidad de extinción igual a  $m_i$ ) y la  $D_F$  si la probabilidad de extinción  $z_i = 1.0$  (por ejemplo, si se extingue la raza definitivamente). La contribución marginal de determinada raza no está relacionada con su propia probabilidad de extinguirse, pero sí con la probabilidad de extinción de las razas estrechamente relacionadas. El punto a resaltar es que las razas que están más amenazadas, generalmente no son las razas que se espera tengan la mayor contribución marginal a la diversidad. Esto quiere decir que los recursos para la conservación raramente se destinarán a las razas más amenazadas.

Se han propuesto métodos para predecir la probabilidad de extinción (Reist-Martí et al. 2003), pero aún se necesita investigar más en esos métodos. Se pueden desarrollar métodos para optimizar la asignación de recursos finitos para los esfuerzos de conservación pero esto exige definir las relaciones entre la probabilidad de extinción y el gasto de recursos de conservación para determinada raza, lo cual debería ser posible aunque no se ha intentado aún de manera sistemática. Simianer (2002) ilustró la optimización en el uso de recursos de conservación en razas de ganado bovino africano, con base en relaciones hipotéticas entre la asignación de recursos y el cambio en la probabilidad de extinción. En este ejemplo,

la asignación óptima de recursos resultó en un aumento en la diversidad futura de aproximadamente un 60% más que si se hubieran asignado los recursos por igual a todas las razas o sólo a las más amenazadas. Este último enfoque es el que normalmente se usa en los esfuerzos de conservación e ilustra que el desarrollo y la aplicación de enfoques óptimos para la asignación de recursos podrían tener profundos impactos en la efectividad de los programas de conservación.

Retomando el tema de la determinación apropiada de la diversidad, se debería maximizar en un programa de conservación, Barker et al. (2001) compararon el uso de diferentes medidas de diversidad en un conjunto de razas de cabras africanas y demostraron que, esencialmente, no había correlación entre las contribuciones a la diversidad de razas aisladas cuando la meta era maximizar la variación total (dentro y entre razas), determinada con la medida estadística D de Weitzman. Aunque en este documento hemos adoptado una posición evidente sobre qué medida nos parece más relevante para los objetivos de la conservación, es importante que la comunidad internacional llegue a un consenso sobre este tema para asegurar el uso coherente y eficiente de los recursos destinados a la conservación.

#### Combinación de datos fenotípicos, genético moleculares y otros en la toma de decisiones

Los enfoques antes mencionados basados en medidas de diversidad anónimas se pueden extender para incluir mediciones directas útiles (como resistencia a enfermedades, resistencia al estrés, productividad), de manera que se conserve una máxima combinación de diversidad y utilidad. Simianer (2002) propuso un método posible. Tales métodos requieren un desarrollo futuro pero en principio pueden manejar cualquier situación, desde no tener información sobre la utilidad, pero donde se conoce la diversidad genética molecular, hasta situaciones en las que se tiene información completa sobre la utilidad y donde los datos de diversidad genética molecular no tendrían ningún peso en la optimización.

Si se quieren sacar conclusiones óptimas en estos procesos de toma de decisiones, hay que hacer un trabajo de computación intensivo cuando se analizan varias razas, lo cual limita su posible aplicación a problemas grandes y su uso como herramienta de fácil acceso. Los algoritmos genéticos proporcionan una solución interactiva basada en los principios de la evolución, los cuales pueden resolver rápidamente estos problemas de optimización tan complejos. Esto fue ilustrado por Piyasatian y Kinghorn

(2003) en un problema para maximizar la combinación de la varianza genética entre razas y dentro de ellas, en el cual el usuario define el peso ponderado que se le asignará a la varianza genética entre razas y dentro de ellas. Tales métodos se pueden desarrollar para generar interfaces en las cuales los usuarios puedan variar diversos parámetros de entrada y explorar en tiempo real las consecuencias de varios escenarios de conservación. También se podrían adaptar los métodos para permitir modelos más sofisticados del impacto de las decisiones de conservación (como la inclusión de predicciones de las tasas de endogamia y por ende de la pérdida de diversidad genética dentro de las razas, y a través de ella, la pérdida del potencial de mejoramiento genético en el futuro). Estos métodos anuncian una nueva generación de herramientas que le permitirán a los investigadores y a los entes decisorios explorar las consecuencias de un rango amplio de escenarios alternativos de conservación y uso de los recursos genéticos pecuarios. Dichas herramientas se pueden suministrar junto con las bases de datos y los sistemas de información de recursos genéticos pecuarios disponibles en internet, o como herramientas independientes que se puedan correr en un ordenador estándar. Estas herramientas se podrían adaptar fácilmente para que se puedan aplicar a la toma de decisiones sobre conservación de otras especies agrícolas y no agrícolas.

## Nota

1. Estas cifras vienen de la Lista Mundial de Alerta para la Diversidad de Animales Domésticos, compilada a partir de informes del estado de los recursos genéticos pecuarios presentados por los representantes oficiales de cada país a las bases de datos oficiales de la FAO. Una crítica a esta manera de documentar la diversidad genética pecuaria es que cada país tiene el derecho soberano de identificar como un recurso genético único cualquier recurso genético existente en su territorio. Muchos países, por ejemplo, identifican la raza de cerdos Landrace como un recurso genético nacional, y entonces la contabilizan como una raza independiente en cada país. En la mayoría de los países hay muy pocos cerdos Landrace y por tanto los clasifican como ligeramente amenazados, aunque la población global de los Landrace continúa siendo inmensa y no está amenazada. Este problema se origina casi exclusivamente de los informes provenientes de los países en desarrollo. En cambio, la mayoría de los observadores en el campo piensan que la situación en el mundo en desarrollo es la contraria. En los países en desarrollo, muchos recursos genéticos pecuarios aún no han sido reportados, la amenaza en estos países a los recursos genéticos es mucho mayor que la que se reporta y, además, está en aumento. El aumento de los cruces y los cambios en las prácticas agrícolas están agudizando las amenazas a los recursos genéticos pecuarios en el mundo en desarrollo. Se presenta, por tanto, una situación poco afortunada en la cual muchos observadores están escépticos con respecto a las amenazas de los recursos genéticos pecuarios debido a los prejuicios generados por los informes presentados en

los países en desarrollo, mientras que otros observadores consideran que las amenazas a los recursos genéticos importantes son mucho mayores que lo que indican los informes actuales. Documentar, de manera acertada y extensiva, el estado y las tendencias de los recursos genéticos pecuarios en los países en desarrollo es una necesidad urgente.

2. Al 1 de mayo de 2006, 188 países eran Partes en el CDB, y 168 de ellos habían suscrito el Convenio ([www.biodiv.org](http://www.biodiv.org)).

## Referencias

- Avise, J. C. 1994. *Molecular Markers, Natural History and Evolution*. New York: Chapman & Hall.
- Ayalew, R., J. E. O. Rege, E. Getahun, M. Tibbo y Y. Mamo. 2003. Delivering systematic information on indigenous animal genetic resources: The development and prospects of dagris. Proc. Deutsche Tropentag 2003: Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development, Octubre 8-10, 2003. Goettingen, Alemania.
- Baker, C. M. A. y C. Manwell. 1980. Chemical classification of cattle. I. Breed groups. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics* 11:127-150.
- Barker, J. S. F., S. G. Tan, S. S. Moore, T. K. Mukherjee, J. L. Matheson y O. S. Silveraj. 2001. Genetic variation within and relationships among populations of Asian goats (*Capra hircus*). *Journal of Animal Breeding and Genetics* 118:213-233.
- Bruford, M. W., D. G. Bradley y G. Luikart. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Reviews Genetics* 4:900-910.
- Cunningham, E. P. 1992. Animal genetic resources: The perspective for developing countries. En J. O. E. Rege y M. E. Lipner, eds., *Animal Genetic Resources: Their Characterization, Conservation and Utilization*. Research Planning Workshop, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, Febrero 19-21, 1992. Addis Ababa, Etiopía: ILCA.
- DAGRIS. 2003. *Domestic Animal Genetic Resources Information System (DAGRIS)*. Version 1. J. E. O. Rege, W. Ayalew y E. Getahun, eds. Addis Ababa, Etiopía: ILRI
- EAAP Animal Genetic Databank. 2003. Department of Animal Breeding and Genetics, School of Veterinary Medicine, Hanover, Alemania. [www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm](http://www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm).
- Eding, H., R. P. Crooijmans, M. A. Groenen y T. H. Meuwissen. 2002. Assessing the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes. *Genetics Selection Evolution* 34:613-633.
- Excoffier, L., P. E. Smouse y J. M. Quattro. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application of human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131:479-491.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1984. *Animal Genetic Resources Conservation by Management, Data Banks and Training*. Part 1. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986a. *Animal Genetic Resources Data Banks*. 1. *Computer Systems Study for Regional Data Banks*. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986b. *Animal Genetic Resources Data Banks*. 2. *Descriptor Lists for Cattle, Buffalo, Pigs, Sheep and Goats*. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986c. *Animal Genetic Resources Data Banks*. 3. *Descriptor Lists for Poultry*. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Executive Brief. Roma: FAO.
- Felius, M. 1995. *Cattle Breeds: An Encyclopedia*. Doetinchen, Países Bajos: Misset.
- Gibson, J. P. 2003. Strategies for utilising molecular marker data for livestock genetic improvement in the developing world. En memorias: *International Workshop on Marker Assisted Selection: A Fast Track to Increase Genetic Gain in Plant and Animal Breeding*, Octubre 2003. Torino, Italia.
- Goldstein, D. B. y C. Schlötterer. 1999. *Microsatellites: Evolution and Applications*. New York: Oxford University Press.
- Goldstein, D. B., A. R. Linares, L. L. Cavalli-Sforza y M. W. Feldman. 1995. An evaluation of genetic distances for use with microsatellite loci. *Genetics* 139:463-471.
- Hanotte, O., D. G. Bradley, J. W. Ochieng, Y. Verjee, E. W. Hill y J. E. O. Rege. 2002. African pastoralism: Genetic imprints of origins and migrations. *Science* 296:336-339.
- Hodges, J., ed. 1987. *Animal Genetic Resources: Strategies for Improved Use and Conservation*. En memorias: 2nd Meeting of the FAO/UNEP Expert Panel with Proceedings of the EAAP/PSAS Symposium on Small Populations of Domestic Animals. Roma: FAO.
- Hodges, J., ed. 1992. *The Management of Global Animal Genetic Resources*. Proceedings of a FAO Expert Consultation. Roma: FAO.
- Jarne, P. y P. J. L. Lagoda. 1996. Microsatellites, from molecules to populations and back. *Tree* 11:424-429.
- Luikart, G., L. Gielly, L. Excoffier, J. D. Vigne, J. Bouvet y P. Taberlet. 2001. Multiple maternal origins and weak phylogeographic structure in domestic goats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 98:5927-5932.

- Manwell, C. y C. M. A. Baker. 1980. Chemical classification of cattle. 2. Phylogenetic tree and specific status of the Zebu. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics* 11:151-162.
- Mason, I. L. 1988. *A World Dictionary of Livestock Breeds, Types and Varieties*. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Mburu, D. N., J. W. Ochieng, S. G. Kuria, H. Jianlin, B. Kaufmann, J. E. O. Rege y O. Hanotte. 2003. Genetic diversity and relationships of indigenous Kenyan camel (*Camelus dromedarius*) populations: Implications for their classification. *Animal Genetics* 34:26-32.
- Nei, M. 1972. Genetic distance between populations. *The American Naturalist* 106:283-292.
- Nei, M., F. Tajima y Y. Tatenno. 1983. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. II. Gene frequency data. *Journal of Molecular Evolution* 19:153-170.
- Nijman, I. J., M. Otsen, E. L. Verkaar, C. de Ruijter, E. Hanekamp, J. W. Ochieng, S. Shamshad, J. E. O. Rege, O. Hanotte, M. W. Barwegen, T. Sulawati y J. A. Lenstra. 2003. Hybridization of banteng (*Bos javanicus*) and zebu (*Bos indicus*) revealed by mitochondrial DNA, satellite DNA, AFLP and microsatellites. *Heredity* 90:10-16.
- Piyasatian, N. y B. P. Kinghorn. 2003. Balancing genetic diversity, genetic merit and population viability in conservation programmes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120:1-13.
- Pritchard, J. K., M. Stephens y P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155:945-959.
- Rege, J. E. O. 1992. Background to ILCA's AGR characterisation project, project objectives and agenda for the research planning workshop. En J. E. O. Rege y M. E. Lipner, eds., *African Animal Genetic Resources: Their Characterisation, Conservation and Utilisation*, 55-59. Addis Ababa, Etiopía: ILCA.
- Reist- Marti, S. B., D. Wakelin, H. Simianer, J. Gibson, O. Hanotte y J. E. O. Rege. 2003. Weitzman's approach and livestock conservation: An application to African cattle breeds. *Journal of Conservation Biology* 17:1299-1311.
- Roughsedge, T., R. Thompson, B. Villanueva y G. Simm. 2001. Synthesis of direct and maternal genetic components of economically important traits from beef breed-cross evaluations. *Journal of Animal Science* 79:2307-2319.
- Saitou, N. y M. Nei. 1987. The neighbor- joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution* 4:406-425.
- Scherf, B., ed. 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed., Part 1.9, 20, [dad.fao.org/en/Home.htm](http://dad.fao.org/en/Home.htm), databases. Roma: FAO/UNDP.
- Schlötterer, C. y D. Tautz. 1992. Slippage synthesis of simple sequence DNA. *Nucleic Acids Research* 20:211-215.
- Simianer, H. 2002. Noah's dilemma: Which breeds to take aboard the ark? En 7th

- World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 8. Montpellier, Francia: INRA/CIRAD.
- Simianer, H., S. B. Marti, J. Gibson, O. Hanotte y J. E. O. Rege. 2003. An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics* Special Issue on anGR 45:377-392.
- Sunnucks, P. 2001. Efficient genetic markers for population biology. *Tree* 15:199-203.
- Swaminathan, M. S. 1992. Biological diversity and global food security. En R. R. Lokeshwar, ed., *V International Conference on Goats. Pre-Conference Proceedings. Plenary Papers and Invited Lectures*, 1-5. New Delhi: International Goat Association y Indian Society of Sheep and Goat Production and Utilization.
- Takezaki, N. y M. Nei. 1996. Genetic distances and reconstruction of phylogenetic trees from microsatellite DNA. *Genetics* 144:389-399.
- Thaon d'Aroldi, C., J. L. Foulley y L. Ollivier. 1998. An overview of the Weitzman approach to diversity. *Genetics Selection Evolution* 30:149-161.
- Toro, M., L. Silió, J. Rodríguez y C. Rodríguez. 1998. The use of molecular markers in conservation programmes of live animals. *Genetics Selection Evolution* 30:585-600.
- Weir, B. S. y C. J. Basten. 1990. Sampling strategies for distances between DNA sequences. *Biometrics* 46:551-582.
- Weitzman, M. L. 1993. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *Quarterly Journal of Economics* 108:157-183.
- Weitzman, M. L. 1998. The Noah's ark problem. *Econometrica* 66:1279-1298.

## 6 Manejo de los recursos genéticos de animales en fincas: Cambio e Interacción

---

I. HOFFMANN

Las razas de las especies de animales domesticadas son la base biológica para el desarrollo del sector ganadero por su contribución a la seguridad alimentaria y al desarrollo rural sostenible. Sólo 14 de aproximadamente 30 especies de mamíferos y aves domesticadas aportan el 90% del alimento humano de origen animal, y sin embargo se sabe muy poco del valor de gran parte de los recursos genéticos de animales. Durante el Siglo XX el desarrollo se concentró en un pequeño número de razas a nivel mundial, muchas veces sin la debida consideración a los efectos que el ambiente local de producción pudiera tener en la capacidad de esa raza para sobrevivir, reproducirse y producir. El manejo de este capital biológico ha sido descuidado, resultando en una erosión sustancial, la cual probablemente se acelerará con el incremento mundial de la demanda de productos pecuarios, denominado Revolución Pecuaria.

El uso y el desarrollo de las razas pecuarias, al igual que la conservación de las razas valiosas pero de poco interés presente para los agricultores, se deben mejorar sustancialmente para asegurar la seguridad alimentaria futura y el desarrollo rural sostenible. El uso sostenible, el desarrollo y la conservación de las razas son elementos críticos y complementarios. En la actualidad se están desarrollando rápidamente una gama de biotecnologías moleculares y reproductivas, con importantes implicaciones en el manejo de los recursos genéticos de animales. Este capítulo examina el manejo de la diversidad de los recursos genéticos de animales y plantea tres preguntas clave (Masinde 2001):

- ¿Hasta qué punto quieren los agricultores mantener una serie de especies y razas en su sistema agropecuario? ¿Cuáles son sus razones?
- ¿Qué técnicas y estrategias usan los agricultores para mantener determinada cantidad de especies y razas?
- ¿Qué fuerzas —positivas y negativas— favorecen o entorpecen el mantenimiento de la diversidad por parte de los agricultores?

Después de presentar el panorama general de la domesticación y la distribución de las especies pecuarias, se hace una revisión de los principales sistemas de producción pecuaria, las razas y las metas de mejoramiento en estos sistemas. Se identifican las grandes fuerzas externas que afectan los recursos genéticos de animales, y se examinan las maneras en que los agricultores las confrontan. En términos generales, son pocos los estudios sobre valoración y manejo de los recursos genéticos de animales en la agricultura tradicional y a pequeña escala, pero se han iniciado algunos estudios en los últimos años. Los estudios de la diversidad en los sistemas agrícolas son aún más escasos.

## Estado de los recursos genéticos de animales

### *Domesticación y distribución de las especies*

La domesticación se inició hace unos 12,000 años y tomó dos caminos principales en cuanto al uso de los productos animales. Primero, se hizo énfasis en la selección de animales como fuente de carne, grasa y fibra, mediante la domesticación de ovejas, cabras, cerdos, reses, perros y cobayos. Segundo, después de un período de domesticación que ya había afectado el comportamiento animal, los animales se utilizaron para el transporte por su fuerza de tiro y carga. Las principales especies seleccionadas para este propósito incluyen el ganado bovino, los búfalos, los yaks, los burros, los caballos, las llamas y los camellos (Röhrs 1994). En la mayoría de los casos, los humanos tuvieron influencia en el ambiente en que vivían los animales, pero en algunos sistemas de producción, como el nomadismo, los humanos siguieron a los animales. Existen diferentes puntos de domesticación en el tiempo y el espacio (Bruford et al. 2003), como lo ilustra la Figura 6.1. Siempre ha habido cierto grado de intercambio de animales entre continentes y países, pero este intercambio aumentó durante la época del colonialismo, especialmente a partir del Siglo XIX.

Aún hoy existen conjuntos de diversidad de las razas; por ejemplo, la mayor diversidad de razas de búfalos y yaks está en Asia, mientras que la mayoría de la diversidad de caballos, gallinas y gansos está en Europa, y la diversidad de camélidos en América Latina (Recuadro 6.1).

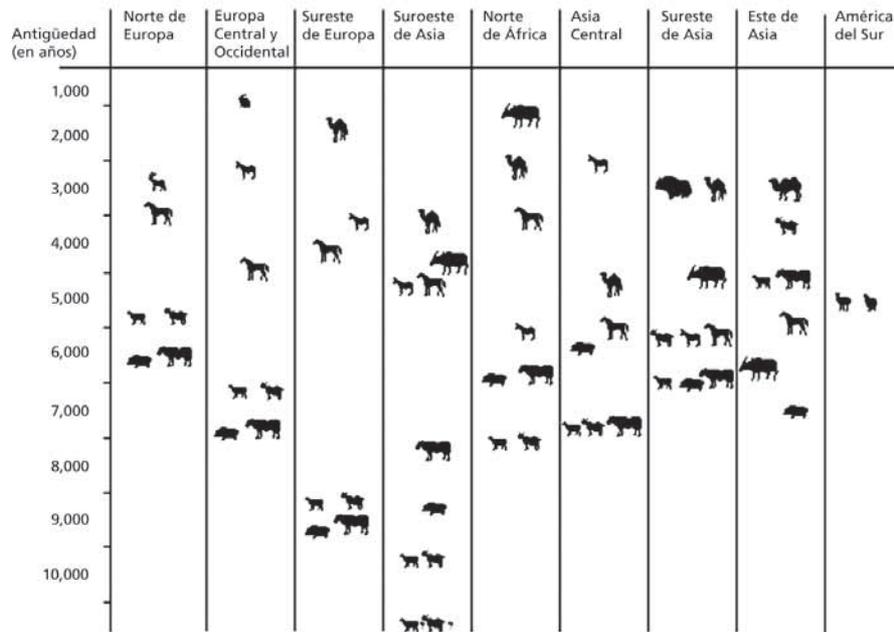


FIGURA 6.1. Lugares y épocas de domesticación y distribución de las especies de mamíferos domésticos (modificado del estudio de Röhrs 1994).

### Sistemas de producción pecuaria

En los 12,000 años transcurridos desde la domesticación de las primeras especies pecuarias, se han desarrollado miles de poblaciones de razas de animales domésticos. Esas razas han evolucionado gracias a procesos de adaptación que permiten la producción pecuaria en un amplio rango de zonas agroecológicas y sistemas de producción, bajo diferentes regímenes económicos. Las metas de producción también difieren e incluyen tanto la agricultura de subsistencia con una alta proporción de consumo doméstico, como la agricultura comercial sin ningún consumo doméstico. Los productores de subsistencia sí venden sus animales pero solamente cuando

**Cuadro 6.1** Participación proporcional de la población mundial total y cantidad de razas de las principales especies pecuarias en cada región.

	África		Asia y Oceanía		Europa		América Latina y el Caribe		Cercano Oriente		América del Norte	
	Población	Raza	Población	Raza	Población	Raza	Población	Raza	Población	Raza	Población	Raza
Búfalos	0.1	3.5	93.4	70.9	0.3	3.5	1.0	10.5	2.5	11.6	0.0	0.0
Bovinos	13.2	20.5	34.9	19.3	12.3	39.4	26.9	8.7	5.4	7.0	8.4	5.1
Yaks	0.0	0.0	n/a	69.2	n/a	7.7	0.0	0.0	n/a	23.1	n/a	0.0
Caprinos	19.4	15.6	55.4	25.6	3.7	32.8	5.8	6.0	16.2	16.5	0.2	3.5
Ovinos	12.1	11.2	38.6	17.7	17.5	47.9	8.5	3.2	23.0	15.3	0.7	4.6
Cerdos	2.8	4.4	54.7	36.9	21.5	45.8	8.2	6.0	0.1	0.4	7.8	6.4
Burros	22.2	12.4	34.3	12.4	3.5	23.7	18.8	5.2	21.3	41.2	0.1	5.2
Caballo	7.4	7.7	24.5	11.4	12.8	60.7	42.5	4.3	4.2	8.5	10.7	7.3
Camélidos	17.7*	20.6*	14.8†	22.2†	0.1†	3.2†	100.0‡	100.0‡	66.8‡	54.0‡	0.0	0.0
Pollos	5.4	7.8	45.4	17.7	14.5	64.2	16.4	5.0	7.3	3.8	13.7	1.4
Patos	0.9	11.0	91.7	45.0	8.9	36.0	2.7	6.0	1.4	2.0	1.0	n/a
Pavos	1.0	17.6	0.8	17.6	49.5	47.1	6.3	11.8	3.1	2.9	39.6	2.9
Gansos	1.4	7.6	89.8	19.7	7.0	63.6	0.2	7.6	4.8	n/a	0.1	1.5

Fuentes: FAO (1999) para las cifras de población pecuaria, y el Sistema de Información sobre Diversidad de Animales Domésticos para las cifras de número de razas, tomado de Scherf (2000).

\*Dromedarios solamente.

†Dromedarios y camellos bactrianos.

‡Camélidos del Nuevo Mundo.

§Pato doméstico y pato criollo.

están obligados a hacerlo por razones económicas, y crían sus animales principalmente para el consumo doméstico o por razones sociales, religiosas o culturales.

Las especies pecuarias actualmente contribuyen entre el 25 y el 30% del producto interno bruto de los países en desarrollo, y se espera que estos porcentajes aumenten a cerca del 50% en los próximos 20 años. Las especies pecuarias proporcionan varios servicios, como generación de ingresos, acumulación de recursos, seguridad, amortiguador contra cambios cíclicos, alimentos, ropa y otros bienes, así como tracción y reciclado de nutrientes (por ejemplo cuando se usan los subproductos de otras actividades agrícolas, como los residuos de las cosechas). Un 70% de la población rural de escasos recursos depende de la producción pecuaria como componente importante de su subsistencia. Las especies pecuarias representan una contribución mayor al ingreso y al bienestar de los pequeños agricultores en comparación con los más ricos, y especialmente al ingreso de las mujeres y, a través de ellas, al bienestar de los niños de estos hogares.

Los principales factores utilizados comúnmente para clasificar los sistemas de producción pecuaria (SPP) son la zona agroecológica, la movilidad, la integración en la finca, la tenencia de la tierra, los insumos externos requeridos para la producción, y los objetivos económicos, con base en el área de tierra requerida para la producción. Seré et al. (1996) clasificaron los sistemas de producción pecuaria en tres tipos: basados en pastizales, mixtos y sin tierras. Los ranchos o sistemas pastoriles basados en pastos generalmente son sistemas pecuarios puros, en los cuales el ganado constituye la única fuente de ingresos para 20 millones de familias dedicadas al pastoreo en el mundo (Steinfeld et al. 1997). En términos de producción total, los sistemas de pastoreo aportan sólo el 9% de la producción mundial de carne. La mayoría del ganado es criado en sistemas agrícolas mixtos. A nivel mundial, los sistemas agrícolas mixtos producen la mayor cantidad de carne (54%) y leche (90%), y la agricultura mixta es el principal sistema de los pequeños agricultores en muchos países en desarrollo. Los sistemas sin tierra proporcionan más del 50% de la producción mundial de carne de cerdo y pollo, y el 10% de la producción de carne bovina y ovina. Dependen de fuentes externas para sus concentrados, energía y otros insumos.

### *Razas y Mejoramiento Genético*

Los recursos genéticos de animales se agrupan, según su origen, como locales y tradicionales o como exóticos y modernos; dependiendo de su his-

toria de mejoramiento, se clasifican como nativos y adaptados localmente o para cría comercial. Las razas comerciales se derivan frecuentemente de los programas científicos de mejoramiento, que se basan en los registros de identificación y desempeño de cada animal (consultar las definiciones de mejoramiento en el Glosario para la Alimentación y la Agricultura de la FAO).

El mejoramiento genético de las razas pecuarias se inicia con el control de la reproducción, el cual se dificulta en ambientes de producción de pastoreo libre. El mejoramiento genético es el componente más importante del uso y desarrollo de los recursos genéticos de animales. Las metas de mejoramiento de las razas locales incluyen la adaptación a ambientes rústicos, la resistencia a enfermedades y la capacidad de proveer una serie de productos y servicios, que pueden ser comerciales o no comerciales. Este tipo de recurso pecuario, multifuncional en su alcance, proporciona alimentos (carne, leche, huevos), fibra (lana, cueros, pieles), fuerza de tracción y carga, abono orgánico y combustible. En Sudáfrica, por ejemplo, algunos pequeños agricultores usan los gansos como perros de vigilancia (Bayer et al. 2003). El pastoreo del ganado bovino puede generar paisajes culturales socialmente deseables y ayudar a mantener la biodiversidad. Las sociedades indígenas tienen un profundo conocimiento de los tipos de animales machos y hembras que necesitan, y cuál es más apropiado para las condiciones de su medio ambiente y de su sistema de producción.

Los griegos y los romanos manejaban bastante bien el mejoramiento genético, como se puede concluir del gran tamaño de los huesos de los esqueletos encontrados. Sin embargo, este conocimiento y práctica desaparecieron en Europa en la Edad Media, donde el ganado bovino de entonces era de porte pequeño. Los cebadores de caballos árabes fueron los primeros en aplicar pedigríes a la selección durante la Edad Media, y este conocimiento luego tuvo su influencia en el mejoramiento llevado a cabo en Europa. El mejoramiento genético moderno tuvo sus inicios en el siglo XVIII, especialmente en Gran Bretaña, y surgieron una multitud de razas, frecuentemente adaptadas a ambiente locales muy específicos. Por ejemplo, el ganado bovino y ovino seleccionado para las montañas, por ejemplo, tenía un fenotipo diferente al del ganado seleccionado para las llanuras, de la misma manera que los caballos de pura sangre eran diferentes a los caballos para el trabajo. También se desarrollaron razas a partir de ejemplares importados de otros continentes. Los cerdos locales británicos fueron cruzados con razas del sur y del este de Asia y del Mediterráneo. En aquel entonces, el mejoramiento estaba dirigido más hacia las características fenotípicas que a las relacionadas con la productividad, y las razas

frecuentemente eran multipropósito, como el ganado bovino usado por su leche, carne y fuerza de tracción. Las razas modernas y especializadas se desarrollaron a partir de estas razas nativas desde la década de los 50, para dar mejores rendimientos de uno o dos de sus principales caracteres productivos como leche, carne, huevos o fibra. Las razas actuales han sido seleccionadas durante al menos 20 generaciones en un sistema de cría pura. Estas actividades modernas de cría incluyen el apareo controlado, la identificación, el registro de cada animal, la evaluación de la progenie y del desempeño para encontrar los progenitores superiores (especialmente del lado del macho, por su mayor capacidad reproductiva), así como el procesamiento sofisticado de los datos.

Hoy día, en los países desarrollados (y cada vez más en los países en desarrollo), la mayoría de los recursos pecuarios se mantiene en condiciones controladas, prácticamente aislados del entorno. Incluso los ingredientes de los concentrados no se producen localmente porque los concentrados se consiguen fácilmente en los mercados internacionales. Este desajuste con el medio ambiente es más pronunciado en los sistemas de producción pecuaria con aves de corral y cerdos mantenidos en condiciones intensivas, pero también puede ser importante para el ganado lechero y de carne que se mantiene en corrales. Una consecuencia de la uniformidad en las condiciones ambientales es que se necesitan menos razas, reduciendo así la diversidad pecuaria (Tisdell 2003).

Las metas de mejoramiento incluyen el rendimiento alto de algunas características (carne, leche, huevos), y más recientemente, se ha incluido una mejor salud y estabilidad metabólica (como estructura ósea, integridad de los órganos vitales en aves de corral) del animal, su comportamiento y la calidad del producto. Estas características se han incorporado a los esquemas de mejoramiento para atender los problemas ambientales creados por la cría intensiva de animales de corral, aumentando la conciencia y preocupación de los consumidores y los movimientos por el bienestar de los animales en los países desarrollados. En los Estados Unidos, los consumidores están cada vez más interesados en huevos de campo y pollos criados bajo pastoreo o en galpones (no enjaulados). Los factores externos (como el manejo de desperdicios) y la presión de grupos de interés (como los del bienestar del animal) pueden encarecer los costos de mejoramiento en tanto hacen necesaria la adaptación a escenarios no previstos, quizás por la inclusión de los rasgos de aptitud en los programas de selección. En los sistemas de altos insumos se deben considerar la posible competencia por alimentos con los seres humanos y los altos niveles de contaminación de nitrógeno y fósforo resultantes de la cría de aves de corral y de cerdos.

A las compañías e instituciones dedicadas al mejoramiento de especies monogástricas se les exige cada vez más alcanzar mejoras en el índice de conversión de concentrados, por razones éticas, ambientales y económicas. El índice de conversión del concentrado para la producción de huevos y carne en la industria avícola se redujo de 4.0:1 en 1950 a 2.0:1 en 2000 (Flock y Preisinger 2002) y para la producción comercial de cerdos se encuentra actualmente en 2.5:1.

Muchos pequeños agricultores crían e intercambian las razas locales, mientras que las razas comerciales tienden a estar asociadas con escalas mayores de producción y de concentración en el sector. Esta concentración es independiente del carácter legal de la empresa (cooperativas o compañías). Las cooperativas de agricultores pueden lograr el 100% de participación en algunos mercados de razas, mientras que las compañías de mejoramiento lo logran en otros mercados (Preisinger 2004). La concentración en la industria animal depende de la tasa reproductiva, costos de portabilidad y transporte de los productos para el mejoramiento y sus costos asociados. La tasa reproductiva más alta se encuentra en las aves de corral, seguida por los cerdos (alta tasa reproductiva en las hembras) y el ganado bovino (alta tasa reproductiva en los machos), y es mucho más baja para los rumiantes pequeños. La facilidad de usar la biotecnología reproductiva es mayor en el ganado vacuno (ultracongelación de semen y embriones) y menor para los cerdos (el cruzamiento comercial generalmente usa semen fresco) y las aves de corral. No se usa extensivamente la inseminación artificial en rumiantes pequeños y caballos, en los que predomina el apareamiento natural. Debido a que la tasa reproductiva es la más alta en las aves de corral (los huevos y pollitos de un día de nacidos son fáciles de transportar), la mayor consolidación se presenta en la industria avícola. Hace 50 años había muchos criadores primarios en los países occidentales. A principios de la década de los 80, había 20 compañías de cría en todo el mundo. Hoy en día, el mercado internacional de pollos está dominado por tres grupos de criadores de gallinas ponedoras y cuatro grandes compañías de criadores de pollos de engorde (Flock y Preisinger 2002). Se espera que la industria porcina siga una tendencia similar.

Desde la perspectiva institucional, la crianza moderna está muy organizada y se basa en los registros genealógicos de animales, con registros de pedigrís que apoyan las metas de mejorar el fenotipo y el desempeño de la organización de mejoradores. Estas organizaciones pueden ser asociaciones de mejoradores o empresas privadas de mejoramiento. En el dominio público se puede encontrar mucha información sobre estas organizaciones y sus programas (como en los sitios web -de Internet- sobre

### Recuadro 6.1 Razas y variabilidad genética en aves de corral

El origen de todas las aves de corral parece ser el gallo rojo de la selva del sur de Asia (Hillel et al. 2003). Las razas avícolas de los países en desarrollo por lo general no son descriptivas, y aparte de la raza Fayoumi, que fue desarrollada en Egipto (Hossary y Galal 1995), parece no haber ningún registro de una raza tropical adaptada que fuese descendiente de los pollos nativos de África. La estructura genética de la raza Fayoumi es diferente a la de otros pollos, y estas aves son mucho más resistente a las enfermedades virales que los pollos de Estados Unidos (“Egyptian chicken plan” 1997).

Es posible encontrar una alta variabilidad genética (entendida como alto polimorfismo) en las razas con gran tamaño de poblaciones y rebaños, y endogamia limitada. Las razas puras fueron desarrolladas a partir de poblaciones locales genéticamente diferentes; estas razas diferían en muchas características fenotípicas, como el color y el patrón del plumaje, y el tipo de cresta. El tamaño efectivo de la población de estas razas puede decrecer en un período corto si se hace una selección intensiva de características para exhibición, lo cual ocurre con las razas exóticas. La endogamia, la deriva genética y los cuellos de botella pueden exacerbar la situación, poniendo en riesgo la raza. Los datos sobre razas de pollos son escasos en el Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos guardados en la FAO (DAD-IS), a pesar de que esto ha ido mejorando con los años (Scherf 2000; Weigend y Romanov 2002). En la base de datos DAD-IS se han registrado los datos de 14 especies avícolas y de 1040 razas que representan sólo el 16% de todas las razas registradas. De los datos sobre recursos genéticos avícolas proporcionados por los países a DAD-IS, es evidente que las razas registradas en Europa y América del Norte son las más amenazadas de extinción, mientras que no se han reportado suficientes datos para las otras regiones. Aproximadamente el 50% de las razas de pollos registradas en DAD-IS están clasificadas bajo riesgo de extinción, siendo éste el porcentaje más alto de razas en riesgo de todas las especies incluidas en DAD-IS. Las líneas comerciales de pollos no están incluidas en DAD-IS, ni tampoco las mantenidas en reserva por las compañías o las universidades dedicadas a su mejoramiento genético.

Los productores comerciales de aves de corral venden varios productos, la mayoría de los cuales son el resultado de cruces de tres o cuatro líneas puras. Para que esto suceda, las líneas de los abuelos (paternos y maternos) se deben desarrollar continuamente y las líneas de reserva también se mantienen. Los productores comerciales tienen bajos niveles de endogamia y tratan de mantener una alta variabilidad genética (Flock y Preisinger 2002). Desde el punto de vista de la variabilidad genética, las razas comerciales cubren un amplio rango de la diversidad genética de las aves de corral, que también se puede encontrar en las razas exóticas. Sin embargo, en años recientes, los productores comerciales de ponedoras de huevos blancos han estado preocupados por la disminución de la variabilidad genética y la respuesta futura a la selección, puesto que las ponedoras de huevos blancos se originaron de una sola raza, la Leghorn blanca de cresta sencilla. La base genética de las ponedoras de huevos rosados (o broilers) ha sido un poco más amplia, proveniente principalmente de cuatro razas. La fusión de las compañías productoras en años recientes y la eliminación

*Recuadro 6.1, continuación*

de las líneas de reserva por razones económicas han aumentado la necesidad de conservar mayor diversidad genética entre razas y líneas (Hillel et al. 2003).

asociaciones de mejoradores). Estas organizaciones generalmente producen una sola raza, buscan mejorar o conservar sólo una o dos características de producción y no tratan de aumentar o mantener la biodiversidad de los recursos genéticos de animales pero sí buscan mantener suficiente variabilidad genética dentro de una población (Recuadro 6.1). Entre el ganado Holstein-Friesian, por ejemplo, el uso de tecnologías reproductivas altamente eficientes y el uso intensivo de algunos parentales han resultado en poblaciones mundiales de millones de cabezas, pero con un tamaño de población efectiva inferior a 100.

Las razas expresan la diversidad genética animal utilizada por los seres humanos y se definen como unidades culturales y no técnicas (ver el Glosario de Definiciones de la FAO). La diversidad genética, en el sentido de la variabilidad genética, se puede describir como las distancias genéticas medidas mediante métodos de genética molecular, como los marcadores microsatelitales. Entre más distantes estén las razas en el árbol filogenético, mayor será su diferenciación genética. De ahí que se pueda encontrar una variabilidad genética alta entre razas con grandes tamaños de poblaciones y rebaños, y baja endogamia.

La diversidad genética medida a nivel molecular no siempre corresponde con la diversidad fenotípica de la raza porque la larga historia de intercambio, mejoramiento y cruzamientos entre razas puras ha generado genotipos similares con diferentes fenotipos o genotipos diferentes con fenotipos similares. Un ejemplo de un genotipo similar en un fenotipo diferente es la raza de ganado indígena de Namibia, conocida como Sanga y encontrada en el norte y el nordeste del país. Aunque se reconocen cuatro ecotipos distintos —los Ovambo, Caprivi, Kunene, y Kavango, que han evolucionado en sus distintos ambientes, genéticamente son bastante similares (Nortier et al. 2002). Algunos ejemplos de cruzamientos que intentan aumentar la variabilidad genética pero mantener el fenotipo incluyen el ganado Murnau–Werdenfelser, una raza amenazada de Alemania que ha sido cruzada con los Tarentaise; o la raza Angler antigua, que fue cruzada con la Roja Danesa. Los productores de gallinas exóticas

están más preocupados con el fenotipo, mientras que el genotipo de razas fenotípicamente diferentes puede ser muy similar. Las razas extintas se pueden volver a crear mediante cruza destinadas a reproducir un estándar fenotípico. Estas re-obtenciones motivadas por razones fenotípicas y socioculturales, pueden ser deseables en la conservación de razas antiguas, adaptadas a paisajes específicos, y pueden ser consideradas un legado agrícola y paisajístico, pero no deben confundirse con el mantenimiento de la variabilidad genética. Hay que distinguir entre estas dos posiciones de la argumentación: la raza como un concepto social con ciertas características fenotípicas y definida por los gobiernos en su calidad de custodios de la biodiversidad bajo el Convenio de Diversidad Biológica, y la variabilidad genética a nivel del genoma o del locus. Esta doble interpretación dificulta las discusiones sobre la diversidad de los recursos genéticos de animales, y sobre su caracterización y manejo.

### Manejo de los recursos genéticos de animales autóctonos

El principal enfoque de este capítulo es el manejo local o autóctono de los recursos genéticos de animales. El conocimiento tradicional es el conocimiento real de una población que refleja las experiencias locales con base en las tradiciones y que incorpora experiencias más recientes con tecnologías modernas. Por tanto, es un conocimiento dinámico, en constante cambio a través de mecanismos de creatividad e innovación, así como mediante el contacto con otros sistemas de conocimiento, sean estos locales o internacionales (Richards 1985; Warren 1991; Haverkort 1993; Rajasekaran 1993; Recuadros 6.2 y 6.3).

Desde el punto de vista social, las decisiones de los agricultores con respecto a los recursos genéticos de animales han estado influenciadas por las organizaciones e instituciones de la comunidad o que tienen acceso y manejan los recursos de los hogares y de la comunidad (Rege 2003). El acceso a los recursos naturales (tierra y agua), el tipo de tenencia y propiedad de la tierra (privada o comunal) y los asuntos propios del hogar (intereses de género) también juegan su papel en el momento de decidir qué especies y razas se mantienen. Hay acuerdo respecto al concepto de “raza” como una manifestación de la interacción entre el ambiente, los valores y los objetivos de la comunidad; por tanto, la conservación de la diversidad agrícola está vinculada a la utilización en su ambiente productivo (Rege 2003).

*¿Por qué los pastores y los agricultores mantienen especies y razas en sus sistemas agrícolas?*

Los curadores indígenas de ganado son principalmente pastores y agricultores de sistemas mixtos que tienen un profundo conocimiento de su ambiente natural. En estos sistemas, los animales se marcan con insignias de clanes o grupos de marcas que un desconocido difícilmente podría identificar. Rege (2003:27) observó que “el término raza como designación formal tiene muy poco significado por fuera de las regiones no influenciadas por la cultura occidental, y los registros de pedigrís son prácticamente inexistentes. No obstante, aún en estas circunstancias, existen linajes o ‘tipos’ que deben la continuidad de su identidad a una combinación de ‘objetivos de mejoramiento’ tradicionales y a la separación geográfica y cultural de las comunidades a las que pertenecen.”

El conocimiento de cada animal y el grado de control sobre los animales de cría depende del grado de dependencia que las sociedades o los agricultores tengan de los recursos pecuarios para su bienestar. Por tanto, el conocimiento y el control tienen a ser más extensivos en los sistemas pastoriles que en los sistemas agropecuarios. También hay muchísima diferencia de una a otra especie; es más probable que los pastores de camellos se interesen en el mejoramiento que los productores de ovinos y caprinos (Huelsebusch y Kaufmann 2002). Los animales se heredan, se reciben a cambio de servicios (como el cuidado del rebaño), como regalos de los parientes, o se compran (Hassan 2000; Gondwe y Wollny 2002; Jabbar y Diedhiou 2003).

Diversos estudios indican que los productores de razas locales utilizan una serie de criterios para juzgar el valor de un animal de cría y también para diferenciar entre hembras y machos. Estos criterios resultan de una multitud de funciones que los animales deben desempeñar. Tano et al. (2003) entrevistaron a productores pecuarios de subsistencia, agricultores mixtos y productores de carne y leche de una zona afectada por la mosca tse-tsé en Burkina Faso y encontraron que todos los agricultores prefieren el ganado bovino que no es selectivo en cuanto al tipo de pastos o a la calidad del agua que consume. En los toros, la fuerza de tracción y carga, el porte grande, la fertilidad, la resistencia a enfermedades y la ganancia de peso rápida eran considerados factores deseables. En las vacas, el desempeño reproductivo, la producción de leche, y el porte son criterios importantes, pero difieren entre sistemas de producción. Los agricultores valoran más la tracción que los pastores, quienes ponen un alto valor en la producción de leche. Los productores de sistemas agropecuarios mixtos

**Recuadro 6.2** Características preferidas por los productores agropecuarios de la raza de ganado bovino N'Dama: métodos participativos para conocer los objetivos del mejoramiento

Investigar y evaluar el conocimiento del mejoramiento de los productores de especies pecuarias y sus estrategias de selección sigue siendo un reto cuando no hay una infraestructura formal para el mejoramiento ni un sistema para llevar los registros por escrito. Este estudio buscó identificar métodos participativos apropiados que facilitarían comprender mejor el interés de los productores agropecuarios en las razas nativas de ganado bovino y su preferencia por las características funcionales y de producción que se pudieran aplicar a programas de mejoramiento de las razas y manejo de los recursos genéticos de animales.

La encuesta se llevó a cabo entre propietarios de rebaños y pastores de 27 aldeas en tres distritos de Gambia. Los tres sitios de estudio captan las diferencias en el nivel de comercialización, amenaza de la mosca tsé-tsé y patrones de propiedad del rebaño. En todos los sitios del estudio prevalece un sistema agropecuario mixto tradicional con baja utilización de insumos. El ganado bovino se usa como raza multipropósito que provee leche, carne, estiércol y tracción. Al igual que en otras zonas de África Occidental infestadas de mosca tsé-tsé, la explotación de especies de rumiantes es posible gracias a la tripanotolerancia de estas especies y a otras características de adaptación, y casi el 95% de la población ganadera de Gambia está compuesta por la raza tripanotolerante N'Dama (CIRDES/ILRI/ITC 2000). No obstante, la proximidad al clima árido de la sabana facilita la inmigración de ganado cebú tipo Gobra.

Se utilizaron diferentes técnicas de sondeo para identificar y evaluar las preferencias de los productores agropecuarios en cuanto a razas, e incluirlas en la definición de los objetivos de mejoramiento. Las discusiones de los grupos analizados en las siete aldeas se usaron para investigar los objetivos de producción de los productores agropecuarios; las estrategias del mejoramiento, incluyendo las preferencias de razas y características; y las prácticas de selección.

Las discusiones de los grupos analizados revelaron que la raza de ganado preferida es la N'Dama; en las estrategias tradicionales de mejoramiento también se considera el cruzamiento con la raza vecina Gobra. El criterio de evaluación mencionado con mayor frecuencia por los productores para los toros N'Dama fue el tamaño corporal (13.1%), seguido por la fortaleza (28.3%), la libido (10.6%) y la buena progenie (12.3%). Estos productores usan la palabra fortaleza para describir una combinación de vigor y buen estado físico. Para las vacas N'Dama, los criterios de alta prioridad fueron producción de leche (25.1%), partos anuales (24.9%) y fortaleza (16.6%). El estado de salud (que refleja la resistencia a enfermedades) es el parámetro más importante para los toros y se considera muy importante para las vacas. Las características productivas de alta prioridad son la producción de leche y la tasa reproductiva para las vacas, la talla (el tamaño) y el rendimiento de producción para los toros.

Con base en la frecuencia de los criterios y los objetivos de la producción pecuaria, se seleccionaron seis características para la calificación de la matriz (Tabla en el Recuadro 6.2). La raza N'Dama recibió la calificación más alta por su adaptación al estrés de la estación seca, por su utilidad en la tracción y por su resistencia a enfermedades. La raza Gobra recibió las más bajas calificaciones

*Recuadro 6.2, continuación*

en cuanto a resistencia a enfermedades y la más alta para la talla y el rendimiento de leche. Los resultados difirieron significativamente entre los lugares encuestados.

CUADRO EN EL RECUADRO 6.2. Calificaciones de los productores agropecuarios de razas de ganado bovino en Gambia, calificación de 1 a 5

Criterios de Evaluación	Gobra	N'Dama-Gobra	N'Dama
Tamaño	4.9	4.3	3.1
Rendimiento de leche	4.7	4.3	3.2
Intervalo entre partos	2.9	3.1	4.4
Adaptación al estrés de la estación seca	2.3	2.9	4.7
Utilidad para la tracción	2.7	3.5	4.7
Resistencia a enfermedades	1.8	2.6	4.6

Los enfoques participativos del manejo de los recursos genéticos de animales son vitales para identificar y evaluar diversos aspectos de las estrategias tradicionales de mejoramiento y para lograr que las comunidades encargadas de mantener los recursos pecuarios se involucren activamente. La matriz como herramienta de clasificación arroja datos cuantificables, y facilita el intercambio de información relevante sobre el mejoramiento entre los productores agropecuarios y los investigadores. Estos productores expresaron una marcada preferencia por la raza N'Dama por su resistencia a las enfermedades y sus características adaptativas. El tamaño corporal es un importante criterio de selección en el caso de la raza N'Dama, recibe las más altas calificaciones en Gobra y es una de las razones para el cruzamiento entre razas. Esto enfatiza la necesidad de apoyar el mejoramiento genético de la raza N'Dama en programas de pura raza si se han de mantener en el futuro su integridad genética y sus características adaptativas. No obstante, las políticas de mejoramiento deben considerar la planeación regional y el apoyo a programas de mejoramiento específicos a una localidad, lo que en áreas de alto potencial podría incluso apoyar los esfuerzos de cruzamiento entre razas que los productores agropecuarios ya están haciendo.

*Fuente:* D. Rijal, datos no publicados

### Recuadro 6.3 Valor de la raza de ganado Boran etíope en un ambiente cambiante

Este estudio ilustra los cambios en la capacidad del ganado Boran de explotar su hábitat original, causados por intervenciones de desarrollo mal concebidas y una mayor densidad de la población humana. Los datos fueron colectados en dos distritos de Etiopía que tenían una funcionalidad contrastante en cuanto al manejo tradicional de los pastos y una diferencia en el grado de interferencia externa. El distrito Web es un área de pastoreo tradicional durante la estación seca; queda ubicado en la parte central de los pastos de Borana y está asociado con uno de los nueve grupos de aljibes profundos. En el distrito de Dida Hara, utilizado antes para pastoreo durante la estación lluviosa, en la periferia de los pastizales, se construyeron pozos en los años 70 para aliviar la presión de pastoreo sobre los pastos de la estación lluviosa y para mejorar la eficiencia en el uso general de los pastos. Para evaluar las preferencias de los productores en cuanto a las razas, el estado de los recursos naturales y las estrategias de uso de la tierra de las comunidades locales, se usaron técnicas de evaluación rural participativa, entrevistas, sistemas de posicionamiento global y mapas oficiales. El peso de las vacas y los toros adultos de las razas locales se registró durante los picos en las estaciones de seca y de lluvia.

El ganado etíope Boran es el resultado de las exitosas estrategias de mejoramiento y selección de los productores en estas praderas semiáridas, en condiciones de alto riesgo. El ganado etíope Boran alguna vez fue apreciado por su alta productividad en las praderas semiáridas (Cousins y Upton 1988; Behnke y Abel 1996). Ejemplares de esta raza se exportaron para ganadería comercial a países como Kenia, Australia y México, el ganado Boran mejorado alcanzó pesos corporales de hasta 850 kg (Rege 1999). El sistema local de uso de la tierra de los productores Borana se basaba en movimientos bien planeados entre categorías funcionales de los pastos y en la división del rebaño para asegurar la disponibilidad de cantidades adecuadas de tierras de pastoreo y de agua. La escasez de agua era la variable clave que determinaba la utilidad de las pasturas, consideradas como los mejores pastos de África oriental. Diversas instituciones locales suplieron las necesidades de los rebaños con el manejo de los recursos de agua y pastos disponibles durante las épocas de abundancia y de escasez. Posteriormente, la construcción de los pozos en Dida Hara habilitó el área para el pastoreo permanente y el asentamiento sin control, reduciendo la movilidad de los rebaños y generando el sobrepastoreo de los pastos antes usadas sólo de manera cíclica. Al mismo tiempo, la imposición desde arriba de una administración formal ha contribuido a la destrucción de las instituciones locales que manejaban los pastos. Además, la demarcación de nuevas fronteras político administrativas —parte del reciente programa de regionalización del gobierno etíope, incluyendo la alineación de una tercera parte de las praderas Borana y de importantes aljibes a favor del Estado Regional de Somalia— ha intensificado los conflictos entre las comunidades indígenas somalíes y los Borana. Se estima que la tasa de crecimiento anual de la población humana es de 2.5–3%; esta situación ejerce presión sobre los pastos y ha reducido la disponibilidad percapita de estos recursos. El resultado es el deterioro progresivo de los recursos de los pastos, reflejado por ejemplo en la desaparición de las especies

Recuadro 6.3, continuación

preferidas y la invasión de especies leñosas de ramoneo, no deseadas (Coppock 1994; Kamara 2001; Homann et al. 2004).

Los cambios en los pastizales de Borana han amenazado el mantenimiento del ganado Boran etíope (*Qorti*) del tipo genuino y han favorecido a los tipos más pequeños y rústicos (*Ayuna*). En condiciones favorables de las áreas de pastoreo, los pastores prefieren el ganado tipo *Qorti*, de porte grande. Las características apreciadas en el ganado *Qorti* son la alta fertilidad, el buen crecimiento y la producción de leche. Sin embargo, en comparación con el *Ayuna*, los pastores opinaron que el *Qorti* presentó menos tolerancia a la sequía y a los parásitos externos, y mala adaptación a la escasez de recursos forrajeros. El tipo *Ayuna* proviene de la introgresión genética del ganado de montañas. Fue descrito como menos alto, más pequeño, pero más rústico y capaz de adaptarse a las condiciones de la pradera degradada. Se le calificó en general como peor que el *Qorti* en cuanto a fertilidad, y producción de carne y leche. Las mediciones de los pesos corporales promedio mostraron que el *Qorti* adulto es significativamente más pesado que el *Ayuna*, pero el *Ayuna* ganó más peso durante la estación lluviosa.

La distribución geográfica de los dos tipos de ganado reflejó la adaptación de las preferencias de mejoramiento de los pastores al ambiente en proceso de degradación. Se identificó el distrito Web como el hábitat más favorable en el que se pueden mantener el *Qorti*, y la frecuencia de aparición del *Qorti* fue significativamente más alta en Web que en Dida Hara. En Dida Hara, donde la interferencia externa fue alta, la carga animal había crecido rápidamente, la heterogeneidad socioeconómica era pronunciada y durante la sequía de 1999-2001 experimentó la mayor pérdida de ganado en toda la zona Borana. Actualmente, debido al agotamiento rápido de los pastos, sólo una minoría de los productores ricos cuenta con los recursos para adquirir toros *Qorti*, bien sea en el mercado o en el rancho de mejoramiento del gobierno.

En medio de este desarrollo, la capacidad de la raza original Boran etíope de explotar este hábitat ha disminuido. Los pastores reconocieron que la estructura grande del *Qorti* estaba en peligro de desaparecer gradualmente de los pastizales de Borana. La encuesta mostró que el tipo *Qorti* no era considerado competitivo cuando los recursos para el pastoreo eran escasos. La mayoría de los hogares mantenían ganado sólo del tipo *Ayuna* o sólo una pequeña proporción del tipo *Qorti* con un bajo nivel de rendimiento. La escasez de pastos, el aumento en la incidencia de las sequías y el alarmante empobrecimiento de la mayoría de la población se identificaron como las principales causas de la erosión genética. Cualquier intento de conservar el verdadero ganado Boran etíope requeriría mejoras en la cantidad y calidad de recursos de pastoreo disponibles para los productores.

Una multitud de factores interconectados ha dificultado más el control de los recursos naturales. Las comunidades de pastores indicaron que su bienestar inició el declive en la década de los años 70, cuando empezaron las intervenciones progresivas desde el exterior. Siendo conscientes de la degradación de

El Recuadro 6.3, continúa en la página siguiente

*Recuadro 6.3, continuación*

sus praderas y de la disminución de su capital social, estos pastores seguían pensando que las estrategias tradicionales de producción son indispensables para el buen manejo de la pradera, pero también enfatizaron la necesidad de contar con servicios subsidiados a través de una administración formal. Se deben crear estructuras genuinas para la negociación permanente, incluyendo la mediación del conflicto y el arbitraje entre los diferentes grupos interesados. El mantenimiento a largo plazo de unidades de negociación entre los interesados en el uso de los recursos naturales podría asegurar el acceso compartido a estos recursos a una escala mayor, generar estructuras cooperativas en la comunidad, promover el manejo comunitario de las relaciones con personas externas a la comunidad y mejorar la coordinación de las actividades de estas personas. Las ventajas de esta forma de negociación incluyen la facilitación de innovación adaptativa, el rechazo de las prácticas dañinas y el arbitraje de las disputas. Los peligros incluyen el abuso de poder y la desigualdad de acceso a la información, un aumento de la comercialización y de las alianzas políticas—lo cual expondría a los grupos minoritarios a una mayor manipulación.

Detrás de este enfoque institucional está la demanda de conceptos de políticas suficientemente pragmáticas, la integración de los programas de investigación y desarrollo con dimensiones socioeconómicas y ecológicas, y las medidas que permitan que los diferentes grupos de interés lleguen a acuerdos sobre regímenes y roles de tenencia claramente asignados. El éxito depende en gran parte de asuntos políticos más que técnicos, y en gran parte depende de la voluntad de los actores de compartir la información y colaborar en el fortalecimiento de las capacidades de la comunidad (Grell y Kirk 2000; Thebaud y Batterbury 2001).

*Fuente:* Homann et al. (2004).

están más interesados en la tracción animal y menos en la producción de carne y leche, y por tanto, se preocupan menos por el desempeño reproductivo. Para los pastores, una baja tasa de reproducción es muy preocupante debido a su impacto en el tamaño del rebaño y en la capacidad productiva, y la producción de carne y leche generalmente son importantes. Al igual que con los toros, se prefieren las vacas de buen tamaño pues esta característica tiene un impacto positivo en el valor comercial de los animales (Tano et al. 2003) (ver Recuadro 6.2).

Un estudio de caso del noroeste de Nigeria (Hoffmann 2003; Recuadro 6.4) demuestra que la distribución de las razas en el paisaje varía espacial y estacionalmente y que diferentes grupos de productores mantienen diferentes razas como fuentes de bienes y servicios adecuados para su nicho ecológico y su sistema de producción.

En los países en desarrollo no se han llevado registros sistemáticos del rendimiento, la adaptación y la resistencia a las enfermedades de la mayoría de las razas, y muy poca de la información existente es fácilmente accesible. La mayoría de la diversidad genética pecuaria se encuentra en el mundo en desarrollo, donde hay más carencia de documentación y donde el riesgo de extinción es mayor y va en aumento.

El valor de las razas pecuarias nativas se subestima cuando sólo se tiene en cuenta la producción comercial, y se desatiende la sostenibilidad de multitud de funciones y rendimientos. La adaptación a condiciones de producción desfavorables es un atributo único de muchas razas nativas, pero es difícil de registrar en condiciones de campo. Debido a la falta de identificación y evaluación de rendimiento de los animales, resulta difícil valorar cuantitativamente las razas locales en ambientes tradicionales. Diversos grupos han hecho valoraciones cualitativas recientemente, con base en la evaluación participativa de prioridades y preferencias de los productores de especies pecuarias y sus comunidades, especialmente en sistemas pecuarios tradicionales o tradicionales modificados. Este avance metodológico queda demostrado en “Valuing AnGR” (valorando los recursos genéticos de animales), una edición especial de la revista *Ecological Economics* (2003)). Además de los métodos participativos, se han encontrado diversas herramientas económicas útiles en la evaluación de los recursos genéticos de animales, como el análisis conjunto (Tano et al. 2003) y los modelos de mejores precios, que evalúan las preferencias de los consumidores en cuando a determinadas características y razas en los mercados pecuarios (Mohammed 2000 sobre los mercados de camellos; Jabbar y Diedhiou 2003 sobre ganado bovino). El interés cada vez mayor en las razas locales y en el manejo comunitario de los recursos genéticos de animales también se ve reflejado en la literatura (Köhler- Rollefson 2000; Mhlanga 2002).

#### *¿Cómo mantienen las razas los productores de ganado y los agricultores?*

Las estrategias para controlar el mejoramiento de los recursos pecuarios en las sociedades pastoriles de todo el mundo son muy variables (Blench 2001). La castración de los machos no es aceptable en algunas sociedades, y la separación de los sexos es difícil de manejar en los sistemas atendidos por productores o de libre pastoreo (Recuadro 6.5). Algunos productores mantienen rebaños tan grandes que pueden seleccionar parentales para las cruces de mejoramiento dentro del rebaño y frecuentemente favorecen algunas razas (Köhler-Rollefson 2003); otros productores son más hábiles

**Recuadro 6.4** Manejo de la biodiversidad en sistemas pastoriles y agropastoriles de África Occidental: Un estudio de caso en el noroeste de Nigeria

El ganado bovino es la base del bienestar de pastores y productores agropecuarios en el norte de África Occidental. Se utiliza como fuente de leche, estiércol y carne; proporciona tracción, sirve como ahorro y como una póliza de seguro en caso de calamidades. La composición de los rebaños de pastoreo, especialmente del ganado, se ha analizado generalmente en términos de agrupamientos por sexo y por edad de cada rebaño (FDLPCS 1992a, 1992b; Vabi 1993). En el norte de Nigeria, es difícil obtener información sobre la cantidad de recursos pecuarios en las entrevistas, primero porque los productores se rehúsan a dar información acerca de la cantidad de animales por razones culturales y por temor a los impuestos, y segundo, porque las prácticas de manejo de riesgo en ambientes altamente variables desde el punto de vista ecológico y económico aumentan el problema de obtener datos precisos. Estas prácticas incluyen el intercambio de animales en una red social amplia, la división de los rebaños en unidades de manejo que puedan ser llevadas lejos de la finca del propietario y el pastoreo de animales de diferentes propietarios en el mismo rebaño.

La información sobre carga animal en este estudio de caso se obtuvo a partir de conteos mensuales de animales realizados en transectos de la Reserva Zamfara en el noroeste de Nigeria (Schaefer 1998). Luego se convirtió el conteo animal en unidades de recursos pecuarios tropicales (URPT) de 250 kg de peso vivo.

Durante todo el año se encontraron en la pradera un promedio de 0.84 cabezas de ganado bovino, 0.55 de ovinos y 0.38 de caprinos, por hectárea, lo que resultó en una carga animal de 0.81 URPT/ha. Esta carga excede la recomendada. La mayor densidad de ganado se observó en agosto, con 2.3 cabezas/ha. Esto coincide con el pico de la estación lluviosa, la tasa de crecimiento vegetal y la provisión de alimento en las pasturas en términos cuantitativos y cualitativos. La disminución progresiva de la densidad animal en la pradera durante la estación seca refleja la disminución en la disponibilidad de forraje y agua, y la consecuente migración fuera de la Reserva Zamfara de los que cuidan los rebaños. Las autoridades de la aldea prohíben el acceso de los animales a las áreas de cultivo durante la estación lluviosa y por tanto no se encontraron recursos pecuarios en esa época en estas áreas. La cantidad de ganado bovino se mantiene a una tasa de 1.6 cabezas/ha de tierra cultivable entre diciembre y marzo, y disminuye rápidamente después. En contraste, la carga de los rumiantes pequeños disminuyó gradualmente de 0.3 a 0.1 animales/ha durante la estación lluviosa. La alta densidad pecuaria contribuye a la provisión de nutrientes a través del estiércol (Hoffmann et al. 2001).

Al preguntarles acerca de sus recursos pecuarios, en las diferentes encuestas, los pastores y los productores agropecuarios Fulani de la reserva dieron cifras de 69 a 75 cabezas de bovinos, de 33 a 43 de ovinos y de 34 a 36 de caprinos (Kyiogwom et al. 1994). Se observó que los Fulani asentados en el norte de Camerún tenían igual cantidad de ganado pero menor cantidad de rumiantes pequeños (Vabi 1993). Los rebaños de los Fulani son más grandes que los de los Hausa: el 77% de los productores Hausa mantiene en promedio 13 ovinos y el 75% mantiene 11 caprinos. También son propietarios de algunas cabezas de ganado bovino, principalmente machos adultos para hacer las labores de

*Recuadro 6.4, continuación*

tracción, pero sólo el 7% de los productores mantiene más de 10 cabezas de ganado bovino.

La cantidad de cabezas de ganado o de rumiantes menores observada por unidad de pastoreo no fue diferente entre las tierras agrícolas y las praderas. El número promedio de cabezas de ganado en 1264 rebaños fue de 20.2 (rango de 1 a 183). Dos tercios de los rebaños tenían menos de 20 cabezas de ganado. Aunque la observación de los rebaños no permite sacar conclusiones directas sobre el patrón de tenencia, esta cifra se puede explicar por el alto porcentaje de rebaños más pequeños en manos de productores, que mantienen unas pocas cabezas de ganado con una alta proporción de toros de trabajo (Hassan 2000; Hoffmann et al. 2001). Los productores afirmaron en las entrevistas que los rebaños grandes se dividen y el ganado bovino se agrupa por categorías: los toros, las vacas, los novillos y terneros, y se llevan a pastar por separado para atender mejor sus necesidades alimenticias y su capacidad para caminar (Schaefer 1998).

Los principales ecotipos o razas presentes en el área son los Bunaji (Fulani blancos), los Rahaji (Bororo rojo) y los Sokoto Gudali. El ganado Rahaji es una raza de doble propósito que produce carne y leche; la raza Bunaji se usa principalmente como fuente de leche y para algunas tareas de tiro y carga; y el musculoso ganado Sokoto Gudali se usa como fuente de carne y para tracción (FDLPCS 1992a).

En esta área, 734 rebaños (58%) estaban compuestos de una sola raza. Si los rebaños son bastante puros, se seleccionan los animales reproductores de cierto tipo. Esto implica que los propietarios de los recursos pecuarios tienen una buena idea de la adaptación del ganado a ambientes y propósitos específicos, y seleccionan sus toros de acuerdo con este conocimiento. La estación y la región dentro de la reserva influyeron significativamente en la distribución de estas razas (Figura en el Recuadro 6.4).

El ganado Rahaji, mejor adaptado al ambiente árido más severo, a menudo se encuentra en las áreas al norte de la reserva. La raza Rahaji es la más prestigiosa entre las de pastoreo y se adapta mejor a los ambientes áridos. Son sensibles a las enfermedades relacionadas con la humedad (Blench 1999). La raza Bunaji, la más importante en el 42% de los rebaños del norte, se encuentra principalmente en las partes central y sur de la reserva, donde es evidentemente dominante (62% y 90%, respectivamente).

El ganado más dócil es el Sokoto Gudali, seguido por el Bunaji y el Rahaji (FDLPCS 1992a). Por tanto, el Rahaji es cuidado solamente por pastores, independientemente de si trabajan la tierra o no. Los pastores y productores agropecuarios cuidan el Bunaji, mientras que son principalmente los agricultores, tanto Hausa como Fulani, los que crían el ganado Sokoto Gudali. También Vabi (1993) y Blench (1994) observaron que el ganado Rahaji y el Bunaji fueron reemplazados por el Sokoto Gudali en los rebaños de los Fulani que se habían establecido. Por tanto, la distribución de las razas bovinas revela una

*El Recuadro 6.4, continúa en la página siguiente*

Recuadro 6.4, continuación

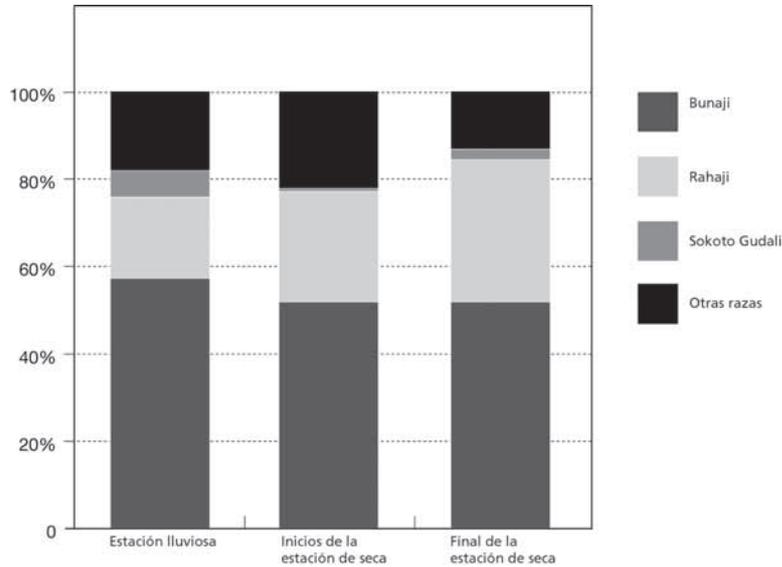


FIGURA EN EL RECUADRO 6.4. Razas de ganado bovino en la pradera de la Reserva de Zamfara, según la estación (Schaefer 1998).

selección deliberada de una raza con propósitos específicos de uso y a la luz de su adaptación a condiciones ecológicas específicas.

El estudio de caso de la Reserva Zamfara ha mostrado que los pastores han desarrollado estrategias para usar y manejar la biodiversidad. En general, se basan en el conocimiento local de los suelos, de las plantas domesticadas y silvestres, y del ganado; en las variaciones temporales y espaciales de acceso a los recursos naturales, incluyendo la movilidad y flexibilidad de los derechos de propiedad; en el intercambio de bienes y servicios dentro y entre sistemas; y en una mezcla de actividades generadoras de ingreso. Esto es típico de las tierras secas de África Occidental, donde se han mantenido tanto el ganado como los sistemas de producción agrícola aún en condiciones de regímenes variables de pluviosidad, expansión demográfica y condiciones cambiantes del mercado. Todas las estrategias se basan en una alta diversidad, flexibilidad y adaptación con vistas a mejorar ampliamente las condiciones del trato.

*Fuente:* Hoffmann (2003).

en asegurar que sus rebaños no se mezclen con otros (también por razones de control de enfermedades) que en controlar el cruzamiento dentro de sus

#### Recuadro 6.5 Castración de animales de cría

En muchos sistemas, la castración de los machos es una estrategia común entre los productores. Aunque los animales castrados se pueden engordar y generalmente se vuelven menos agresivos (y por tanto más fáciles de manejar), las decisiones incorrectas respecto a los atributos genéticos de los ejemplares no castrados o los accidentes en los machos pueden dejar un rebaño reproduciéndose a partir de animales de mala calidad. Una contra-estrategia es el uso de medios mecánicos para prevenir la reproducción; el cubrimiento de los genitales en corderos y machos cabríos es una práctica común en toda África Occidental. Probablemente la castración no se usó mucho en África subsahárica en tiempos pre-modernos debido al riesgo que implica para los machos; sin embargo, la diseminación gradual de los mejores cuidados para la salud ha hecho que la práctica de la castración se disemine como estrategia. En los Andes, parece ser que la castración es común en todas las especies. La castración también depende de que las instituciones sociales garanticen una efectiva circulación de machos; de alguna manera, tiene similitudes estructurales al efecto de las sequías y las ventiscas. Si hay muy pocos machos potentes de buena calidad, cuando un macho muere es posible recuperar sus funciones sólo tomando en préstamo otros animales fuera del hogar o de la comunidad. Esto funciona más efectivamente cuando la comunidad tiene cohesión social pero puede conducir a las comunidades a tomar sustanciales riesgos al reducir el número de machos (Blench 2001).

propios rebaños. Muchos pueblos pastoriles de África Occidental parecen indiferentes al control del cruzamiento, aún entre el ganado bovino, aunque están muy conscientes de la necesidad de introducir nuevas razas si sus rebaños se han de movilizar hacia un nicho ambientalmente diferente (Blench 1994, 1999). Los productores son los propietarios y administradores de las razas pecuarias raras y adaptadas.

En muchos sistemas pastoriles y agrícolas mixtos existen sistemas tradicionales de intercambio de animales, frecuentemente relacionados con miembros de amplias familias humanas. Se llevan registros cuidadosos de los ancestros humanos, y existe el criterio de que lo mismo se debe hacer con los animales de cría. Por tanto es frecuente que se regale un animal en un evento importante (nacimientos, matrimonios). Los pastores de Mongolia establecen una asociación clara entre la genealogía humana y la de los animales, aunque este proceso se interrumpió con la colectivización de los rebaños y la introducción parcial de prácticas científicas de mejoramiento (Blench 2001). Además del intercambio de material genético y el intercambio de animales es también una forma de “póliza de seguro” y

fortalece los lazos sociales. Existen variantes de los contratos de aparcería en los cuales quien recibe el animal tiene que compartir la progenie con el donante (Hassan 2000; Chagunda y Wollny 2002; Gondwe y Wollny 2002).

## El cambio y las amenazas a los recursos genéticos de animales

La tasa de erosión genética de los recursos genéticos de animales sigue en aumento. De las 6300 razas registradas en DAD-IS, 1350 están extintas o amenazadas de extinción. A nivel mundial, 35% de las razas de mamíferos y 52% de las razas avícolas están amenazadas o extintas. Europa tiene el porcentaje más alto de razas amenazadas o extintas (55% de las razas de mamíferos y 69% de las avícolas), mientras que los porcentajes para África y Asia están por debajo del promedio (Recuadro 6.2).

Hay una creciente preocupación de que las razas locales se puedan perder o sean eliminadas progresivamente por la hibridación introgresiva o el cruzamiento con razas exóticas. La pérdida de estas razas locales conllevaría a la correspondiente pérdida de características genéticas que, en algunos casos, se han ido logrando a través de los siglos, como la tolerancia a la tripanosomiasis en el ganado bovino, ovino y caprino; la resistencia al calor y la sequía de los caprinos de Marwari, que pueden sobrevivir con mala nutrición; o la resistencia al frío del ganado bovino de los Yakut.

Las principales amenazas a las poblaciones son las siguientes:

- Guerras, plagas y brotes de enfermedades (humanas y animales) y otros desastres naturales (como sequías, inundaciones, terremotos)
- Cambios ambientales, calentamiento global, cambios en los agroecosistemas
- Cambios sociales y económicos, urbanización, cambios e intensificación de los mercados que conduzcan a la “extinción de los agricultores” y la “extinción de los hábitats”
- Pérdida de los medios de vida tradicionales y de la diversidad cultural
- Comercialización internacional de material para el mejoramiento genético y la consecuente sustitución o absorción de una raza o variedad, el cruzamiento de razas locales con razas exóticas
- Las metas a corto plazo, el no reconocimiento del valor actual o futuro de los recursos genéticos de animales
- El mal monitoreo y manejo, la falta de programas de mejoramiento sostenibles

**Cuadro 6.2.** Estado de riesgo de las razas avícolas y de mamíferos a diciembre 1999: Cifras absolutas por región.

Estado de Riesgo	África	Asia y Pacífico	Europa	América Latina y el Caribe	Cercano Oriente	América del Norte	Total
<b>Razas de Mamíferos</b>							
Cantidad total de razas	632	1,031	2,512	304	562	289	5,330
Desconocida	205	280	265	116	278	103	1,247
Amenazada	74	99	857	43	37	69	1,179
Extinta	39	43	515	27	25	55	704
Sin riesgo	314	609	875	118	222	62	2,200
<b>Razas Avícolas</b>							
Cantidad total de razas	106	220	611	53	34	25	1,049
Desconocida	45	99	63	0	0	2	209
Amenazada	21	43	391	24	7	22	508
Extinta	0	4	32	0	0	0	36
Sin riesgo	40	74	125	29	27	1	296

*Fuente:* Sistema de Información de la Diversidad de Animales Domésticos, en Scherf (2000).

- Malas políticas de desarrollo del sector pecuario, carencia de sistemas de alerta temprana, reabastecimiento no adecuado después de desastres
- Políticas de uso de la tierra que regulan las áreas de pastoreo comunitarias, desplazan las sociedades pastoriles y llevan a la pérdida de razas de animales

### *Cambios ambientales*

Los cambios en el ambiente natural, como la expansión de las tierras agrícolas en los pastizales y los consecuentes cambios en la vegetación y el uso de la tierra, la deforestación o la caza y los cambios asociados en los hábitats de vectores de enfermedades animales, o el calentamiento global pueden afectar la ventaja relativa de las razas pecuarias e incluso la de las especies (Anderson 2004). La distribución y la productividad pecuaria se ven afectadas por los cambios en la distribución de los pastizales o de las

enfermedades pecuarias transmitidas por un vector (Tano et al. 2003; ver Recuadros 6.2, 6.3, y 6.4).

El cinturón de la mosca tsé-tsé, en donde el ganado confronta la amenaza de la tripanosomiasis, se ha movido hacia el sur debido a la presión demográfica y a la conversión de la sabana en tierras agrícolas. Por tanto, cientos de miles de kilómetros cuadrados están libres de la mosca tsé-tsé de las sabanas en la zona seca subhúmeda de África, cambiando el valor relativo de las razas bovinas, ovinas y caprinas tolerantes o no tolerantes a la tripanosomiasis. Se espera que la presión demográfica y el impacto de la actividad humana en el ambiente resulten en un mayor repliegue de la mosca tsé-tsé e igualmente en la disminución de este reservorio de vida silvestre. Puesto que el ganado Cebú generalmente es más alto, los agricultores lo prefieren en ambientes no amenazados por la mosca tsé-tsé. El conocimiento local de la presión de esta plaga condujo a una distribución espacial en el paisaje muy bien afinada de las razas tolerantes y las susceptibles a la tripanosomiasis. Jabbar y Diedhiou (2003) encontraron que los agricultores preferían la raza Fulani blanca, más grande y tipo Cebú, pero susceptible a la tripanosomiasis, sobre las razas Muturu o Keteku, más pequeñas pero tolerantes a la tripanosomiasis, aunque reconocían las ventajas de estas últimas con respecto a la resistencia a la enfermedad y a su comportamiento de pastoreo no selectivo. Rege et al. (1994) describieron el papel social y cultural único que desempeña el ganado Muturu en el sur de Nigeria. La ventaja de las razas tolerantes a la tripanosomiasis disminuye aún más en áreas de menor riesgo de la enfermedad. Por tanto, los bovinos Muturu y los Keteku han desaparecido de las zonas de sabana en el suroccidente de Nigeria y están restringidos a las zonas forestales. Sin embargo, el aumento en la resistencia a los medicamentos disponibles para la prevención y curación de la tripanosomiasis puede convertirse en un incentivo para continuar seleccionando razas tolerantes a esta enfermedad (Jabbar y Diedhiou 2003; Tano et al. 2003; Recuadro 6.2).

La combinación de la disminución de la precipitación en las zonas semiáridas de África subsahariana y la degradación de las pasturas por el sobrepastoreo y el cultivo de la tierra han resultado en una disminución notable de los pastizales apropiados para la producción de rumiantes, y especialmente de bovinos. En la zona subhúmeda, la conversión del bosque abre nuevas sabanas. En los casos de degradación de las pasturas, los agricultores escogen razas de las correspondientes estrategias alimenticias, bien sea por la menor necesidad forrajera o por el comportamiento diferente del pastoreo (ver Recuadros 6.3 y 6.6). La tasa de rumiantes menores, especialmente caprinos y bovinos aumentó después de las sequías en

**Recuadro 6.6** Reemplazo del ganado por camellos en el Noroeste de Nigeria, para mantener la fertilidad del suelo

En el norte de Nigeria ha prevalecido la interacción entre la agricultura y la producción pecuaria, basada en las relaciones de intercambio entre grupos de productores segregados (McIntire et al. 1992). La movilidad de la ganadería pastoril es parte integral de ese sistema, y la movilización pastoril a sitios específicos sucede regularmente. Los principales factores determinantes en la selección que los productores hacen de las rutas de travesía son el derecho de acceso al agua y a los pastos, y el costo de acceso a los residuos de la agricultura. Esta interacción entre la agricultura y la producción pecuaria se está reemplazando por un sistema más integrado en el cual los cultivos y la producción pecuaria se encuentran en una misma finca. La creciente presión de la población es un factor detrás de esta transición. Es más frecuente ahora que el ganado se mantenga en confinamiento, que en libre pastoreo dentro del pasto natural. Depende cada vez más de un sistema intensivo manual: corte y acarreo de residuos agrícolas, pastos y matorrales. La producción está orientada hacia la obtención de estiércol y fuerza de tracción, y a la producción de leche (Mortimore y Adams 1998). Los residuos de la agricultura se están convirtiendo en un recurso importante para pastores y agricultores.

Los acuerdos institucionales han evolucionado a lo largo de los años para garantizar el movimiento y ayudar a resolver los conflictos entre los agricultores y los pastores. Los agricultores y los pastores frecuentemente intercambian residuos agrícolas por estiércol, los cuales son los productos más fácilmente disponibles en ambos casos. Los agricultores necesitan los residuos de sus cosechas para alimentar a sus propios animales. Por otro lado, tienen urgencia de fertilizar el suelo para reponer sus nutrientes. Enfrentan el problema adicional de que los productores de bovinos se van de la región y se movilizan hacia el sur debido a la escasez de forrajes o agua durante la estación de seca.

Por tanto, y contrastando con el estiércol dejado en el campo por los rebaños de bovinos de propiedad de los Fulani en la región, ahora son los camellos (*Camelus dromedarius*) de propiedad de los Tuareg los que dejan su estiércol en el campo. Un desarrollo reciente es la presencia en la región de los Tuareg, pastores seminómadas de camellos, que han migrado desde distancias lejanas y son ahora quienes aplican el estiércol al campo, rol desempeñado anteriormente por los pastores de ganado Fulani. En las aldeas del distrito Dundaye, se vieron los primeros rebaños de camellos hace 25 años. Algunos agricultores empezaron a contratar a los pastores de los camellos en 1985 para que aplicaran estiércol a sus parcelas; otros los vienen contratando desde 1992. De los 14 agricultores que contrataron pastores en 1995, ocho ya habían contratado el mismo pastor en 1994. Los rebaños de camellos trashuman desde la República de Níger hasta el norte de Nigeria a partir de diciembre y enero, a inicios de la estación lluviosa, la cual alcanza su pico en mayo y junio. Este movimiento migratorio estacional de pastores de camellos tiene una influencia sustancial en la población de camellos en el norte de Nigeria, particularmente durante la es

*El Recuadro 6.6, continúa en la página siguiente*

*Recuadro 6.6, continuación*

tación seca. Se estimaron las poblaciones, tanto de camellos de pastoreo como de camellos que permanecen en la aldea, en 6800 y 36,500 cabezas respectivamente, en los estados de Sokoto, Kebbi y Zamfara (FDLPCS 1992a, 1992b). El sacrificio de camellos como fuente de carne y su uso en tareas de tiro y carga han aumentado en las últimas décadas (Mohammed 2000).

Con los contratos para la aplicación de estiércol, los pastores encierran sus rebaños en corrales en el campo durante la noche, a fines de la estación de seca, cuando ya no hay residuos de la cosecha en el campo y la vegetación circundante es escasa. Los animales pastorean y ramonean los matorrales cercanos durante el día. Por tanto, el mantener el ganado encerrado hacia fines de la estación de seca resulta en una transferencia neta de nutrientes de los pastos a las tierras agrícolas, a la vez que se aporta estiércol y orina al suelo. Los agricultores por lo general pagan esta importación de nutrientes de las praderas a las tierras agrícolas ya cosechadas. A medida que se acerca la siguiente estación de siembra, las pérdidas de nitrógeno a través de la volatilización tienden a ser insignificantes si se comparan con el aporte de estiércol resultante del pastoreo de los residuos de cosecha a principios de la estación seca (Hoffmann et al. 2001). El contenido de nutrientes del estiércol de camello no difiere del de los bovinos o los rumiantes pequeños.

El cambio de bovinos a camellos como animales productores de estiércol ha permitido el ramoneo como fuente de alimento que proporciona suficientes cantidades de forraje. El camello depende menos de la hierba y el pasto, prefiriendo en cambio las especies leñosas de ramoneo, que abundan en la región. El encierro nocturno de los camellos en corrales, a fines de la estación de seca, tiene tres ventajas: 1) deja los residuos de la cosecha a entera disposición del ganado del propio agricultor; 2) optimiza el impacto del estiércol como aporte de nutrientes al suelo puesto que se aplica justo al inicio de la estación lluviosa, y 3) considerando la alta proporción de ramoneo en la dieta de los camellos, también es probable que el estiércol de éstos contenga menos semillas de malezas herbáceas que el estiércol de los bovinos y los rumiantes menores.

*Fuente:* Hoffmann y Mohammed (2004).

el Sahel a mediados de la década de los años 70 y los 80, y la cantidad de dromedarios aún está aumentando. Esto se debe a que la tolerancia a la sequía y la adaptación a la escasez de forrajes son mayores en los dromedarios, seguidos en su orden por los caprinos, ovinos y bovinos. Las razas más apropiadas y disponibles dentro de cada especie son entonces usadas por los agricultores. En África Occidental, por ejemplo, esto ha llevado a la adopción del ganado Sokoto Gudali y en Sudáfrica a la adopción del

**Recuadro 6.7** Experiencias en el mejoramiento genético de ovinos con el esquema de núcleo abierto, aplicado en un proyecto a gran escala en el altiplano peruano

Este Recuadro recoge las experiencias en el desarrollo y la implementación de un programa de cría de ovinos con bajos insumos para mejorar el nivel de vida de las comunidades campesinas de los Andes. Las comunidades objeto de estudio están ubicadas en la Sierra Central, un ambiente aislado de montañas (4,000–4,500 msnm) ubicado al este de Lima, de clima frío subhúmedo. En estas condiciones se crían ovinos, alpacas y bovinos (en ese orden de importancia) en sistemas de producción pastoriles extensivos familiares, comunitarios y de múltiples comunidades. Generalmente los rebaños familiares incluyen de 30 a 400 cabezas de ovinos, mantenidos cerca de la casa y con los cuales se satisfacen las necesidades básicas de subsistencia de la familia. Los rebaños comunales tienen alrededor de 4000 cabezas de ovinos, que se manejan como un solo rebaño en tierras públicas en la vecindad de una comunidad campesina. Los ingresos por carne y lana derivados de este rebaño se distribuyen entre los miembros de la comunidad (unas 1000 familias). Los rebaños pertenecientes a múltiples comunidades (de 6 a 10 comunidades en promedio) se originaron de la expropiación de tierras anteriormente de propiedad privada o de compañías mineras. Estos rebaños pueden tener hasta 100,000 cabezas de ovinos, manejados en diferentes sitios pero en un solo esquema general de crianza. Los diferentes sistemas de producción implican diferencias en la infraestructura de producción, la capacidad organizativa y los insumos tecnológicos, que a su vez se traducen en diferencias en los parámetros de productividad.

La mayoría de los ovinos son de doble propósito (carne y lana) de la raza Corriedale o tipos nativos con diferentes niveles de mejoramiento. El peso corporal es comparable al de los rebaños comerciales mantenidos en regiones más benignas de América del Sur, aunque el peso del vellón es bajo, y la lana es de poca calidad y uniformidad. Los mejoradores buscan estirpes mejoradas, especialmente en vista de que el mercado está dando señales continuas de requerir lana más fina y de mejor calidad. Los carneros pueden ser criados a nivel doméstico, comprados, intercambiados, o producidos como rebaños independientes para la cría de carneros o introducidos de otros lugares. No hay una estructura genética que incluya toda la población Corriedale. Además, no hay registros de rendimiento ni de pedigrís: todas las decisiones de selección se basan en la evaluación visual de los animales, y aún en las poblaciones grandes de múltiples comunidades no hay un programa de mejoramiento formalmente diseñado.

En la Sierra Central no hay asistencia técnica agropecuaria, ni gubernamental, ni privada. El terrorismo, y las dificultades de producción y mercadeo, han interferido con las actividades de investigación y desarrollo animal. En 1996 se inició un programa conjunto peruano-argentino para establecer un programa de mejoramiento de ovinos en la Sierra Central. El primer paso fue el análisis del sistema de mejoramiento tradicional. Después de unos dos años de

*El Recuadro 6.7, continúa en la página siguiente*

*Recuadro 6.7, continuación*

discusiones, siete comunidades campesinas y una compañía multicomunitaria acordaron desarrollar un programa de mejoramiento con el objetivo de mejorar la producción de lana y establecer un servicio de extensión apropiado para poder hacer uso de la tecnología de mejoramiento genético disponible.

La decisión respecto a la estrategia de mejoramiento fue generar una estructura de mejoramiento colectiva para la producción y el suministro de carneros de toda la población Corriedale en la región, lo cual puede ser menos eficiente pero se puede ampliar y ser sostenible.

Cada aldea participante establece un rebaño de multiplicación (algunas aldeas ya lo tenían) y suministra las mejores ovejas a un núcleo central. La compañía multicomunitaria participa como miembro adicional, suministrando sus mejores ovejas. Un diseño óptimo de núcleo abierto exige que se concentren las mejores ovejas en el núcleo; las ovejas viejas se sacrifican y se reemplazan con las mejores borregas disponibles en el núcleo y en los rebaños participantes, en proporciones que dependen de la precisión de selección (Mueller 1984). Sin embargo, la falta de registros de rendimiento y de vínculos genéticos excluye la posibilidad de seleccionar de manera precisa entre rebaños. Además, cada participante prefiere tener igual acceso a los carneros. Por tanto, cada rebaño aporta el mismo número de ovejas fundadoras. Evidentemente esto no es lo más eficiente, pero es aceptado en aras de mantener la armonía del grupo.

Teniendo en cuenta el número de carneros requeridos, la tasa de reproducción efectiva, las tasas de apareamiento, la estructura de edad y la tolerancia a la endogamia, el tamaño mínimo del núcleo central se estableció en 250 ovejas y 6 carneros, y el tamaño mínimo para las unidades de multiplicación se estableció en 200 ovejas y 4 carneros. Inicialmente, la Asociación Argentina de Productores de Corriedale donó semen congelado de 3 carneros argentinos y la compañía multicomunitaria donó tres carneros adicionales. Los carneros locales tienen buena reputación, y los carneros extranjeros habían tenido un muy buen desempeño en otros lugares. Asimismo, se planearon los registros de desempeño (peso al destete, peso de borregos y peso del vellón) y los de pedigrí en el núcleo central; los sementales que arrojaran la mejor progenie serían usados intensivamente, al igual que los registros de desempeño para las unidades de multiplicación. Se temía que hacia el futuro los problemas operativos limitarían el flujo de genes hacia arriba.

En junio de 1997 se sincronizaron 432 ovejas y se inseminaron artificialmente en el núcleo central —la mitad por laparoscopia con semen importado congelado y la mitad con semen local fresco. La prueba de progenie de los corderos mostró que los padres extranjeros tuvieron mejor desempeño que los locales en cuanto a peso y calidad del vellón, pero mostraron menor peso corporal. Cada año, se regresaron a sus aldeas la mitad de las ovejas con sus corderos, estableciendo así los cimientos de los rebaños multiplicadores. En 2001, los participantes aumentaron a 15 y el núcleo central a 300 ovejas. La mayoría de los rebaños multiplicadores alcanzaron el tamaño deseado. En el núcleo, se evalúan los borregos y se los clasifica visualmente. Los mejores carneros se usan en el núcleo con las hembras multiplicadoras. El programa tiene una población ovina total de 160,000 cabezas.

*Recuadro 6.7, continuación*

Los participantes enfatizaron inteligentemente la necesidad de contar con asistencia técnica. Se analizaron opciones con base en otras experiencias y la disponibilidad esperada de recursos. Los líderes comunitarios acordaron ceder tierras a la universidad para el establecimiento del Centro de Investigación y Capacitación Campesina (CICCA), el cual alberga el núcleo central y además sirve de finca demostrativa. El CICCA realiza cursos de criterios de selección visual, procedimientos reproductivos y de inspección de salud, clasificación de lanas e inseminación artificial. Los agricultores calificaron las actividades del CICCA como exitosas y extendieron el acuerdo por cinco años adicionales, lo cual puede ser la decisión más importante para el futuro del programa.

El principal resultado del programa ha sido social. La cooperación e interacción entre los participantes ha fomentado discusiones sobre aspectos técnicos y operativos del programa de mejoramiento y de otros aspectos que afectan las aldeas (incluyendo asuntos de mercadeo, legales y de seguridad). El establecimiento de CICCA ha sido esencial para la capacitación, el fortalecimiento de la confianza y la participación de los productores, y ha atraído la atención para la cooperación y financiamiento a nivel público y privado, nacional e internacional. Hay más dificultades operativas de las que se esperaban, principalmente porque las habilidades de cría no se correspondieron con la realidad. La precisión en la selección no está aumentando tan rápidamente como se planeó porque sigue habiendo muchas dificultades para llevar los registros de desempeño.

*Fuente:* Mueller et al. (2002).

Nguni, los cuales están mejor adaptados al ramoneo (Blench 1999; Bester et al. 2002; Recuadro 6.7).

Este movimiento generalizado hacia el sur de la población bovina del Sahel ha resultado también en un desplazamiento de las así llamadas líneas de tracción animal, al sur y norte de las cuales no es posible usar tracción animal para la preparación del suelo (Blench 1999; ver Recuadro 6.6). En el este y el sur de África, la región más afectada desde 1980 por la sequía, los agricultores han tenido que remplazar, para el trabajo animal, su ganado bovino por burros tolerantes a la sequía.

En cuanto al cambio climático, las medidas de compensación varían de acuerdo con el tipo y la severidad del cambio. Inicialmente, los productores de recursos pecuarios se pueden adaptar al cambio climático cambiando sus prácticas de manejo en sistemas controlados de cría de animales (refrescando el ambiente, cambiando los concentrados y las dietas). En sistemas extensivos, se podría también trasladar los rebaños a ubicaciones más acogedores, como tierras más altas. La posible introducción de razas

más tolerantes al calor puede tener la desventaja de un menor potencial de producción. Si el mantenimiento de las razas productivas sigue dificultándose, el cambio a especies más resistentes podría ser una opción, como lo demuestra el ejemplo del Sahel. En general, los sistemas de producción pecuaria comerciales e intensivos tienen un mayor potencial de adaptación mediante la adopción de cambios tecnológicos, mientras que en los sistemas pastoriles extensivos o de subsistencia la tasa de adopción de tecnología es baja (Anderson 2004), y es más probable que la opción sea el cambio de especies.

### Cambios sociales y económicos

El desarrollo tanto social como económico afecta el uso y la supervivencia de los recursos genéticos pecuarios. Las comunidades tradicionales, especialmente los productores, mantienen en sus difíciles ambientes algunos de los recursos genéticos de animales más valiosos e interesantes (como el buen estado físico y las características conductuales). Es frecuente que los jóvenes de estos grupos étnicos ya no estén interesados en ser productores y prefieran migrar a las ciudades en busca de empleo, con lo cual se va perdiendo el conocimiento tradicional (Köhler-Rollefson 2003). En algunos países en desarrollo, la creciente posibilidad de encontrar trabajo fuera de la finca ha tenido diversas consecuencias que pueden acelerar la pérdida de las razas locales tradicionales utilizadas principalmente para efectos de subsistencia o como reserva de valores; los bienes comprados tienden a sustituir los bienes producidos en casa, derivados de los animales; las familias agrícolas tienen menos tiempo para cuidar del ganado, y la economía basada en el dinero y los bancos brindan medios alternativos para guardar valores (Tisdell 2003). Igualmente, la disponibilidad de vehículos motorizados, motores estacionarios y la electricidad reducen la demanda de animales de tracción. Por tanto, la extensión de los sistemas de mercadeo y los cambios relacionados tienen consecuencias importantes en la supervivencia de las razas locales. Aunque es fácil discernir el impacto de este desarrollo, poco se sabe de su impacto en la diversidad pecuaria. En general, no se han documentado los costos y beneficios netos de los cambios en las políticas pecuarias que afectan directamente los recursos genéticos pecuarios, y no se han definido los ambientes políticos o las estrategias que promueven la conservación y el uso apropiado de los recursos.

Alcanzar las metas de seguridad alimentaria y agrobiodiversidad puede suponer un conflicto de intereses. Debido a la alta integración vertical y a

la eficiencia económica de la producción comercial de aves de corral y de cerdos, y a que haya una alta proporción de aves y cerdos comerciales en la oferta total del mercado permite que los países alcancen más fácilmente sus metas de seguridad alimentaria. También puede ser más fácil lograr los estándares de seguridad alimentaria por la facilidad estandarizada para controlar los ambientes de producción. Los asuntos ambientales también pueden tener influencia en los cambios estructurales. Se proyecta que la producción avícola de Malasia se traslade de las áreas agrícolas actuales a áreas más remotas debido a la rápida urbanización y a la necesidad de establecer empresas de gran escala. Las instalaciones para la cría de aves de corral y las granjas avícolas en general tendrán que volverse más ambientalmente sanas, y los productos avícolas tendrán que satisfacer los requisitos sanitarios y fitosanitarios. Los recientes brotes de enfermedades infecciosas como la influenza aviar pueden también tener implicaciones estructurales y políticas. Una opción sería favorecer los sistemas de producción que hayan adoptado fácilmente las medidas de bioseguridad. Otra sería reconocer que hay un reservorio de enfermedades en los gallineros, compuestos principalmente de razas locales, y al tiempo promover la vacunación y el mejoramiento del cuidado de la salud. Sin embargo, parece ser que los países exportadores como Tailandia favorecen la producción a gran escala, la genética uniforme y las medidas de bioseguridad.

La extensión de los mercados y la globalización económica, incluyendo el mercadeo mundial de razas exóticas, han contribuido significativamente a la pérdida de razas locales mediante el cruzamiento indiscriminado entre razas (Tisdell 2003; FAO 2001; ver también el Capítulo 17). A pesar del mayor contenido de grasa en la leche de ganado bovino Cebú y Criollo en América Latina en comparación con las razas europeas, se siguen haciendo cruzamientos con razas exóticas, y algunas de las razas Criollo están amenazadas.

En los países en desarrollo, el impacto de la importación de razas exóticas es multifacético y toca a la diversidad socioeconómica y la genética. La importación de razas exóticas en los ambientes de producción que les favorece es económicamente ventajosa para el importador individual, como es el caso de las líneas avícolas comerciales importadas de los sistemas industriales de producción. Por otro lado, en los países en desarrollo hay muchos ejemplos fallidos de mejoramiento de razas locales con razas exóticas y de programas de cruzamiento entre razas diferentes (como la Operación Coque en África Occidental), porque los animales ni se desempeñaron bien ni sobrevivieron en estos ambientes severos y propensos a enfermedades. Estos fracasos han implicado pérdidas económicas para los

pequeños productores. La mayoría de las introducciones de razas exóticas en los sistemas de producción pastoriles han fallado. Por tanto, la pérdida de los recursos genéticos de animales locales debida a estas intervenciones directas puede ser poca. Los recursos genéticos de animales locales probablemente están más amenazados por el impacto indirecto de la competencia en los mercados si el sector comercial intensivo gana cierta porción del mercado en el país. Esto puede incluso pasar si los mercados de recursos pecuarios locales y comerciales, o sus productos, están segmentados. En tales casos, el bienestar de los agricultores que abastecen los mismos mercados con razas menos productivas puede verse amenazado, y si continúan produciendo, podría ya no ser rentable criar las razas locales.

## Conclusiones

Los programas de mejoramiento genético de los países en desarrollo han fracasado principalmente por usar estrategias inapropiadas, y por la falta de infraestructura y capacidad. La mayor parte de los esfuerzos del mejoramiento genético de los recursos pecuarios han tenido un enfoque local y limitado. Al carecer de información esencial sobre los recursos genéticos, la mayoría de los programas de mejoramiento pecuario hasta la fecha han sido incapaces de definir estratégicamente los recursos genéticos más apropiados, lo cual ha conducido al uso ineficiente de los escasos fondos disponibles. Los pequeños agricultores han tenido muy poco acceso a las fuentes de recursos genéticos mejorados. Sin embargo, las características genéticas de las razas locales proveen una canasta de soluciones sostenibles para la resistencia a enfermedades, la supervivencia y la producción eficiente. Estas características han sido frecuentemente ignoradas en el intento de encontrar soluciones tecnológicas y de manejo a problemas específicos de la producción pecuaria en sistemas de bajos insumos. El costo de ajustar el ambiente de producción, especialmente en los ambientes marginales, a las condiciones requeridas por las razas de alto desempeño puede exceder el de mejorar las razas localmente adaptadas (Wagner y Hammond 1999).

Es necesario desarrollar programas de mejoramiento para los sistemas de bajos insumos. Existe una base de conocimiento para iniciar programas de mejoramiento genético en todos los sistemas pecuarios. Además, aunque existen las oportunidades de mejorar los recursos genéticos pecuarios en los sistemas de bajos insumos, la inversión requerida es sustancial. Recientemente se ha progresado en esta dirección a través de los esquemas de mejoramiento de núcleo abierto, en los cuales los pastores intercambian

animales con los de rebaños mejorados, como es el caso de Uganda. Estos programas trabajan con animales genéticamente cercanos a los que componen el rebaño y se mantienen en condiciones similares a las de los ambientes pastoriles (ver Recuadros 6.7 y 6.8).

Un ambiente con políticas adecuadas y facilitadoras es crítico para la conservación y el uso in situ de los recursos genéticos pecuarios. Los sistemas de mejoramiento avanzados apoyarán el manejo de los recursos genéticos de animales sólo si se le presta igual atención a los aspectos genéticos, así como al contexto social y económico. Por tanto, se deben tener en cuenta aspectos como la naturaleza organizativa de las iniciativas de mejoramiento, las demandas institucionales, los factores socioeconómicos y la identidad cultural de quienes mantienen los recursos pecuarios. Esto también llevará a una mejor comprensión de la brecha entre las metas de los agricultores y las de los criadores de animales cuando existe una separación institucional entre ambos. El concepto estratégico del manejo comunitario de los recursos genéticos de animales es el de la conservación in situ mediante el uso, garantizando que las razas autóctonas sigan siendo parte funcional de los sistemas de producción. Este enfoque promete ser sostenible y rentable si las razas locales permanecen o se vuelven económicamente atractivas para sus propietarios (Rege 1999), y exige el mejoramiento genético de estas razas autóctonas.

La selección para los sistemas de producción de bajos insumos continuará siendo una tarea del sector público, que puede recibir el apoyo de las cooperativas de productores o de los programas comunitarios de mejoramiento (ver Recuadros 6.2, 6.3, 6.7 y 6.8). Sin embargo, teniendo en cuenta las selecciones, el dinamismo y la adaptación inherentemente arraigadas en el conocimiento tradicional y los sistemas de producción por un lado, y la poca disponibilidad de recursos del sector público destinados a la conservación por el otro, es inevitable que se pierdan determinadas razas autóctonas. Lo más importante para el desarrollo in situ de los recursos genéticos de animales es el mantenimiento o la creación de un ambiente en el cual los productores de animales estén informados para tomar decisiones respecto a su sistema de producción agropecuario y las razas que necesita. Debe quedar claramente especificado que la agrobiodiversidad no existe ni existirá sin agricultores activos, y las razas autóctonas tendrán mayores oportunidades de sobrevivir en el futuro si se consumen sus productos. Los espacios del mercado de nicho y los productos regionales pueden desempeñar un papel importante.

Las políticas nacionales para el desarrollo del sector pecuario deben tener en cuenta los recursos genéticos de animales requeridos para lograr

#### Recuadro 6.8 Estudio de caso de la raza bovina Nguni en Sudáfrica

Los nómadas de la Edad de Hierro fueron los primeros en introducir la raza bovina Nguni en Sudáfrica alrededor del año 600 EC. Estos bovinos requerían poco mantenimiento y eran perfectamente apropiados para los sistemas agropecuarios de los colonizados y, según se ha podido establecer, no fueron alterados durante el siguiente milenio. Con el advenimiento de la colonización europea a mediados del Siglo XIX y la posterior aceptación del agricultor colonizador como modelo a seguir se inició la introducción de razas exóticas, que eventualmente diluyeron y agotaron el acervo original de genes de las razas adaptadas. Otros factores, como los cambios en el entorno político, la urbanización, la erosión de las creencias y prácticas culturales, y los desastres naturales, contribuyeron a exacerbar este cambio.

La percepción de que las razas locales eran de inferior calidad llevó a la promulgación en 1934 de una ley que declaraba las poblaciones de razas y tipos indígenas como “maleza” (insignificante). Se dio poder a los inspectores para que inspeccionaran los toros de las áreas comunales y los castraran si los evaluaban como inferiores. Por fortuna, la ley estuvo en vigencia sólo unos años pues tuvo muy poca popularidad entre los ganaderos. Se desarrolló una estructura en el país que permitió que la raza Nguni entrara en el creciente sector comercial, y la amplia toma de registros facilitó el mejoramiento de la raza. Por tanto, mientras que se mejoraba la raza en el sector comercial, se la estaba erosionando en las áreas rurales mediante el cruzamiento entre razas y el reemplazo por razas exóticas. Esto ocurrió porque se siguió teniendo la percepción de que la raza Nguni era inferior a las razas exóticas de mayor tamaño, a pesar del hecho de ser una raza que requiere un bajo nivel de mantenimiento, lo que la hace ideal para los sistemas agropecuarios de bajos insumos de los agricultores comunales. Por fortuna, la inherente robustez de la raza le permitió sobrevivir y aún hay algunos animales de pura raza en las comunidades rurales.

Al comprender recientemente que esta raza resistente era la única adaptada al ambiente de Sudáfrica, se la evaluó al igual que su desarrollo comercial. En 1985 se nombró un comité para informar acerca de la conveniencia de tener un banco de germoplasma in vitro para el ganado bovino indígena y para controlar el semen importado proveniente de razas exóticas.

El ganado Nguni realiza un pastoreo y ramoneo selectivo que le permite obtener un valor nutritivo óptimo de la vegetación natural disponible, con lo cual sobrevive en condiciones que no soportaría la carga de los bovinos de pastoreo intensivo como las razas europeas. El ganado Nguni es de temperamento muy dócil. Otros caracteres adaptativos le permiten al Nguni caminar largas distancias en busca de comida y agua. Se ha reportado que también toleran las temperaturas extremas y tienen una mejor capacidad para mantener las condiciones corporales en el invierno, en comparación con el ganado Simmental. Actualmente se considera la raza Nguni como una fuente de material genético apropiado para el estilo de manejo y las necesidades de los emergentes campesinos negros, quienes necesitan animales de bajo nivel de mantenimiento pero de alto nivel de producción. La evaluación inicial de la raza Nguni mostró su potencial como ganado de carne tanto en sistemas de producción extensivos como intensivos. En comparación con las otras razas, la masa corporal de las

*Recuadro 6.8, continuación*

vacas Nguni y su desempeño reproductivo las cataloga como la raza más fértil de Sudáfrica. También se demostró que son ideales como línea reproductora materna en los cruzamientos terminales entre razas. Además, las características como la tolerancia al calor, a las garrapatas y a las enfermedades hacen de esta una raza ideal para los sistemas extensivos.

En el pasado, los proyectos para introducir razas exóticas de ganado bovino en el sector comunitario fallaron invariablemente debido a la introducción de tecnologías complejas que aumentaban la producción pero no eran sostenibles. Los proyectos en curso están diseñados para favorecer la reintroducción en el sector comunitario de la raza Nguni, por su rusticidad y por requerir bajos niveles de mantenimiento, con el fin de frenar la influencia de las razas exóticas no tan bien adaptadas. Esta reintroducción está acompañada de asistencia técnica para mejorar el sistema de manejo y mercadeo, y facilitar la venta de animales a precios similares a los del mercado. Además, se alienta a las comunidades para que organicen grupos u organizaciones de productores para crear una infraestructura que permita la toma de decisiones a partir del consenso comunitario.

*Fuente:* Bester et al. (2002).

las metas de desarrollo. Por tanto, los gobiernos deben tener en cuenta la variedad de alternativas al sacrificar una cosa por otra y deben definir su posición dentro de una gama de opciones entre dos extremos como la inversión pública versus la privada, la agricultura a gran escala versus la de a pequeña escala, la generación de empleo versus el trabajo por cuenta propia, la seguridad alimentaria versus la agrobiodiversidad y la seguridad en los alimentos versus la diversidad de los alimentos. Las políticas nacionales e internacionales deben identificar sus objetivos y tener disposiciones relacionadas con el mantenimiento de las razas, la diversidad cultural y la variabilidad genética. Estas decisiones tendrán implicaciones en los métodos de mejoramiento y conservación, y en el financiamiento requerido. Estas decisiones también tienen implicación en la investigación y las tecnologías necesarias para la caracterización y la evaluación. El sector público y el privado tendrán que asociarse para alcanzar la mayoría de los objetivos. También hay una necesidad urgente de aumentar la conciencia del valor de los recursos genéticos de animales para la alimentación y la agricultura.

## Glosario

**RAZA:** Grupo subespecífico de ganado doméstico cuyas características se pueden definir e identificar externamente, permitiendo que se le separe visualmente de grupos similares definidos dentro de la misma especie, o grupo, que ha sido geográfica o culturalmente separado de grupos fenotípicamente similares y que han sido aceptados con una identidad distinta.

*Nota:* Las razas se han desarrollado de acuerdo con diferencias geográficas y culturales para suplir las necesidades alimentarias y agrícolas humanas. En este sentido, *raza* no es un término técnico. Las diferencias, visuales o de otra naturaleza, entre razas dan cuenta de gran parte de la diversidad asociada a cada especie de animal doméstico. La palabra *raza* se acepta como término cultural y no técnico. Las **razas localmente adaptadas** han permanecido en un país durante suficiente tiempo para adaptarse genéticamente a uno o más de los sistemas tradicionales de producción o a uno de los ambientes naturales del país. Las **razas indígenas**, también conocidas como autóctonas o nativas, originarias de, adaptadas a y usadas en una región geográfica, forman el subconjunto de las razas localmente adaptadas (FAO 2001). Las **razas exóticas** se mantienen en un área distinta a aquella donde fueron desarrolladas e incluyen razas que no están localmente adaptadas. Las razas exóticas incluyen tanto las **razas recientemente introducidas**, que han sido importadas en un período corto de tiempo dentro de las últimas cinco generaciones más o menos, y las **razas continuamente importadas**, cuyo acervo genético local se reabastece regularmente a partir de una o más fuentes desde fuera del país. Muchas de las razas utilizadas en los sistemas intensivos de producción o comercializadas por las compañías internacionales de mejoramiento pertenecen a esta categoría.

**RAZA AMENAZADA:** Cualquier raza que se pueda extinguir si no se eliminan o mitigan los factores que causan la disminución de su población. Las razas pueden estar en peligro de extinción por diversas razones. El riesgo de extinción puede ser el resultado de un tamaño de población pequeño; de impactos directos o indirectos de las políticas internacionales, nacionales o a nivel de la finca; de la falta de una organización adecuada del mejoramiento; de no adaptarse a las demandas del mercado; o de ser percibida como de inferior desempeño. Las razas se categorizan por su estado de riesgo con base en la cantidad real de individuos de cría, macho o hembra, y el porcentaje de hembras de pura raza.

**RAZA EXTINTA:** La población de una raza que ya no se puede volver a crear. Esta situación se vuelve absoluta cuando no quedan machos o hembras de cría. En realidad podemos darnos cuenta de la extinción mucho an-

tes de la pérdida del último animal, gameto o embrión.

**RECURSOS GENÉTICOS DE ANIMALES EN FINCAS:** Especies animales que se usan, o se pueden usar, para la producción de alimentos y para la agricultura, y las poblaciones contenidas en cada especie. Estas poblaciones dentro de cada especie se pueden clasificar como: silvestres o poblaciones salvajes de razas locales o primarias, razas estandarizadas, líneas seleccionadas, variedades, y cualquier material genético conservado, todas las que son actualmente categorizadas como razas (FAO 2001).

**POBLACIÓN:** Término genérico que cuando se usa en el sentido genético define un grupo de intercruzamiento y que se puede referir a todos los animales dentro de una raza. La estructura genética de la población tiene que ver con la genética de todos los individuos que constituyen la población y con la transmisión de generación en generación de muestras de la variabilidad genética asociada a esta población (FAO 2001).

## Referencias

- Anderson, S. 2004. *Environmental Effects on Animal Genetic Resources*. FAO Background Study Paper No. 28. Roma: FAO.
- Bayer, W., A. von Lossau y A. Feldmann. 2003. Smallholders and community based management of farm animal genetic resources. En *Proceedings of the Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 1-12. Mbabane, Swazilandia, Mayo 7-11, 2001. Roma: FAO.
- Behnke, R. H. y N. Abel. 1996. Revisited: The overstocking controversy in semiarid Africa. *World Animal Review* 12:5-27.
- Bester, J., L. E. Matjuda, J. M. Rust y H. J. Fourie. 2002. The Nguni: A Case Study. Presentado en: Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems, Montreal, Canadá, Noviembre 8-10, 2001.
- Blench, R. 1994. The expansion and adaptation of Fulbe pastoralism to subhumid and humid conditions in Nigeria. *Cahiers d'Études Africaines* 133-135:197-212.
- Blench, R. 1999. *Traditional Livestock Breeds: Geographical Distribution and Dynamics in Relation to the Ecology of West Africa*. ODI Documento de trabajo 122. Londres: ODI.
- Blench, R. 2001. *Pastoralism in the New Millennium*. FAO Animal Production and Health Paper No. 150. Roma: FAO.
- Bruford, M. W., D. G. Bradley y G. Luikart. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Reviews Genetics* 4:900-10.
- Chagunda, M. G. G. y C. B. A. Wollny. 2002. Consequences of differences in pricing of economic values for milk yield of dairy cattle in Malawi. 7th World Congress

- on Genetics Applied to Livestock Production, Agosto 19–23, 2002, Montpellier, Francia, Sesión 25: Developing Sustainable Breeding Strategies for Medium and Low-Input Systems. Comunicación 25–03.
- CIRDES/ILRI/ITC (Centre International de Recherche–Développement sur l’Elevage en Zone Subhumide, International Livestock Research Institute y International Trypanotolerance Centre), 2000. Collaborative research programme on trypanosomosis and trypanotolerant livestock in West Africa. En *Joint Report of Accomplishments and Results (1993–1999)*. Banjul, Gambia: ITC.
- Coppock, D. L. 1994. *The Borana Plateau of Southern Ethiopia: Synthesis of Pastoral Research, Development and Change, 1980–1991*. Addis Ababa, Etiopía: ILCA.
- Cousins, N. J. y M. Upton. 1988. Options for improvement of the Borana pastoral system. *Agricultural Systems* 27:251–278.
- “Egyptian chicken plan hatches . . . 50 years later.” 1997. *The Iowa Stater*, Mayo, [www.iastate.edu/IaStater/1997/may/chicken.html](http://www.iastate.edu/IaStater/1997/may/chicken.html).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Executive Brief. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. Guidelines for the development of country reports. State of the World. Annex 2, Working Definitions for Use in Developing Country Reports and Providing Supporting Data, [dad.fao.org/en/Home.htm](http://dad.fao.org/en/Home.htm).
- FDLPCS (Federal Department of Livestock and Pest Control Services). 1992a. Livestock in Sokoto State. *Nigerian Livestock Resources*. Vol. II: *National Synthesis*. Vol. III: *State Reports*. St. Helier, Jersey, Reino Unido: RIM.
- FDLPCS. (Federal Department of Livestock and Pest Control Services). 1992b. *Nigerian Livestock Resources*. Vol. I: *Executive Summary and Atlas*. St. Helier, Jersey, Reino Unido: RIM.
- Flock, D. K. y R. Preisinger. 2002. Breeding plans for poultry with emphasis on sustainability. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Agosto 19–23, 2002, Montpellier, Francia, Sesión 24: Sustainable Breeding Plans in Developed Countries. Comunicación 24–02.
- Gondwe, T. N. P. y C. B. A. Wollny. 2002. Traditional breeding systems in smallholder rural poultry in Malawi. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Agosto 19–23, 2002, Montpellier, Francia, Sesión 25: Developing Sustainable Breeding Strategies for Medium and Low-Input Systems. Comunicación 25–26.
- Grell, H. y M. Kirk. 2000. The role of donors in influencing property rights over pastoral resources in Sub-Saharan Africa. En N. McCarthy, B. Swallow, M. Kirk y P. Hazell, eds., *Property Rights, Risk, and Livestock Development in Africa*, 55–85. Washington, D.C. y Nairobi, Kenia: IFPRI y ILRI.

- Hassan, W. A. 2000. *Biological Productivity of Sheep and Goats Under Agro- Silvo-Pastoral Systems in Zamfara Reserve in North- Western Nigeria*. Goettingen, Alemania: Cuvillier.
- Haverkort, B. 1993. Agricultural development with a focus on local resources: ILEIA's view on indigenous knowledge. En D. M. Warren, D. Brokensha y L. J. Slik kerveer, eds., *Indigenous Knowledge Systems: The Cultural Dimensions of Development*. Londres: Kegan Paul International.
- Hillel, J., M. A. M. Groenen, M. Boichard, A. B. Korol, L. David, V. M. Kirzhner, T. Burke, A. B. Dirie, R. P. M. A. Crooijmans, K. Elo, M. W. Feldman, P. J. Freidlin, A. Maki-Tanila, M. Oortwijn, P. Thomson, A. Vignal, K. Wimmers y S. Weigend. 2003. Biodiversity of 52 chicken populations assessed by microsatellite typing of DNA pools. *Genetics Selection Evolution* 35:533-557.
- Hoffmann, I. 2003. Biodiversity management in West African pastoral and agropastoral systems. A case study from northwest Nigeria. En *Biodiversity and the Ecosystem Approach in Agriculture, Forestry and Fisheries*, 28-49. Satellite event on the occasion of the 9th regular session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, FAO, Roma, Octubre 12-13, 2002. Disponible en: [www.fao.org/DOCREP/005/Y4586E/y4586e03.htm#Po\\_0](http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4586E/y4586e03.htm#Po_0).
- Hoffmann, I., D. Gerling, U. B. Kyiogwom y A. Mané-Bielfeldt. 2001. Farmers' management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86(3):263-275.
- Hoffmann, I. y I. Mohammed. 2004. The role of nomadic camels for manuring farmers' fields in the Sokoto Close Settled Zone, northwest Nigeria. *Nomadic Peoples* 8(1): 99-112.
- Homann, S., G. Dalle y B. Rischkowsky. 2004. Potentials and constraints of indigenous knowledge for sustainable range and water development in pastoral land use systems of Africa: A case study in the Borana Lowlands of Southern Ethiopia. Eschborn, Alemania: GTZ/TÖB.
- Hossary, M. A. y S. Galal. 1995. Improvement and adaptation of the Fayoumi chicken. *Animal Genetic Resources Information* 14:33-42.
- Huelsebusch, C. G. y B. A. Kaufmann. 2002. *Camel Breeds and Breeding in Northern Kenya. An Account of Local Breeds of Northern Kenya and Camel Breeding Management of Turkana, Rendille, Gabra and Somali Pastoralists*. Nairobi: Kenya Agricultural Research Institute.
- Jabbar, M. A. y M. L. Diedhiou. 2003. Does breed matter to cattle farmers and buyers? Evidence from West Africa. *Ecological Economics* 45(3):461-472.
- Kamara, A. 2001. *Property Rights, Risk and Livestock Development in Southern Ethiopia*. PhD thesis, Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel, Alemania.

- Köhler-Rollefson, I. 2000. *Managing Animal Genetic Resources at the Community Level*. Eschborn, Alemania: GTZ. Disponible en: [www.gtz.de/agrobiodiv/download/koehl.pdf](http://www.gtz.de/agrobiodiv/download/koehl.pdf).
- Köhler-Rollefson, I. 2003. Community based management of animal genetic resources, with special reference to pastoralists. En memorias del *Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 13–26. Mbabane, Swazilandia, Mayo 7–11, 2001. Roma: FAO.
- Kyiogwom, U. B., I. Mohammed, H. M. Bello, S. A. Maigandi y C. Schaefer. 1994. The economic situation of the livestock farmer in Zamfara. En *Range Development in the Endangered Sudan Savanna in Sokoto State*, 63–70. Reporte no publicado, Giessen.
- Masinde, I. A. 2001. *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems. Local Management of Agricultural Biodiversity by Communities in Kenya*. Montreal: United Nations University. Disponible en: [www.unu.edu/env/plec/cbd/Montreal/papers/Masinde.pdf](http://www.unu.edu/env/plec/cbd/Montreal/papers/Masinde.pdf).
- McIntire, J., D. Bourzat y P. Pingali. 1992. *Crop-Livestock Interaction in Sub-Saharan Africa*. Washington, DC: The World Bank.
- Mhlanga, F. N. 2002. *Community-Based Management of Animal Genetic Resources: A Participatory Approaches Framework*. Eschborn, Alemania: GTZ. Disponible en: [www.gtz.de/agrobiodiv/download/mhlanga.pdf](http://www.gtz.de/agrobiodiv/download/mhlanga.pdf).
- Mohammed, I. 2000. *Study of the Integration of the Dromedary in Small holder Crop-Livestock Production Systems in Northwestern Nigeria*. Goettingen, Alemania: Cuvillier.
- Mortimore, M. y W. M. Adams. 1998. Farming intensification and its implications for pastoralism in northern Nigeria. En I. Hoffmann, ed., *Prospects of Pastoralism in West Africa*, Vol. 25, 262–273. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I. Giessen, Alemania: Wissenschaftl. Zentrum Tropeninstitut.
- Mueller, J. P. 1984. Single and two-stage selection on different indices in open nucleus breeding systems. *Genetics Selection Evolution* 16:103–120.
- Mueller, J. P., E. R. Flores y G. A. Gutiérrez. 2002. Experiences with a large scale sheep genetic improvement project in the Peruvian highlands. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Agosto 19–23, 2002, Montpellier, Francia, Sesión 25. Developing Sustainable Breeding Strategies in Medium- to Low-Input Systems. Comunicación 25–12.
- Nortier, C. L., J. F. Els, A. Kotze y F. H. van der Bank. 2002. Genetic diversity of indigenous Sanga cattle in Namibia using microsatellite markers. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Agosto 19–23, 2002, Montpellier, Francia. Sesión 26: Management of Genetic Diversity. Comunicación 26–07.
- Preisinger, R. 2004. *Internationale Tendenzen der Tierzüchtung und die Rolle der Zuchtunternehmen*. Presentación: Agrobiodiversität entwickeln: Handlungsstra-

- regien und Impulse für eine nachhaltige Tier- und Pflanzenzucht, Umweltforum Berlin, Febrero, 3-4, [www.agrobiodiversitaet.net/site/page/downloads/dateien/2](http://www.agrobiodiversitaet.net/site/page/downloads/dateien/2).
- Rajasekaran, B. 1993. A framework for incorporating indigenous knowledge systems into agricultural research, extension, and NGOs for sustainable agricultural development. *Studies in Technology and Social Change* 21. Ames: Technology and Social Change Program, Iowa State University.
- Rege, J. E. O. 2003. Defining livestock breeds in the context of community based management of farm animal genetic resources. En memorias: *Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 27-35. Mbabane, Swazilandia, Mayo 7-11, 2001. Roma: FAO.
- Rege, J. E. O. 1999. The state of African genetic resources. I. Classification framework and identification of threatened and extinct breeds. *Animal Genetic Resources Information* 25:1-25.
- Rege, J. E. O., G. S. Aboagye y C. L. Tawah. 1994. Shorthorn cattle of West and Central Africa II. Ecological settings, utility, management and production systems. *World Animal Review* 78:14-21.
- Richards, P. 1985. *Indigenous Agricultural Revolution: Ecology and Food Production in West Africa*. Londres: Hutchinson.
- Röhrs, M. 1994. Entwicklung der Haustiere. En H. Kräusslich, ed., *Tierzuchtungslehre*, 4th ed., 37-55. Stuttgart, Alemania: Ulmer.
- Schaefer, C. 1998. *Pastorale Wiederkäuerhaltung in der Sudansavanne: Eine Untersuchung im Zamfara Forstschutzgebiet im Nordwesten Nigerias*. Göttingen, Alemania: Cuveillir.
- Scherf, B., ed. 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed. Roma: FAO/UNDP.
- Sere, C., H. Steinfeld y J. Groenewold. 1996. World livestock production systems. Current status, issues and trends. *FAO Animal Production and Health Papers* 127. Roma: FAO.
- Steglich, M. y K. J. Peters. 2002. Agro-pastoralists' trait preferences in N'dama cattle: Participatory methods to assess breeding objectives. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Agosto 19-23, 2002, Montpellier, Francia, Sesión 25. Developing Sustainable Breeding Strategies in Medium- to Low- Input Systems. Comunicación 25-04.
- Steinfeld, H., C. De Haan y H. Blackburn. 1997. *Livestock and the Environment: Issues and Options*. Bruselas: Comisión Europea/FAO/World Bank.
- Tano, K., M. Kamuanga, M. D. Faminow y B. Swallow. 2003. Using conjoint analysis to estimate farmers' preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45(3):393-408.

- Tempelman, K. A. y R. A. Cardellino. En Prensa. *Community- Based Management and Use of Animal Genetic Resources in Traditional Livestock Farming Systems*. Roma: FAO.
- Thebaud, B. y S. Batterbury. 2001. Sahel pastoralists: Opportunism, struggle, conflict and negotiation. A case study from eastern Niger. *Global Environmental Change* 11:69-78.
- Tisdell, C. 2003. Socioeconomic causes of loss of animal genetic diversity: Analysis and assessment: *Ecological Economics* 45(3):365-377.
- Vabi, M. B. 1993. *Fulani Settlement and Modes of Adjustment in the Northwest Province of Cameroon*. ODI Pastoral Development Network Paper 35d. Londres: ODI.
- Valuing AnGR. 2003. *Ecological Economics* Special Issue 45(3).
- Wagner, H. G. R. y K. Hammond. 1999. *The Management of Farm Animal Genetic Resources and FAO's Global Strategy*. Berlin: Deutscher Tropentag, Berlin, Humboldt University.
- Warren, D. M. 1991. *Using Indigenous Knowledge in Agricultural Development*. World Bank Discussion Paper No. 127. Washington, DC: El Banco Mundial.
- Weigend, S. y M. N. Romanov. 2002. The World Watch List for Domestic Animal Diversity in the context of conservation and utilisation of poultry biodiversity. *World's Poultry Science Journal* 58(4):411-430.

## 7 Biodiversidad acuática en ecosistemas basados en el cultivo del arroz

---

M. HALWART Y D. BARTLEY

Buena parte del cultivo de arroz en sistemas de riego, pluviales o de agua profunda brinda un ambiente apropiado para peces y otros organismos acuáticos (Figura 7.1). Más del 90% de la producción de arroz en el mundo, equivalente a aproximadamente 134 millones de hectáreas (Figura 7.2), se cultiva en condiciones de inundación. Estos ecosistemas proporcionan un hábitat para una diversidad de organismos acuáticos además de brindar la oportunidad de mejorar y criar estos organismos. La acuicultura, además del cultivo de arroz en sí mismo, es un recurso crítico para el bienestar de la población rural en los países en desarrollo. El consumo local y la comercialización son especialmente importantes para la seguridad alimentaria porque los recursos acuáticos están fácilmente disponibles, son confiables y son la fuente más barata de proteína animal y ácidos grasos tanto para los hogares rurales como para los desposeídos. Este capítulo hace una síntesis de información reciente y subraya la importancia del rol que desempeña la biodiversidad acuática de los ecosistemas basados en el cultivo del arroz en el bienestar rural y en la prestación de servicios ambientales. Normalmente, esta información no está disponible, pero es crucial para tomar decisiones políticas.

### El problema

La importancia, para el bienestar rural, de la producción de arroz proveniente de los ecosistemas basados en el cultivo del arroz por lo general se subestima y subvalora, debido a que el consumo local o las restricciones



FIGURA 7.1. Los ecosistemas basados en el cultivo del arroz frecuentemente constituyen un conjunto dinámico y estrechamente relacionado de campos de arroz, estanques, canales de riego y ríos. (Foto: Arrozales de Vietnam, FAO/M. Halwart).

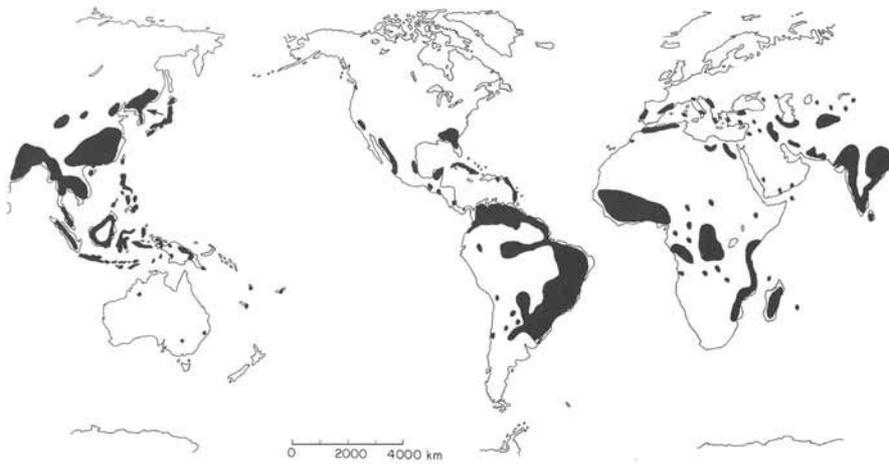


FIGURA 7.2. . El arroz se cultiva en aproximadamente 151 millones de hectáreas en todo el mundo: en condiciones de riego (57%), en sistemas pluviales de tierras bajas (31%), en aguas profundas (4%) y en condiciones de secano (11%) (fuente: Fernando 1993, y Fernando y Halwart 2001; datos tomados de la base de datos del IRRI Estadísticas Mundiales del Arroz y de la base de datos de la FAO 2001 disponibles en la URL: [www.irri.org/science/ricestat/index.asp](http://www.irri.org/science/ricestat/index.asp)).

de los mercados impiden que esta producción entre en las estadísticas nacionales oficiales (FAO/MRC 2003; Halwart 2003). Adicionalmente, la disponibilidad de esta producción varía temporal y espacialmente, y la cantidad de organismos capturados, colectados o criados es por lo general pequeña. Frecuentemente se considera que el arroz es un monocultivo y un alimento básico clave para la seguridad alimentaria local y nacional. Por tanto, las estrategias nacionales de producción de cultivos hacen énfasis en aumentar los rendimientos de arroz, lo cual con frecuencia conduce a un mayor uso de fertilizantes y plaguicidas. Estas prácticas y políticas normalmente ignoran y amenazan los otros componentes de los ecosistemas de arrozales.

Los formuladores de políticas deben basar sus decisiones en información sólida. Sin embargo, la información que necesitan, relacionada con la pesca en los campos de arroz y la acuicultura en estos arrozales, no está disponible, por lo cual no se reconoce la contribución de estos recursos al bienestar de la población rural. Los planes de desarrollo que se centran en aumentar los rendimientos de arroz pueden entregarle a la población más arroz para comer, pero al mismo tiempo pueden estar quitándoles la provisión de muchos animales y plantas acuáticas que también se cosechan en los arrozales o en sus alrededores. Si no se comprenden bien los demás componentes del ecosistema de estos arrozales y no se hace un buen trabajo de extensión, la diversidad de los animales y las plantas acuáticas se puede reducir severamente. Cabe resaltar que son los segmentos más pobres de la sociedad rural quienes sufrirán más por los impactos negativos de esta estrategia de desarrollo.

### La transición de la pesca a la acuicultura

Los sistemas integrados de arroz y peces se pueden separar en sistemas de captura o sistemas de cultivo, dependiendo del origen de la población de peces. A todos estos sistemas se les califica como “basados en el cultivo del arroz” o se les denomina sistemas “de arroz y peces” porque el cultivo del arroz generalmente es dominante en la economía de las fincas en las cuales se lleva a cabo la acuicultura. En el sistema de captura, los peces salvajes entran a los campos de arroz provenientes de otros cuerpos de agua adyacentes y se reproducen en los campos inundados. En el sistema de piscicultura, se pueden introducir los peces deliberadamente en el arrozal, de manera simultánea o alternada con el arroz; a esta práctica también se le conoce como cultivo concurrente o rotacional arroz/peces. Los arrozales

**Cuadro 7.1a.** Número de especies acuáticas colectadas en los ecosistemas basados en el cultivo del arroz y utilizadas por las comunidades rurales.

Grupo	Camboya	China
Peces	70	52
Crustáceos	6	2
Moluscos	1	4
Anfibios	2	4
Insectos	2	3
Reptiles	8	—
Plantas acuáticas	13	19

Fuentes: Balzer et al. (2005); Luo (2005).

se pueden usar para producir alevines o plateros, dependiendo del tamaño de la semilla disponible para el abastecimiento, la duración del período de piscicultura y las demandas del mercado (Halwart 1998; Demaine y Halwart 2001).

Los ecosistemas de los campos de arroz son ricos en biodiversidad acuática, muy apreciada por la población local. El principal grupo en términos de diversidad de especies y de importancia para las comunidades locales es el de los peces. Balzer et al. (2005) encontró 70 especies diferentes de peces en Camboya, y Luo (2005) encontró 52 en China (Cuadro 7.1). Además de los peces, se encontraron más de 100 especies de crustáceos, moluscos, anfibios, insectos, reptiles y plantas acuáticas, que tienen valor nutricional, medicinal o decorativo, entre otros usos (Balzer et al. 2005) (Cuadro 7.2).

En los arrozales se pueden cosechar muchas especies de peces, pero en el sistema de acuicultura sólo algunas son de importancia comercial. Entre las más comunes y dispersas están la carpa común y la tilapia del Nilo, que son bajos consumidores en la cadena alimenticia y por tanto son especies preferidas en los sistemas de acuicultura. Otras especies populares son el *Puntius gonionotus* y el *Trichogaster* spp. Muchas especies de respiración aérea como la cabeza de serpiente (*Channa striata*) y los bagres (*Clarias* spp.) se adaptan bien a las condiciones pantanosas de los campos de arroz inundados. Son peces salvajes del sistema de captura, muy apreciados puesto que se venden a buen precio en el mercado, pero son menos apreciados en la acuicultura porque pueden diezmar las poblaciones de peces existentes<sup>1</sup>.

Una gran proporción de los peces que tradicionalmente se pescaban en los campos de arroz era para consumo doméstico. Al aumentar la presión de la pesca, la conversión de muchos humedales en tierras agrícolas y la intensificación de la producción de arroz, la pesca en los arrozales ha disminuido en muchos lugares y los agricultores han optado por la acuicultura como fuente alternativa de proteína animal.

### Funciones ecológicas

Muchos organismos acuáticos que se encuentran en los ecosistemas de arroz desempeñan un papel importante como agentes de control biológico de vectores y plagas de importancia médica y agrícola, y son un elemento clave del manejo integrado de plagas. Los peces que se alimentan de las larvas del zancudo o de determinadas especies de caracoles sirven para controlar los vectores de la malaria y la esquistosomiasis. Algunas especies de peces contribuyen al control biológico de plagas del arroz como la ampularia, los barrenadores del tallo y el artrópodo *Nymphula depunctalis* (Guenee) (Halwart 1994, 2001; Halwart et al. 1998). Los peces también se alimentan de malezas y otros insectos, reduciendo los posibles problemas ocasionados por las plagas y manteniendo el equilibrio del ecosistema. De hecho, el control biológico ha resultado ser más rentable que los tratamientos profilácticos o el uso de plaguicidas cuando se llega al umbral económico (Rola y Pingali 1993). Incluso, los agricultores han observado que el cultivo simultáneo de peces y arroz con frecuencia aumenta los rendimientos del arroz, especialmente en suelos pobres y en cultivos no fertilizados, quizás porque en estas condiciones son mayores la fertilización y el reciclaje de nutrientes generados por los peces. Al ahorrar en plaguicidas y con las ventas del pescado, los ingresos netos de las fincas se han aumentado entre 7 y 65% con estos sistemas de arroz y peces, en comparación con el monocultivo de arroz (Halwart 1999).

Los arrozales también pueden hospedar especies en riesgo de extinción. Muchos pájaros habitan el ecosistema de arroz de agua profunda y las tierras inundadas de pastos y matorrales adyacentes cerca del lago Tonlé Sap, en Camboya, entre ellos el sisón de Bengala, una especie amenazada de la cual quedan en el mundo sólo dos poblaciones (Smith 2001). El uso de algunas especies amenazadas, como el anfibio *Ichthyophys bannanicus*, de valor medicinal, resulta ser a largo plazo una bendición, puesto que es su valor económico el que promueve su cultivo, asegurando la supervivencia de la especie.

**Cuadro 7.1b.** Especies de peces ( $n = 70$ ) colectadas en los campos de arroz y utilizadas por la población rural de Camboya.

Especie	Nombre en español <sup>1</sup>	Especie	Nombre en español <sup>1</sup>
<i>Thynnich thysthynmoides</i>	ND	<i>Clarias batrachus</i>	Pez gato
<i>Mystus albolineatus</i>	ND	<i>Anabas testudineus</i>	Perca
<i>Osteochilus melanopleurus</i>	ND	<i>Trichogaster trichopterus</i>	Gurami tres puntos
<i>Leptobarbus hoeveni</i>	Barbo de Hoven	<i>Rasbora tornieri</i>	Rasbora
<i>Trichogaster pectoralis</i>	Gurami piel de culebra	<i>Rasbora trilineata</i>	Rasbora de tijera
<i>Botia modesta</i>	Botia verde	<i>Systemus partipentazona</i>	ND
<i>Cyclocheilichthys sp.</i>	Barbo	<i>Rasbora daniconius</i>	Rasbora
<i>Hemibagrus splilopterus</i>	NDt	<i>Rasbora borapetensis</i>	Rasbora de línea negra
<i>Xenentodon cancila</i>	Pez cocodrilo	<i>Cirrhinus microlepis</i>	Carpa de fango a pequeña escala
<i>Paralauca typus</i>	ND	<i>Monopterus albus</i>	Anguila
<i>Notopterus notopterus</i>	Pez navaja asiático	<i>Trichopsis vittata</i>	Gurami cantor
<i>Trichogaster pectoralis</i>	Gurami piel de serpiente	<i>Botia sp.</i>	Locha
<i>Pristolepis fasciatus</i>	Catopra	<i>Pseudomystus siamensis</i>	Bagre
<i>Hampala macrolepidota</i>	ND	<i>Anguilla bicolor</i>	Anguila de aleta corta
<i>Oxyeleotris marmorata</i>	Gobio mármol	<i>Parambassis sp.</i>	Pez cristal
<i>Henicorhynchus siamensis</i>	Carpa siamesa del barro	<i>Ompok hypophthalmus</i>	ND
<i>Channa micropeltes</i>	Cabeza de serpiente gigante	<i>Puntius brevis</i>	Barbo
<i>Macrornathus siamensis</i>	Anguila espinosa ocelada	<i>Parambassis wolffi</i>	Pez cristal
<i>Barbodes altus</i>	ND	<i>Macrornathus taenigaster</i>	ND

Cuadro 7.1b, continuación

Especie	Nombre en español <sup>1</sup>	Especie	Nombre en español <sup>1</sup>
<i>Trichogaster sp.</i>	Tricho o gurami	<i>Osteochilus hasselti</i>	Barbo boca de oso
<i>Mastacembelus favur</i>	Anguila espinosa		
<i>Trichogaster sp.</i>	Tricho platino	<i>Micronema micronema</i>	ND
<i>Pangasius conchophilus</i>	ND	<i>Ompok bimaculatus</i>	Pez gato de cristal
<i>Puntioplites proctozystron</i>	ND	<i>Chitala ornata</i>	Pez navaja
<i>Channa striata</i>	Cabeza de serpiente	<i>Clarias macrocephalus</i>	Siluro
<i>Monotreta cambodgiensis</i>	ND	<i>Mastacembelidae</i>	
<i>Acantopsis sp.</i>	ND	<i>Esomus metallicus</i>	Danio
<i>Mystus mysticetus</i>	ND	<i>Paralaubuca typus</i>	ND
<i>Labiobarbus siamensis</i>	ND	<i>Clupeichthys sp.</i>	Sardina de río, Tailandia (Tr.no oficial)
<i>Barbodes gonionotus</i>	Barbo plateado de Tailandia	<i>Trichopsis schalleri</i>	Gurami croador trirayado
<i>Doryichthys boaja</i>	Aguja de mar	<i>Macrogathus siamensis</i>	Anguila espinosa ocelada
<i>Botia helodes</i>	Botia tigre	<i>Parachela siamensis</i>	ND
<i>Luciosoma bleekeri</i>	ND	<i>Trichogaster sp.</i>	Tricho o Gurami
<i>Nandus nandus</i>	Pez hoja birmano	<i>Cyclocheilichthys enoplos</i>	ND
<i>Morulius chrysphekadion</i>	Labeo negro	<i>Channa lucius</i>	ND

1 ND = no disponible. Muchas de estas especies existen sólo en el continente asiático y son prácticamente desconocidas en el mundo hispanoparlante; por tanto no existe aún un nombre común en español. (Nota del traductor)

Fuente: Balzer et al. (2005).

Tabla 7.2. Lista que indica los diversos usos de los organismos acuáticos presentes en los campos de arroz.

Taxón	Nombre Científico	Usos	Foto
Peces	<i>Cylocheilichthys sp.</i>	Consumo fresco, pasta de pescado fermentado, trozos de pescado fermentado, pescado seco salado, salsa de pescado	
Reptiles	<i>Erpeton tentaculatum</i>	Propiedades medicinales	
Anfibios	<i>Bufo melanostictus</i>	Consumo fresco, propiedades medicinales (antihelmíntico)	
Crustáceos	<i>Somanniathelphusa sp.</i>	Consumo fresco, alimento para animales, carnada	
Moluscos	<i>Pila sp.</i>	Consumo fresco, alimento para animales, carnada, venta	
Plantas	<i>Nelumbo nucifera</i>	Flores, hojas, semillas, rizomas para consumo, venta, decoración y empaques	
Insectos	<i>Lethocerus</i>	Consumo fresco, propiedades medicinales	

### Actividades recientes

La alta disponibilidad de peces salvajes ha favorecido el uso del sistema de captura en los arrozales asociados con planicies aluviales de los grandes sistemas fluviales. Recientemente se ha estudiado este sistema en relación con la disponibilidad de recursos acuáticos y los patrones de uso de los productores de arroz en las planicies aluviales del Río Mekong Inferior y Superior, ubicadas en Xishuangbanna, Provincia de Yunnan, China (Luo 2005), y en la provincia Kampong Thom, en Camboya (Balzer et al. 2005). Una menor disponibilidad de peces salvajes en áreas montañosas remotas provocó el surgimiento y la evolución de los sistemas de cultivo integrado

**Recuadro 7.1** Biodiversidad acuática en los arrozales, realizada en la Vigésima Sesión de la Comisión Internacional del Arroz, realizada del 23 al 26 de julio de 2002.

La Comisión Internacional del Arroz de la FAO es un foro en el que los formuladores de políticas de alto nivel y los especialistas en arroz de los países productores de este cereal revisan sus programas nacionales de investigación y desarrollo. Su objetivo es promover la acción nacional e internacional en asuntos relacionados con la producción, la conservación, la distribución y el consumo del arroz. La comisión se reúne cada cuatro años. En su vigésima sesión, realizada en Bangkok en julio de 2002, la comisión hizo las siguientes recomendaciones:

- Los países miembros deben promover el desarrollo sostenible de la biodiversidad acuática en los ecosistemas basados en el cultivo del arroz, y las decisiones políticas y las medidas de manejo deben mejorar la base de los recursos acuáticos vivos. En las áreas en las que se han agotado los peces salvajes, se debe considerar el cultivo del arroz asociado con la piscicultura como un medio para aumentar la seguridad alimentaria y lograr un desarrollo rural sostenible.
- Hay que prestar atención a la contribución nutricional de los organismos acuáticos en la dieta de la población rural que produce o depende del arroz.

*Fuente:* FAO (2002).

de arroz y peces. En las montañas del norte de Vietnam y Laos se encuentran sistemas de arroz y peces en cultivos simultáneos, con variedades de especies de peces localmente adaptadas. El conocimiento tradicional de estas sociedades productoras de arroz y peces ha sido el centro de recientes investigaciones en las provincias de Hoa Binh, Son La y Lai Chau de Vietnam (Meusch 2005), y en las provincias Xieng Khouang y Houa Phan de Laos (Choulamany 2005).

Estos estudios permiten comprender mejor y apreciar la riqueza de la diversidad y el valor de estos recursos acuáticos, las prácticas locales relacionadas con la captura y la piscicultura y la necesidad de trabajar más estrechamente con los agricultores para desarrollar intervenciones apropiadas para la producción acuícola. El primer paso para hacer visible esta biodiversidad acuática de los arrozales se ha dado a nivel intergubernamental, apremiando a los formuladores de políticas a que presten más atención al aumento de la biodiversidad acuática y a la contribución nutricional de los organismos acuáticos a la dieta de la población rural

### Recuadro 7.2 Nutrición y Recursos Acuáticos en la Provincia Quang Tri, Vietnam Central

Entre los países del sudeste asiático, Vietnam tiene los índices más altos de desnutrición en adultos y niños (FAO 1999). Las necesidades nutricionales básicas de muchos niños no se logran suplir (Reinhard y Wijayarathne 2002), y de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el país tiene serios problemas de salud pública: el 40% de los adultos tienen un índice de masa corporal inferior a 18.5, valor umbral en la clasificación de peso por debajo del estándar. En colaboración con un programa de alivio de la pobreza financiado por el Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia, el Ministerio de Planeación e Inversión de Vietnam y el Programa de Desarrollo Rural de Quang Tri, de la región central de Vietnam, la FAO participó en un estudio sobre el estado nutricional de las familias productoras de arroz y el papel de los recursos acuáticos en la dieta de la población de Quang Tri, una de las provincias más pobres del centro de Vietnam. El estudio prestó especial atención a los signos de malnutrición en niños menores de 5 años.

#### *Métodos*

El estudio usó un enfoque participativo que se basa principalmente en la evaluación del comportamiento de la población rural y su experiencia en relación con su estado de nutrición y salud, así como en el uso de sus recursos disponibles. El estudio incluyó tres elementos: un cuestionario a los hogares, medidas antropométricas de los niños menores de cinco años y discusiones con los grupos focales. Las comunas (o aldeas) se seleccionaron al azar: cinco comunas en el distrito remoto de Dakrong, ubicado en zona montañosa; dos comunas en el distrito de Hai Lang; y una comuna en el distrito de Cam Lo, ubicado en el llano. En cada comuna se seleccionaron entre 15 y 30% de los hogares; cada hogar estaba compuesto por cinco personas como promedio. La malnutrición en los niños se determinó sobre la base de tres índices estándar: por debajo del peso estándar (peso/edad), desnutrición crónica (talla/edad) y atrofia (peso/talla).

#### *Resultados*

Entre los animales acuáticos, los peces son los que más frecuentemente se consumen: el 80% de los hogares en Hai Lang, el 89% en Cam Lo y el 39% en Dakrong consumen pescado dos o más veces por semana (Cuadro 7.2a en el Recuadro 7.2). Las personas encuestadas manifestaron que el pescado es un alimento preferido por su buen sabor, fácil disponibilidad y por ser saludable. El estudio mostró que el sabor es la principal razón para consumir animales acuáticos; la mayoría de las personas encuestadas dijeron que comen culebras por ser buenas para la salud y que consumen sapos, insectos y cangrejos de agua dulce por su disponibilidad. Es poco frecuente el consumo de culebras en todos los distritos, mientras que los insectos son un alimento básico de casi la mitad de los hogares en el distrito montañoso de Dakrong.

Recuadro 7.2, continuación

CUADRO 7.2A EN EL RECUADRO 7.2. Frecuencia de consumo (%) de peces y otros organismos acuáticos en los hogares encuestados

	Nunca	1 vez al mes	2-3 veces al mes	1 vez por semana	2-5 veces por semana	Todos los días (6-7 veces por semana)	Ocasionalmente
<b>Hai Lang (n = 70)</b>							
Peces	2.9	—	1.4	5.7	61.4	18.3	10.3
Culebras	84.3	8.6	4.3	—	—	—	2.8
Caracoles	45.7	21.4	8.6	10.0	1.4	1.4	11.5
Cangrejos de agua dulce	54.3	15.7	7.1	5.7	4.3	—	12.9
Camarones de agua dulce	5.7	1.4	4.3	4.3	67.1	4.3	12.9
Insectos	92.9	1.4	1.4	—	2.9	0.1	1.3
Sapos	60.0	7.1	4.3	5.7	1.4	—	21.5
<b>Cam Lo (n = 35)</b>							
Peces	—	2.9	—	8.6	71.4	17.1	—
Culebras	94.3	—	5.7	—	—	—	—
Caracoles	68.6	8.6	8.6	—	2.9	—	11.3
Cangrejos de agua dulce	51.4	2.9	8.6	11.4	11.4	—	14.3
Camarones de agua dulce	20.0	8.6	5.7	25.7	37.1	—	2.9
Insectos	88.6	—	—	5.7	2.9	—	2.8
Sapos	62.9	2.9	5.7	8.6	8.6	—	11.3
<b>Dakrong (n = 169)</b>							
Peces	1.3	21.5	27.8	10.1	33.5	5.1	0.7
Culebras	87.3	5.1	3.2	—	0.6	—	3.8
Caracoles	26.6	27.8	16.4	5.1	9.5	—	14.6
Cangrejos de agua dulce	46.2	20.9	10.8	4.4	1.3	—	12.4
Camarones de agua dulce	21.5	23.4	19.6	8.9	11.4	—	13.2
Insectos	58.2	11.4	12.0	4.4	4.4	0.6	9
Sapos	48.1	21.5	9.5	5.7	1.3	—	13.9

El Recuadro 7.2 continúa en la página siguiente

*Recuadro 7.2, continuación*

El estudio mostró que los hogares remotos y pobres en el distrito de Dakrong, consumen como promedio más organismos acuáticos, especialmente caracoles, aunque también insectos y sapos, que los hogares de los demás distritos. En el distrito de Hai Lang, el más rico, se consume un promedio diario de 310 gramos de pescado en cada hogar, mientras que en Cam Lo y Dakrong el promedio fue de 260 g y 240g, respectivamente (Cuadro 7.2b en el Recuadro 7.2).

Un alto porcentaje de mujeres reportó que daban pescado, camarones pequeños y cangrejos de agua dulce a sus hijos entre 4 y 12 meses de edad. En el distrito de Hai Lang, 80% de los hogares usan pescado para preparar el alimento de sus niños, y 64% utilizan camarones pequeños de dos a cinco veces por semana para preparar sus alimentos. Entre el distrito más rico y el más pobre se observó una diferencia: sólo 30% de los hogares en Dakrong, el distrito más pobre, alimentaba a sus niños con pescado dos o más veces por semana.

*Disponibilidad de biodiversidad acuática*

En el estudio se reportaron 40 especies diferentes de peces en su hábitat natural, algunos de los cuales se utilizan en la acuicultura. Los participantes de todos los distritos manifestaron que tienen más dificultad recolectando animales acuáticos salvajes ahora, que hace diez años. Los aldeanos dijeron que posiblemente se debía, entre otras razones, al uso más intensivo de plaguicidas y herbicidas para la producción agrícola, y a la creciente demanda de recursos de la población humana, cada vez más numerosa. Además, en la mayoría de los distritos se practica el uso de métodos de pesca no sostenibles, como los equipos de descarga eléctrica, el envenenamiento y el uso de redes de hoyos pequeños, métodos que amenazan las poblaciones de animales acuáticos en tanto dificultan su reproducción.

No obstante, más de la mitad de los hogares en el estudio colectaba animales acuáticos en sus hábitats naturales, incluyendo los campos de arroz. Además de ser utilizados para el consumo doméstico, estos animales también generaron ingresos: 9% de los hogares en los distritos de Cam Lo y Hai Lang venden pescados capturados en su hábitat natural, y más de 75% de los hogares en el remoto distrito de Dakrong venden a otros aldeanos pescado y otros recursos acuáticos también capturados en su hábitat natural. La mayoría de los hogares compran su pescado y camarones en el mercado, excepto los habitantes del distrito Dakrong, donde el 67% los captura en el hábitat natural. En todos los distritos se colectan culebras, caracoles y sapos en su hábitat natural, especialmente la población rural del área remota de Dakrong. De acuerdo con la encuesta, los mercados son una fuente importante de alimentos en vista de la disminución de la biodiversidad en los campos de arroz.

*Estado nutricional*

El estudio reveló la malnutrición de los niños en todos los distritos, pero especialmente en el área montañosa y remota de Dakrong (Cuadro 7.2c en el Re

Recuadro 7.2, continuación

CUADRO 7.2B EN EL RECUADRO 7.2. Consumo de organismos acuáticos en cada hogar (hogares constituidos por 5 personas como promedio)

Distrito	Recursos Acuáticos (Cantidad en kg/día)							Total
	Peces	Culebras	Caracoles	Cangrejos de agua dulce	Camarones de agua dulce	Insectos	Sapos	
Hai Lang (n = 70)	0.39	0.01	0.05	0.05	0.11	0.03	0.02	0.66
Cam Lo (n = 35)	0.26	0.02	0.04	0.15	0.21	0	0.06	0.74
Dakrong (n = 169)	0.24	0.02	0.21	0.09	0.14	0.06	0.07	0.83

El Recuadro 7.2 continúa en la página siguiente

Recuadro 7.2, continuación

CUADRO 7.2C EN EL RECUADRO 7.2. Estado nutricional de niños menores de 5 años en tres distritos estudiados, por severidad y comuna (en porcentajes).

Indicadores de malnutrición	Distritos (número de niños medidos) y Comunas									
	Hai Lang (241)		Cam Lo (50)			Dakrong (282)				
	Hai Thuon	Hai Le	Cam Lieu	Trieu Nguyen	A Ngo	A Bung	Huc Nghi	Ta Long		
Por debajo del peso estándar	11.9	30.2	28	45.8	46.2	64.6	50.0	39.3		
Severidad (baja a muy alta)	Media	Muy alta	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta		
Desnutrición crónica	20.1	29.5	42	44.7	53.8	68.8	61.5	50.0		
Severidad (baja a muy alta)	Media	Media	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta		
Atrofia	3.0	3.8	2	6.3	7.7	14.6	6.4	10.7		
Severidad (baja a muy alta)	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Muy alta	Media	Alta		

*Recuadro 7.2, continuación*

cuadro 7.2). Comparados con el estatus regional del norte-centro de Vietnam, Hai Lang y Cam Lo presentaron menores porcentajes, o equivalentes, de niños con peso por debajo del estándar para su edad y con desnutrición crónica; el porcentaje de atrofia es sólo una tercera parte del promedio regional. El remoto distrito de Dakrong presenta una tasa mayor de niños con peso por debajo del estándar para su edad y con desnutrición crónica; en algunas comunas de Dakrong, la tasa de atrofia es inferior a los promedios regionales y nacionales. En estas comunas remotas, los recursos acuáticos salvajes son más importantes para los hogares que en las ricas llanuras.

*Conclusiones*

El estudio mostró que la biodiversidad acuática en los sistemas de producción de arroz contribuye significativamente a la seguridad alimentaria de las poblaciones rurales. En las áreas remotas y montañosas, el consumo de organismos acuáticos es mayor que en las tierras bajas, pero sus dietas incluyen menos pescado y culebras y más caracoles, insectos y sapos. En general, la disponibilidad de alimentos en su hábitat natural y en el mercado es insuficiente para suplir las necesidades de toda la población. Sin embargo, la biodiversidad acuática sí aporta beneficios nutricionales a una porción grande de la población. Los datos antropométricos muestran que el estado nutricional es peor en las áreas remotas; se sabe por otros estudios que las comunas sufren escasez de alimentos básicos, muchas veces durante varios meses del año. En estas áreas, la presencia de organismos acuáticos en la dieta puede simplemente ayudar a suplir las necesidades básicas de energía de las personas, puesto que sin esta biodiversidad acuática como fuente de nutrición, la malnutrición y la inseguridad alimentaria serían aún mayores. El estado general de salud de la población también puede desempeñar un papel importante. Estas conclusiones indican que es necesario investigar más sobre el papel nutricional de diversos organismos acuáticos, especialmente para la población de escasos recursos en estas áreas remotas.

de escasos recursos, que produce o depende del arroz (Recuadro 7.1). Investigaciones preliminares sobre la relación entre el cultivo de arroz, los recursos acuáticos vivos y el bienestar de los pueblos que manejan estos sistemas revelaron el valor de esta biodiversidad para las comunidades rurales (Recuadro 7.2).

### **Ecosistemas productivos amenazados**

La evidencia obtenida en las evaluaciones participativas rurales de las comunidades agrícolas y piscícolas indica que la disponibilidad de recursos

acuáticos en los campos de arroz está disminuyendo (Balzer et al. 2005; Luo 2005). Aunque la cantidad de organismos acuáticos que se consumen ha permanecido constante, hace una década la captura en los arrozales suministraba la mitad de este consumo, mientras que hoy sólo de una quinta a una tercera parte se deriva de la captura en los arrozales y el resto debe ser comprado o cultivado (Luo 2005). Los agricultores de Xishuangbanna afirman que se está reduciendo la abundancia de peces y que la cantidad de organismos acuáticos colectados en un día es hoy equivalente a lo que se colectaba en una hora hace una década. De la misma manera, el estudio de Camboya (Balzer et al. 2005) señala que la captura de peces ha disminuido bastante en las últimas dos décadas. Los aldeanos estiman que en tres o cinco años no habrá suficientes peces para vivir de la piscicultura. El aumento en la población humana y consecuentemente la mayor presión sobre los recursos acuáticos es un factor importante en la disminución de los recursos acuáticos vivos. Otras actividades relacionadas también han ocasionado esta disminución, en las que se incluyen el uso de pesticidas, la destrucción de los hábitats para el apareamiento de los peces y los métodos de pesca ilegales como la pesca eléctrica y el envenenamiento con productos químicos. Enfrentar estas amenazas requiere con urgencia acciones de desarrollo.

La población rural de escasos recursos es la que más depende de la biodiversidad acuática en los arrozales. Puede que no tengan acceso al dinero, pero en muchas áreas aún tienen acceso a la biodiversidad de la cual dependen (Recuadro 7.2). Algunas de las amenazas que enfrentan son la destrucción de los recursos pesqueros debido a la sobreexplotación por la captura industrial y la restricción del acceso a los recursos pesqueros, como cuando las zonas de pesca se alquilan a empresas pesqueras comerciales como lotes de pesca. Estas personas de escasos recursos serán las más afectadas puesto que no tienen tierra para cultivar y dependen de la captura de recursos salvajes.

## Conclusiones

La diversidad de las especies acuáticas y su importancia como medio de vida para los productores de arroz tiene relevancia en los ecosistemas de arroz de riego, pluvial y de aguas profundas en todo el mundo (Figura 7.2). Se requieren acciones a nivel internacional y nacional para evaluar el papel que desempeña la biodiversidad acuática en los ecosistemas de arroz y en el bienestar de las comunidades rurales. Se requieren estudios para

investigar específicamente la contribución nutricional de la biodiversidad acuática a los hogares de los productores de arroz, especialmente en relación con el papel de las grasas y los aceites, y para aumentar la sensibilidad sobre el valor para la salud y el bienestar de los pueblos (consultar los estudios nutricionales en el Capítulo 15). Las instituciones locales de Camboya, China, Laos y Vietnam han planeado organizar talleres nacionales y regionales en los cuales se presente, a los formuladores de políticas y al personal de extensión, la información sobre la colecta y uso de organismos acuáticos, y su importancia como medio de vida para las comunidades rurales (FAO/NACA 2003). Actividades similares se han previsto para otras regiones, particularmente África Occidental y América Latina.

Se debe prestar mucha atención, al nivel de los formuladores de políticas, al manejo de los recursos acuáticos en las estrategias de desarrollo rural, seguridad alimentaria y alivio de la pobreza. Cuando se fijen metas de mayor producción de arroz, se debe reconocer que la diversidad y productividad de los ecosistemas de arrozales son por lo general altas. La intensificación y la especialización del sistema para maximizar la producción de arroz generalmente estarán asociadas con pérdidas de otros productos. Por tanto, es crítico evaluar cuáles serán esos cambios, quiénes se beneficiarán y quiénes perderán, y así encontrar maneras para minimizar las pérdidas y maximizar las ganancias.

## Nota

1. No siempre es posible hacer una clara distinción entre los sistemas de captura y los de acuicultura. En Tailandia, por ejemplo, existe un sistema intermedio en el cual el sistema de manejo depende de los peces abastecidos como carnada para las especies salvajes. Estas pérdidas se consideran aceptables puesto que los peces salvajes tienen un alto valor comercial en los mercados locales (Setboonsarng 1994).

## Referencias

- Balzer, T., P. Balzer y S. Pon. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. I. Kampong Thom Province, Kingdom of Cambodia. En M. Halwart, D. Bartley y H. Guttman, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems* (CD-ROM). Roma: FAO.
- Choulamany, X. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. III. Xieng Khouang and Houa Phan provinces, Lao PDR.

- Northern Laos. En M. Halwart y D. Bartley, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems* (CD-ROM). Roma: FAO.
- Demaine, H. y M. Halwart. 2001. An overview of rice-based small-scale aquaculture. En *Utilizing Different Aquatic Resources for Livelihoods in Asia: A Resource Book*, 189–197. Cavite, Filipinas: International Institute of Rural Reconstruction, International Development Research Centre, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia–Pacific, and International Center for Living Aquatic Resources Management.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *Nutrition Country Profiles: Vietnam*. Roma: FAO. Disponible en: <ftp.fao.org/esn/nutrition/ncp/viemap.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. *Report of the 20th Session of the International Rice Commission*, Bangkok, Tailandia, Julio 23–26, 2002. Roma: FAO.
- FAO/MRC (Food and Agriculture Organization of the United Nations y Mekong River Commission). 2003. *New Approaches for the Improvement of Inland Capture Fishery Statistics in the Mekong Basin*. Report of the Ad Hoc Expert Consultation, Udon Thani, Tailandia, Septiembre 2–5, 2002. Publicación No. 2003/01. Bangkok: FAO/RAP.
- FAO/NACA (Food and Agriculture Organization of the United Nations y Network of Aquaculture Centres in Asia–Pacific). 2003. *Traditional Use and Availability of Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems*. Report of a Workshop, Xishuangbanna, Yunnan, P.R. China, Octubre 21–23, 2002. Roma, Italia: FAO. Disponible en: <ftp.fao.org/fi/document/xishuangbanna/xishuangbanna.pdf>
- Fernando, C. H. 1993. Rice field ecology and fish culture: An overview. *Hydrobiologia* 259:91–113.
- Fernando, C. H. y M. Halwart. 2001. Fish farming in irrigation systems: Sri Lanka and global view. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences* 6:1–74.
- Halwart, M. 1994. *Fish as Biocontrol Agents in Rice: The Potential of Common Carp Cyprinus carpio and Nile Tilapia Oreochromis niloticus*. Weikersheim, Alemania: Margraf Verlag.
- Halwart, M. 1998. Trends in rice–fish farming. *FAO Aquaculture Newsletter* 18:3–11.
- Halwart, M. 1999. Fish in rice-based farming systems: Trends and prospects. En D. van Tran, ed., *International Rice Commission: Assessment and Orientation Towards the 21st Century*, 130–141. En Proceedings of the 19th Session of the International Rice Commission, Cairo, Egipto, Septiembre 7–9, 1998. Roma: FAO.
- Halwart, M. 2001. Fish as biocontrol agents of vectors and pests of medical and agricultural importance. En *Utilizing Different Aquatic Resources for Livelihoods in Asia: A Resource Book*, 70–75. Cavite, Filipinas: International Institute of Rural Reconstruction, International Development Research Centre, Food and Agricul-

- ture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific y International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Halwart, M. 2003. Recent initiatives on the availability and use of aquatic organisms in rice-based farming. En *Proceedings of the 20th Session of the International Rice Commission*, 195–206. Bangkok, Tailandia, Julio 23–26, 2002. Roma: FAO.
- Halwart, M., M. C. Viray y G. Kaule. 1998. The potential of *Cyprinus carpio* and *Oreochromis niloticus* for the biological control of aquatic pest snails in rice fields: Effects of predator size, prey size and prey density. *Asian Fisheries Science* 10:31–42.
- Luo, A. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. II. Xishuangbanna, Yunnan, P.R. China. En M. Halwart, D. Bartley y J. Margraf, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems* (CD-ROM). Roma: FAO.
- Meusch, E. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. III. Northwestern Vietnam. En M. Halwart y D. Bartley, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems* (CD-ROM). Roma: FAO.
- Reinhard, I. y K. B. S. Wijayaratne. 2002. *The use of Stunting and Wasting as Indicator for Food insecurity and Poverty*. Working Paper 27, Integrated Food Security Programme Trincomalee. Disponible en: [www.sas.upenn.edu/~dludden/stunting-wasting.pdf](http://www.sas.upenn.edu/~dludden/stunting-wasting.pdf)
- Rola, A. y P. Pingali. 1993. *Pesticides, Rice Productivity, and Farmers' Health: An Economic Assessment*. Manila: International Rice Research Institute y World Resources Institute.
- Setboonsarng, S. 1994. Farmers' perception towards wild fish in ricefields: "Product, not predator"—An experience in rice-fish development in northeast Thailand. En C. R. De la Cruz, ed., *Role of Fish in Enhancing Ricefield Ecology and in Integrated Pest Management*, 43–44. ICLARM Conf. Proc. 43. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Smith, J. D., ed. 2001. *Biodiversity, the Life of Cambodia: Cambodian Biodiversity Status Report 2001*. Phnom Penh: Cambodia Biodiversity Enabling Activity.

## 8 Servicios de los polinizadores

---

P. G. KEVAN Y V. A. WOJCIK

Desde el punto de vista ecológico, se sabe que los herbívoros, los depredadores, los parasitoides, los parásitos y los patógenos son cruciales para mantener los ecosistemas y su diversidad. No obstante, las relaciones mutuas son igualmente importantes. La polinización es el punto focal de una rueda de productividad de múltiples radios -humanos, animales domésticos y animales salvajes- que involucra a todos los consumidores (Figura 8.1). Las interacciones ecológicas y la complejidad actualmente están en la esfera de la conservación y la sostenibilidad. La biodiversidad de la flora y la fauna dominantes en el planeta (plantas con flores e insectos) está entremezclada íntimamente y co-evolutivamente a través de la polinización, que la erosión de sus relaciones tiene graves consecuencias ambientales. De hecho, hoy en día se considera que la polinización es un servicio ambiental tan amenazado que justifica que se le preste atención en todos los ambientes terrestres, desde la agricultura intensiva hasta las áreas silvestres (Buchmann y Nabhan 1996). Aún más, los visitantes no polinizadores de las flores en la red de la vida también aportan beneficios, y a veces problemas, que son esenciales para otros aspectos de la función ambiental.

Aunque la polinización se ha venido estudiando durante más de 200 años, frecuentemente se la pasa por alto o se malinterpreta. Por tanto, los roles de los polinizadores y las flores, y los problemas asociados a la disminución de la biodiversidad y a la necesidad de conservarla requieren una explicación. La importancia de los polinizadores y otros antófilos (visitadores de flores) va más allá de la sostenibilidad del ecosistema, la reproducción de las plantas, la productividad de los cultivos y el manejo de plagas, hacia aspectos estéticos y éticos relacionados con la calidad

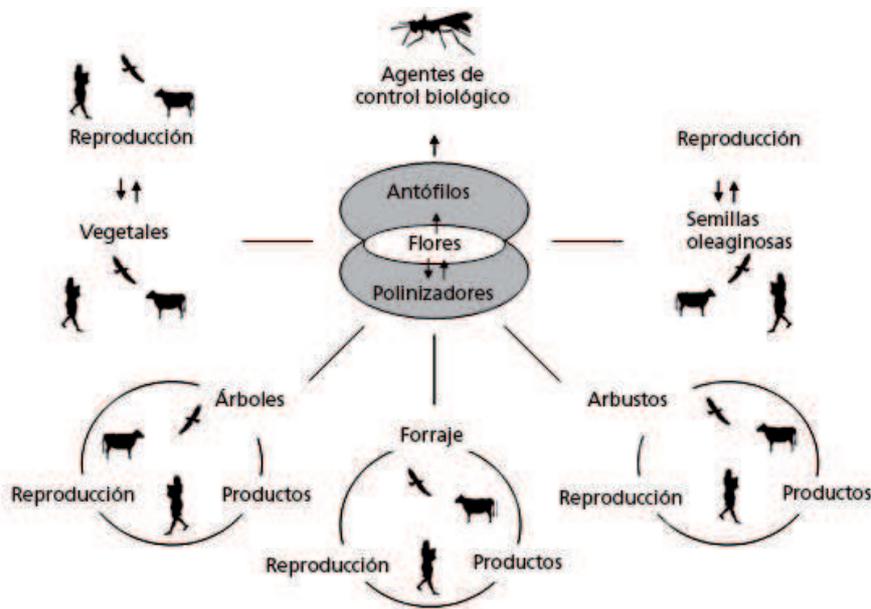


FIGURA 8.1. Los sistemas de polinización están en el centro de los ecosistemas y de las funciones ambientales. Las interacciones directas e indirectas de alguna manera enlazan toda la biosfera a los servicios de polinización.

de vida del ser humano. Finalmente, es factible que los polinizadores y los antófilos también sean indicadores biológicos sensibles de la salud del ecosistema.

### Polinización, polinizadores y antófilos

La polinización es simplemente la transferencia de polen de la antera al estigma. Después de que la planta produce sus estructuras reproductivas, la polinización es el siguiente paso en la reproducción. El viento, el agua o la gravedad hacen que ocurra la polinización abiótica. Los animales realizan la polinización biótica. Existe todo un vocabulario especializado de los sistemas de polinización y de fitomejoramiento, que no es necesario detallar en esta revisión. Roubik (1995) y Free (1993) son una enciclopedia en el tema de las plantas.

Los antófilos son animales que visitan las plantas. Pueden ir en busca de polen, néctar, aceite o tejido floral para satisfacer sus necesidades ali-

menticias (Kevan 1999). Los polinizadores son antófilos que polinizan. No todos los antófilos son polinizadores efectivos: Algunos son ladrones que se llevan recursos apreciados por los polinizadores o que consumen el polen requerido para la polinización abiótica (Inouye 1980); otros pueden ser inocuos y simplemente descansan en las flores o recogen los recursos residuales después de que ha pasado la polinización. Aunque los polinizadores son vitales para la reproducción de las plantas, los antófilos no polinizadores (o malos polinizadores) también pueden ser importantes para las funciones de los ecosistemas. Por ejemplo, muchos insectos que son útiles en el control biológico de plagas necesitan alimentos derivados de las flores para aparearse, encontrar hospederos, ovipositar y completar sus ciclos de vida (Ruppert 1993). También hay antófilos que usan los sitios florales para capturar sus presas (Kevan 1999).

## Biodiversidad de los antófilos, de los polinizadores y de la polinización

### *General*

La diversidad entre los antófilos llega a millones de especies. Casi todas las abejas y mariposas dependen de las flores. Muchas mariposas nocturnas, moscas, escarabajos, avispa y hormigas visitan las flores. La antofilia es común en insectos menos llamativos como los trips o los grillos del polen de Australia. En otros órdenes de insectos, como las crisopas y los colémbolos, la antofilia es esporádica. Entre los vertebrados, algunos grupos de pájaros (colibríes, picaflores diceidos, melífagos, mieleros, nectarinas y loris) y de murciélagos (murciélagos de las frutas o zorros voladores del trópico del Viejo Mundo y los murciélagos filostómidos del Neotrópico) son notorios como antófilos y polinizadores. Existen incluso algunos mamíferos especializados en planear y trepar (los mamíferos trepadores como los escandentia y los esciúridos) que son polinizadores importantes, especialmente en Australia y África. En algunos lugares, incluso los primates son polinizadores importantes.

### *En los agroecosistemas*

Las abejas melíferas (*Apis* spp.) son los polinizadores más valiosos en la agricultura. Se las maneja en cajas fáciles de transportar para la polinización de muchos cultivos. Su biología es bien conocida y la cría de abejas para la polinización está bien establecida. Sin embargo, las abejas no son el

único polinizador comercialmente útil ni tampoco polinizan todos los cultivos sistemáticamente (Kevan 1999). Por ejemplo, los abejorros (*Bombus* spp.) son los polinizadores por excelencia de las leguminosas, las cuales tienen los tubos de la corola demasiado profundos, impidiendo que las abejas melíferas puedan llegar al néctar (Free 1993). Su comportamiento como polinizadores vibrátiles (polinizadores que extraen el polen de las flores al producir vibraciones) y su capacidad de buscar alimento en casas de invernadero los distingue de las abejas melíferas. Las abejas del huerto (*Osmia* spp.) son más eficientes y empiezan a buscar alimento a temperaturas más bajas que las abejas melíferas (Kevan 1999). En Malasia, recientemente se están manejando las abejas carpinteras (*Xylocopa* spp.) proporcionándoles material para sus nidos y que polinicen a las pasifloras, que tienen flores demasiado grandes para que la abeja melífera pueda polinizarlas (Mardan et al. 1991).

No son las abejas sino otros polinizadores los encargados de la polinización de algunos cultivos (Recuadro 8.1). En el trópico, los asuntos relacionados con la polinización son especialmente importantes porque no se conocen los mecanismos naturales de polinización de muchas plantas (cultivos y otros) (Roubik 1995; Kevan 2001). Investigaciones recientes han hecho algunos avances en este campo. Se ha encontrado que los escarabajos polinizan algunas frutas del género *Annona*, entre ellas la guanábana y la chirimoya, pero se tiene muy poca información sobre los polinizadores más adaptados a estas plantas (Roubik 1995). El gorgojo de África Occidental *Elaeidobius kamerunicus* Faust (Curculionidae) fue introducido en Asia y está polinizando efectivamente las palmas aceiteras de este continente; este gorgojo había servido como polinizador en la pradera nativa donde crece la palma aceitera (Kevan 1999). Se ha encontrado que la nuez de Brasil es melitófila y produce flores masculinas y femeninas a destiempo, lo cual hace que la autopolinización sea temporalmente imposible. Por tanto, depende de la actividad de los polinizadores para fecundar las flores y producir frutos (Maues 2002). El hecho de que un amplio rango de mosquillas y moscas polinicen las frutas silvestres resalta la necesidad de considerar polinizadores alternativos para muchos cultivos. Se requieren aún esfuerzos sustanciales para comprender la polinización en ambientes tropicales.

El tipo y la cantidad de recompensa que buscan los polinizadores influyen en la polinización—hecho que generalmente pasan por alto los fitomejoradores. Se piensa que las abejas melíferas recolectoras de polen son mejores polinizadoras que las recolectoras de néctar, aún en el caso de manzanos y cultivos similares con flores abiertas en forma de cáliz y que

producen una buena cantidad de néctar (Free 1993). Las abejas que cosechan polen son más efectivas en los cultivos que tienen inflorescencias de formas especiales (como el arándano azul y el arándano rojo) (Cane y Payne 1988). Las abejas melíferas son malas polinizadoras de estos cultivos debido a que su colonia tiene sólo una pequeña proporción de recolectoras de polen y porque no tienen capacidad de sacudir el polen de las flores o de

**Cuadro 8.1.** Algunos polinizadores útiles de cultivos comerciales.

Cultivo	Polinizador	Referencia
Trébol blanco ( <i>Trifolium repens</i> ) y otras leguminosas	Abejorros ( <i>Bombus</i> spp.)	Free 1993
Tomates de invernadero y otras solanáceas cultivadas	Abejorros	Banda y Paxton 1991
Frambuesa	Abejorros (superiores a la abeja melífera)	Willmer <i>et al.</i> 1994
Pomelo	Abejas de la huerta ( <i>Osmia</i> spp.)	Kevan 1999
Alfalfa y otras leguminosas cultivadas	Abejas cortadoras de hojas ( <i>Megachile</i> spp.)	Richards 1993
Arándano azul	Abeja del arándano ( <i>Habropoda laboriosa</i> )	Cane y Payne 1988, 1990
Calabaza y zapallo	Abeja de la calabaza ( <i>Peponapis pruinosa</i> )	Kevan 1999
Pasifloras	Abejas carpinteras ( <i>Xylocopa</i> spp.)	Mardan <i>et al.</i> 1991
Palma aceitera	Gorgojo de la palma aceitera ( <i>Elaeidobius kamerunicus</i> Faust, Curculionidae)	Kevan 1999
Diversas anonáceas cultivadas	Escarabajos	Roubik 1995
Cacao	Mosquillas o beatillas (Diptera: Ceratopogonidae)	Free 1993; Roubik 1995
Mango	Moscas y otros insectos	Free 1993; Roubik 1995
Durián	Murciélagos	Roubik 1995
Anacardo o marañón	Abejas melíferas ( <i>Apis mellifera</i> ) y una abeja nativa recolectora de aceite ( <i>Centris tarsata</i> )	Breno <i>et al.</i> 2002

hacer polinización vibrátil (Buchmann 1983). Algunos cultivos que necesitan la polinización de insectos o se benefician de ella no producen néctar y dependen de los insectos recolectores de polen. Algunos ejemplos son el kiwi, el tomate y tal vez la granada. El lupino también produce solamente polen pero automáticamente se autopoliniza.

## Polinizadores

### *Abejas melíferas y apicultura*

La diversidad de las prácticas apícolas va más allá de la utilizada en las colmenas de razas e híbridos europeos de abejas melíferas (*Apis mellifera* spp. *ligustica*, *caucasica* y *carnica*), o de las abejas melíferas italianas, caucásicas o carniolas. Sin embargo, estas abejas y su manejo como polinizadoras o como productoras (miel, cera, propóleo, veneno) son las que mejor se comprenden y más fácilmente se manejan (consultar a Graham 1992; Crane 1990).

En todo el rango de dispersión de *A. mellifera* en África y el Medio Oriente se mantienen razas nativas en diversos tipos de colmenas y con diferentes técnicas de manejo. Muchas de estas razas son defensivas y dadas a fugarse de la colmena, sea ésta artificial o natural, y por tanto son difícil de criar. La así llamada abeja asesina, mejor conocida como la abeja africanizada (un híbrido entre razas europeas y africanas) se ha dispersado desde Brasil a lo largo y ancho de América tropical y subtropical desde la introducción de una raza progenitora africana de *A. m. scutellata* traída del sudeste de África en 1956. Esta abeja es muy defensiva y es fácil provocar su ataque con la presencia de intrusos.

En Asia se crían otras especies de abejas melíferas o el ser humano promueve su explotación. La más importante es la abeja melífera asiática (*Apis cerana*), la cual incluye tanta biodiversidad racial como *A. mellifera* (Kevan 1995). Aunque la abeja melífera asiática ha sido difamada como especie difícil de manejar, recientemente se le ha prestado más atención a su potencial y se ha cuestionado seriamente la práctica de trasplantar abejas melíferas europeas fuera de su hábitat natural. En Asia tropical y subtropical, se usan comercialmente otras especies de abejas melíferas. La miel de *Apis dorsata*, la abeja asiática grande o gigante, se extrae en India, Bangladesh, Sri Lanka, Malasia, Tailandia, Vietnam, Camboya y Laos, al igual que se extrae miel de sus razas o especies hermanas: *Apis laboriosa* en las laderas del Himalaya y *A. d. binghami* en algunas partes del archi-

piélago del sudeste de Asia. También se explota comercialmente la más pequeña de las abejas melíferas, *Apis florea*.

En América tropical y subtropical, donde no hay especies de *Apis* nativas, es tradicional la cría de abejas sin aguijón (Meliponinae) desde épocas precolombinas. Las abejas meliponineas se encuentran en todas las regiones tropicales del mundo y su manejo como polinizadoras para la agricultura tiene un inmenso potencial. Sin embargo, se le ha prestado poca atención a su biología como polinizadora (Roubik 1995).

### *Polinizadores nativos*

Poco se conoce sobre la importancia y la participación de las abejas nativas en la polinización de los cultivos (Kremen et al. 2002). Es muy probable que buena parte del crédito que se le atribuye a las abejas melíferas en realidad le corresponda a otras especies. Castro (2002) estudió unas 32 especies de árboles frutales en Bahía, Brasil, y encontró que, aunque no tan abundante como otras especies exóticas, las abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponinae) son polinizadores importantes. En ambientes *agro-naturales* —ambientes agrícolas que están situados en o retienen parte del paisaje natural tradicional— los polinizadores nativos ofrecen “servicios gratuitos” (Kremen et al. 2002). Sin embargo, estos servicios no son realmente gratuitos; dependen de un ecosistema saludable que le brinde un hábitat a las especies nativas. Las abejas melíferas no nativas y otras especies exóticas tienen una influencia significativa en los sistemas de polinización de las especies nativas (Kremen and Ricketts 2000).

### *Otras especies criadas como polinizadores*

Otras especies de abejas que no producen cantidades suficientes de miel para ser cosechadas pero que se manejan —o tienen el potencial de ser manejadas— como polinizadores incluyen las abejas cortadoras de hojas, las abejas álcali, las abejas de la huerta, las abejas de la calabaza, las abejas del arándano y las abejas carpinteras. Estas abejas se mencionaron anteriormente en relación a determinados cultivos. Crane (1990) hace un listado de unas 50 especies de abejas manejadas comercialmente (algunas) o experimentalmente como polinizadoras. El inmenso valor económico de algunos cultivos ha despertado interés en desarrollar prácticas de manejo adecuado para su polinización exitosa. El caso de la polinización del mañón en Brasil (Recuadro 8.1) es un ejemplo de cuán complejos pueden ser los procesos.

## Desaparición de los polinizadores

Cuatro actividades humanas han sido la principal causa de la desaparición de los polinizadores: el uso de plaguicidas, la destrucción de los hábitats, la dispersión de patógenos y parásitos, y la competencia de visitantes de las flores introducidas.

### *Plaguicidas*

El peligro de los plaguicidas, especialmente los insecticidas, para los polinizadores está bien documentado y entendido, particularmente en lo que concierne a la abeja melífera europea. Menos comprendido, y generalmente pasado por alto, está el problema de los efectos subletales que reducen la longevidad y afectan adversamente las capacidades de algunas abejas para rebuscar alimento y navegar, al igual que su memoria (MacKenzie 1993). Algunos estudios comparativos disponibles dejan en evidencia que la toxicidad de los plaguicidas para las abejas melíferas es un mal vaticinio de los peligros para otras especies (Kevan 1999).

El asunto de los plaguicidas en ambientes no agrícolas y en la agrosilvicultura es más complejo debido a la importancia de una mayor diversidad de polinizadores. En el este de Canadá, el uso de Fenitrotión en Nueva Brunswick para el control del gusano de las yemas del abeto (*Choristoneura fumiferana*) en bosques contiguos a fincas de arándano azul causó reducciones tan drásticas en la abundancia y diversidad de los polinizadores que los rendimientos del arándano azul cayeron muy por debajo de los niveles esperados (Kevan 1999). Finnamore y Neary (1978) identificaron unas 190 especies de abejas nativas asociadas con las flores del arándano azul, el cual necesita ser polinado por insectos. La recuperación posterior parece haberse dado desde períodos de uno o dos años hasta períodos de más de siete años, dependiendo de la severidad del daño (Kevan 1999). Actualmente, el uso de herbicidas que provocan la muerte del forraje alternativo de los polinizadores cuando el arándano azul no está florecido está reduciendo la diversidad y el potencial reproductivo de los polinizadores de este cultivo.

La mayoría de los problemas en el uso de plaguicidas se origina por accidentes, descuidos en la aplicación y mal uso deliberado, a pesar de las advertencias y recomendaciones de las etiquetas (Johansen y Mayer 1990). El problema debe disminuir a medida que se regulan más las aplicaciones

**Recuadro 8.1** Valor económico del marañón o anacardo (*Anacardium occidentale* L.) para Brasil y sus requerimientos de polinización

El marañón (*Anacardium occidentale* L.) es un árbol andromonóico nativo del nordeste de Brasil. Tiene mucha importancia económica en la región por su nuez, aceite y pseudofruto. El valor económico anual estimado del marañón en Brasil muestra las siguientes cifras:

Área total comercial sembrada con marañón	650,000 ha
Rendimiento total anual de nueces	126,000 toneladas métricas
Valor de las exportaciones	
(sólo nueces)	US\$135 millones
(aceite del mesocarpio de la nuez)	US\$91 millones
Valor del cultivo dentro de Brasil	
(nueces, aceite y pseudofruto)	US\$54 millones

Sin embargo, es decepcionante ver los rendimientos tan bajos de los cultivos comerciales. Los estudios sugieren que la principal causa podría ser la polinización inadecuada. La forma de la flor del marañón y su presentación sugieren que sus polinizadores son insectos, especialmente abejas. Aunque se han citado como polinizadores a numerosos insectos –avispas, mariposas y polillas— que visitan las flores del marañón, en la mayoría de los casos la planta no logra fructificar, evidenciando que los visitantes de las flores y los polinizadores no son sinónimos. En el nordeste de Brasil sólo las abejas visitan regularmente y polinizan las flores del marañón. Dos especies de abejas son especialmente eficientes en la polinización de las flores del marañón: la abeja solitaria nativa *Centris tarsata* y la abeja melífera exótica (*Apis mellifera*).

Pero hay dos aspectos relacionados con el descenso en la adecuada polinización de los cultivos comerciales del marañón en el nordeste de Brasil. Por una parte, hay muy pocas visitas, o ninguna, a las flores del marañón cultivado en huertos. *Apis mellifera* no visita fácilmente las flores del marañón aún cuando se libera en los huertos en grandes cantidades debido a la competencia de las malezas en plena floración. En los huertos comerciales de marañón es raro encontrar el otro polinizador apropiado, *C. tarsata*, debido a la perturbación del hábitat y a la falta de técnicas apícolas para criar esta abeja en grandes cantidades. Un segundo aspecto de este descenso está indudablemente relacionado con las prácticas hortícolas en las cuales se cultiva un tipo varietal parcialmente autoestéril en áreas extensas sin tener en cuenta la necesidad de fuentes compatibles de polen. La siembra y resiembra en áreas cada vez mayores de tipos enanos está exacerbando este problema. Una solución obvia es intercalar árboles que produzcan polen compatible con los principales tipos cultivadas, como se hace en los huertos de pomelos. En experimentos de polinización manual llevados a cabo en Australia y Brasil se han identificado tipos o variedades de marañón cuyos cruces muestran rendimientos más altos. Sin embargo, será necesario considerar el manejo de las abejas en cultivos comerciales de marañón porque se las necesitará como vectores del polen compatible.

Recuadro 8.1, continuación

Uno podría concluir que para mejorar los rendimientos de los cultivos de marañón en el nordeste de Brasil, se deben considerar seriamente tanto la conservación y el manejo de sus polinizadores, reconocidos y eficaces, como el diseño de huertos con mezclas apropiadas de variedades de marañón compatibles.

Lecturas adicionales sobre la polinización del marañón en el nordeste de Brasil

Freitas, B. M. 1994. Beekeeping and cashew in north-eastern Brazil: The balance of honey and nut production. *Bee World* 75(4):160-168.

Freitas, B. M. y R. J. Paxton. 1998. A comparison of two pollinators: The introduced honey bee *Apis mellifera* and an indigenous bee *Centris tarsata* on cashew *Anacardium occidentale* in its native range of ne Brazil. *Journal of Applied Ecology* 35:109-121.

Freitas, B. M., R. J. Paxton y J. P. Holanda-Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE Brazil. In P. Kevan and V. L. Imperatriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229-244. Brasília, Brazil: Ministry of Environment.

Holanda-Neto, J. P., B. M. Freitas, D. M. Bueno y Z. B. Araújo. 2002. Low seed/nut productivity in cashew (*Anacardium occidentale*): Effects of self-incompatibility and honey bee (*Apis mellifera*) foraging behaviour. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77(2):226-231.

Fuente: Freitas et al. (2002).

de plaguicidas y se obliga a los usuarios de éstos a tomar cursos de seguridad y uso antes de la certificación. Para reducir los problemas asociados con la aplicación de plaguicidas y aún cuando sean malas las regulaciones sobre su uso, se pueden observar medidas de sentido común, como la no aspersión de plantas florecidas o la aspersión cuando los polinizadores no están buscando alimento.

### ***Destrucción de los hábitats***

La destrucción de los hábitats afecta las poblaciones de polinizadores de tres maneras, de la misma manera que se afectan las poblaciones de cualquier organismo: destruye las fuentes de alimento, destruye los sitios para anidar o para ovipositar y destruye los sitios de descanso o apareamiento. La manera más común de destruir el hábitat es a través del establecimien-

to de monocultivos, del sobrepastoreo, la tala y la quema de bosques y la irrigación.

El ejemplo más ilustrativo de la destrucción de las fuentes de alimento en las áreas agrícolas es la remoción de la vegetación que proporciona alimento a los polinizadores cuando los cultivos no están florecidos (Kevan 2001). Con mucha frecuencia se considera no deseada la vegetación removida, se le considera maleza o competencia para el cultivo; sin embargo, es invaluable para los polinizadores y otros insectos benéficos. La aspersión de herbicidas a lo largo de carreteras y caminos transitados puede reducir la diversidad y la abundancia de fuentes alternativas de alimentos para los polinizadores.

En Manitoba durante la década de los años 50, la expansión, de los campos de alfalfa para producir semilla destruyó los tocones y los troncos en el paisaje. Fue documentada la consecuente desaparición de las poblaciones de abejas cortadoras de hojas con la destrucción de los sitios para anidar y ovipositar (Stephen 1955). En Europa, la disminución de los abejorros ocurrió a medida que disminuía el área de setos vivos no perturbados o de otros paisajes no cultivados (Corbet et al. 1991). En el trópico, la inadecuada polinización de las plantaciones de cacao se debe a la pérdida de los sustratos requeridos por las mosquillas para la oviposición —es decir, la vegetación en descomposición, la cual había sido meticulosamente removida (Winder 1977). En Malasia, por el contrario, se añade sustrato de troncos de palma en descomposición para aumentar las poblaciones de polinizadores (Kevan 1999).

Las manipulaciones del hábitat asociadas con la agricultura por lo general afectan adversamente la disponibilidad de fuentes de alimento y de sitios para anidar, creando un doble problema a los polinizadores nativos. Esta situación es más evidente en poblaciones de polinizadores longevos, como los abejorros. Algunos lugares del mundo en desarrollo, como por ejemplo África, están enfrentando los mismos problemas con los recursos de los polinizadores a medida que se manipulan hábitats para la agricultura. La industria hortícola de Kenia descrita en el Recuadro 8.2 es sólo un ejemplo, entre muchos, de cómo los hábitats silvestres aumentan el vigor y la persistencia de los servicios de los polinizadores naturales.

El tema general de la destrucción de los hábitats de los polinizadores ha despertado preocupación internacional. El artículo “The Deflowering of America” (La Desfloración de América) de Daniel Janzen (1974) ilustra este problema. El autor resalta el círculo vicioso que se genera cuando se reduce la vegetación que provee los recursos a los polinizadores, cuando se reduce la polinización de la vegetación, cuando se impide el éxito re-

**Recuadro 8.2** Los hábitat silvestres proporcionan servicios de polinización a los cultivos hortícolas en Kenia

Muchas áreas naturales de Kenia se están convirtiendo en fincas y campos para la producción hortícola, en su mayoría para el mercado de exportación. Aún los ranchos comunitarios, en comunidades principalmente de ganaderos, tales como los Masai, están empezando a participar en esos mercados.

En el rancho comunitario Ol Kirimatian, al suroccidente de Nairobi y después del Lago Magadi, se han canalizado los ríos pequeños que bajan del risco Nguruman hacia surcos de riego, permitiendo así la horticultura en esta región. La tierra que se está convirtiendo para uso agrícola está poblada principalmente de bosques ribereños de *Acacia tortilis*. Todo el año se cultiva para el mercado; los intermediarios compran los productos hortícolas y los transportan al aeropuerto para venderlos en poco tiempo en los mercados de Europa, entre ellos el de Londres.

Muchos de los vegetales (berenjena, quimbombó, melón amargo o cundeamor chino) cultivados en Ol Kirimatian necesitan o se benefician de los servicios de polinización. La berenjena puede depender enteramente de las abejas nativas como polinizadores, especialmente de las que hacen polinización vibrátil —es decir, muerden la flor y hacen vibrar los músculos de sus alas a determinada frecuencia, de manera que el polen sale volando de pequeños poros en la flor y se puede llevar a otra flor para producir el fruto. Las abejas melíferas no pueden hacer polinización vibrátil, pero dos especies de abejas solitarias que existen en el bosque natural que se está eliminando para darle paso a las fincas son polinizadoras muy efectivas. Una es la abeja carpintera que anida en la madera vieja; la otra abeja anida en la tierra y se llama *Macronomia rufipes*. Las abejas sólo toman polen de la berenjena, puesto que ésta no produce néctar. Por tanto no pueden vivir exclusivamente de las tierras agrícolas sino que buscan diferentes recursos a lo largo de los caminos y en las parcelas de bosque que aún no se han talado.

Se inspeccionaron los ambientes naturales circundantes a las tierras agrícolas para medir el grado en que los polinizadores del cultivo también usan los recursos florales de estos hábitat silvestres. Durante la mayoría de los meses, los polinizadores clave de la berenjena usaron los recursos florales encontrados en las fincas, principalmente las malezas ruderales que crecen a los lados de los caminos. Pero durante el mes más seco, antes de la llegada de las lluvias, los polinizadores clave de la berenjena estaban presentes más tiempo que en otros períodos en los pequeños bosques ribereños de *Acacia tortilis* aún remanentes e hicieron un mayor uso de sus recursos florales.

Se podría argumentar que el hábitat silvestre no está proporcionando la mayoría de los servicios de polinización. Pero si los polinizadores no tuvieran acceso a los recursos florales alternativos del hábitat silvestre, no podrían subsistir —al menos durante los períodos más severos de la estación de seca— en su ecosistema por lo demás árido y marginal. El costo de oportunidad de preservar este hábitat silvestre entre los campos agrícolas sin duda dependerá de sus di-

*El Recuadro 8.2, continúa en la página siguiente*

*Recuadro 8.2, continuación*

versos valores —incluyendo las vainas de semilla forrajera de *Acacia tortilis* para los caprinos— contrarrestándolo con el ingreso potencial de talarlo y convertirlo en sitios de producción de cultivos. El sumar su valor como hábitat para los polinizadores de los cultivos puede ayudar a inclinar la balanza a favor de preservar parte del hábitat silvestre dentro de un paisaje de desarrollo agrícola.

*Fuente:* Barbara Gemmill, African Pollination Initiative (Iniciativa Africana de Polinización), Nairobi, y Alfred Ochieng, Universidad de Nairobi, Departamento de Botánica.

productivo de las plantas, y cuando se reduce la formación de semillas y la fructificación, lo cual resulta en el fracaso de los procesos de reproducir la vegetación con el mismo nivel de biodiversidad que hubiera existido de no presentarse este círculo vicioso.

### *Parásitos y patógenos*

Los ácaros como parásitos de la abeja melífera han generado mucha preocupación a nivel internacional a medida que el ácaro traqueal *Acarapis woodi* y el ácaro *Varroa jacobsoni* se dispersan a velocidades alarmantes (Needham et al. 1988; Connor et al. 1993). Se ha sugerido que muchos apicultores aficionados o de pequeña escala han abandonado sus actividades debido a las complejidades adicionales del manejo de abejas asociado con el monitoreo para detectar la presencia de ácaros y luego controlarlos. El número de colonias ferales de abejas melíferas ha disminuido significativamente a medida que se vuelven comunes las infestaciones de ácaros en todo el territorio estadounidense. El efecto combinado de la pérdida de apicultores aficionados y de las colonias ferales ya ha afectado adversamente la polinización en espacios rurales y urbanos, tal como se predijo unos años atrás (Kevan 1999). Adicionalmente, el control químico de los ácaros puede no ser aceptable para los productores de miel pura por la posible contaminación de la miel como alimento humano y de otros productos de la colmena.

Las enfermedades pueden causar pérdidas graves si no se controlan adecuadamente mediante monitoreos y tratamientos. La enfermedad bacteriana que ataca las larvas de la abeja, conocida como loque americana, es

la más grave en la apicultura de abejas melíferas europeas. Otras enfermedades en la cría de las abejas, como el loque europeo (bacteriana), la cría encalada (fungosa) y la cría ensacada (viral), son menos problemáticas. La única enfermedad grave que afecta la abeja melífera europea cuando está adulta es la disentería (causada por el protozoo *Nosema*). La enfermedad viral de la cría ensacada tailandesa que afecta la abeja melífera asiática causó pérdidas en muchas regiones de Asia azotadas por la epidemia, pero las poblaciones adquirieron resistencia y se recuperaron (Kevan 1995).

Las abejas cortadoras de hojas también sufren enfermedades. La más importante es la enfermedad fungosa cría encalada (causada por *Ascosphaera aggregata*), que afecta la abeja cortadora de hojas de la alfalfa (*Megachile rotundata*) (Vandenberg y Stephen 1982). En algunas áreas se han establecido instalaciones para el diagnóstico, como en el occidente de Canadá donde estas abejas son las polinizadoras más importantes de la alfalfa. El control de esta enfermedad requiere un manejo cuidadoso y sanitario, y la fumigación de los nidos infectados por el patógeno (Goettel et al. 1993).

### *Interacciones competitivas*

La más estudiada de las interacciones competitivas entre polinizadores en su relación con la polinización es el efecto de la abeja melífera africanizada en los polinizadores nativos y en las razas europeas de abeja melífera en América Central y del Sur. Roubik (1978) observó primero las reducciones aparentes en las poblaciones de abejas nativas de América Central después de la invasión de abejas africanizadas. Posteriormente ubicó el fenómeno en un contexto más amplio (Roubik 1989), pero el tema de las interacciones competitivas de las abejas africanizadas con los polinizadores nativos de América Central y del Sur es complejo. Al parecer, ninguna especie indígena se ha extinguido debido a las interacciones competitivas con esta abeja melífera exótica.

En Austria ha habido recientemente un debate sobre los efectos de la introducción de razas europeas de abeja melífera en la flora y fauna de los polinizadores nativos. Paton (1993) concluyó que es preocupante porque las abejas melíferas europeas han reducido la polinización de algunas plantas nativas, especialmente aquellas polinizadas por pájaros, al consumir el néctar que buscan los pájaros y ocasionar cambios en sus poblaciones y hábitos forrajeros. Sugden y Pyke (1991) concluyeron que la competencia con las abejas melíferas disminuía la población de abejas nativas (como la *Exoneura asimillima*). Los efectos de la abeja melífera europea en los

insectos polinizadores nativos no son tan claros desde el punto de vista botánico, pero se evidencian las mismas tendencias con respecto a las abejas nativas. La secuencia de eventos es la siguiente:

1. Las abejas melíferas desplazan los polinizadores nativos al consumir los recursos florales.
2. Es posible que las abejas melíferas no puedan polinizar las flores de las cuales cosecharon estos recursos.
3. Como consecuencia, las plantas no logran la reproducción sexual, o no se reproducen del todo, y sus poblaciones se reducen.
4. Las poblaciones restantes y menguadas de polinizadores nativos se reducen aún más.

Los abejorros criados comercialmente son un componente importante de la producción de tomate en invernaderos (Kevan 1999). Por lo menos tres especies nativas de la región se utilizan: *Bombus terrestris* L. en Europa, *B. impatiens* Cresson en el este de América del Norte y *B. occidentalis* Greene en el oeste de América del Norte. Las introducciones planificadas de especies de abejas no nativas se deben tratar con mucho cuidado, prestando atención a los escapes durante la cuarentena y, con mayor razón, a las posibles ramificaciones ecológicas de esos escapes, que son inevitables. Abejorros europeos se llevaron a Nueva Zelanda, Chile, Tasmania, Japón y posiblemente Argentina (en 1993 ó 1994), en su mayoría sin los cuidados apropiados. Dafni y Shmida (1996) también expresan recelo por el impacto de *Bombus terrestris* en la fauna antófila y en la polinización de la flora del Monte Carmelo en Israel. En Indonesia, la introducción de la abeja melífera asiática (*Apis cerana*) desde el occidente de las líneas de Wallace y Wegener hacia Irian Java, ha resultado en la dispersión de esta abeja a la vecindad de Papúa Nueva Guinea, desde donde existe el riesgo de que se propague hacia Australia. Las consecuencias de estas introducciones en la diversidad natural y abundancia de polinizadores nativos, y consecuentemente en la flora nativa, no se han evaluado.

### *Protección y promoción*

La protección de los polinizadores nativos es crítica para la sostenibilidad de la productividad en el mundo. La destrucción de los hábitats, desde los sitios para anidar hasta el forraje (Janzen 1974), es una cuestión muy importante. Las enfermedades introducidas amenazan la salud de las razas de abejas nativas y sus actividades de polinización en África. A medida que se

reduce el uso de insecticidas está disminuyendo la importancia del impacto de los plaguicidas en la agricultura norteamericana y europea, aunque sigue siendo muy importante en otros lugares. Las interacciones competitivas entre los visitantes de las flores parece ser importante en América subtropical y en Australia.

### Otros antófilos

Muchos antófilos no son importantes como polinizadores, pero los recursos florales son importantes en sus vidas. Otros insectos que visitan las flores también son invaluable, especialmente los depredadores y parasitoides, los cuales son importantes para controlar las poblaciones de insectos que, de otra manera, se volverían plagas en todos los ambientes. Los agentes de control biológico son un grupo especialmente valioso de insectos en los agroecosistemas. Leius (1967) mostró que la incidencia de parasitoides Ichneumonoidea en la palomilla de la manzana en huertos de manzanas fue mayor cuando había disponibilidad en los huertos con recursos florales, como los que proporcionan las malezas. Syme (1975) observó la importancia también de los recursos florales en los bosques para los agentes de control biológico. De hecho, hace bastante tiempo se sugirió que el no poder establecer agentes de control biológico potencialmente útiles contra los escarabajos japoneses se debía, por lo menos parcialmente, a la falta de recursos florales (King y Holloway 1930). Con seguridad, parte del éxito reportado en la alta incidencia de agentes de control biológico de insectos, que son plagas en los sistemas agrícolas de bajos insumos, se puede adjudicar a la disponibilidad de recursos florales (consultar a Kevan 1999).

### *Sistemas de cultivo, sostenibilidad y biodiversidad*

La agricultura está cambiando rápidamente en todo el mundo,. En América del Norte y Europa se están dejando de cultivar algunas tierras (Corbet 1995), mientras que otras tierras se cultivan con mayor intensidad. En otros casos, se están usando prácticas de bajos insumos, ambientalmente sanas —como los métodos orgánicos y la poca o inexistente labranza (Johnston et al. 1971; Gess y Gess 1993). En general, estas tendencias, junto con la disminución en el uso de plaguicidas, son un buen presagio para los polinizadores y la polinización. Sin embargo, no se está implementando una planeación ecológicamente apropiada de estos cambios en el uso de

la tierra, y se ignora en gran parte el lugar crucial que ocupan los polinizadores.

En el mundo en desarrollo, la expansión de la agricultura, el aumento en el monocultivo, la intensificación de los sistemas de cultivo, el uso creciente de agroquímicos y el rápido deterioro de las áreas naturales son todos problemas muy serios. El caso de los valles de manzanas en la región Hindu Kush–Himalaya es un claro ejemplo de la necesidad de prestarle atención a los sistemas de polinización por el bien de un ecosistema sano y por el bien de la industria (Recuadro 8.3). La falta de información adecuada acerca de los roles y la biodiversidad de los polinizadores, y de su disminución en los sistemas naturales y agrícolas es alarmante. Aunque la situación en estos países es extrema y a pesar del impacto que han tenido los esfuerzos del Instituto Internacional de Investigación en Abejas —mediante sus series de Conferencias en Agricultura Tropical (Kevan 2001)— la polinización sigue siendo un área descuidada por la investigación. Al comprender la ecología de la polinización se llega a una mejor economía agrícola mediante rendimientos mejores y más sostenibles, los cuales sin duda conducen a mejores condiciones de vida para las personas involucradas (Figura 8.2).

### Indicadores biológicos

Los bioindicadores son organismos que indican por su presencia (abundancia) o ausencia, las actividades en curso en el ecosistema. Las especies bioindicadoras generalmente se usan para diagnosticar problemas. Existen indicadores de aguas anaeróbicas, de la eutrofización rápida, de la contaminación y de los plaguicidas. También pueden indicar la mejoría de los problemas o aún indicar que se están llevando a cabo las actividades en un ecosistema de acuerdo con las expectativas, dentro de límites normales. En estos últimos casos, las especies utilizadas pueden ser indicadoras de algún aspecto de la salud del ecosistema.

### *Productos agroquímicos*

Los insecticidas provocan la muerte de grandes cantidades de polinizadores, especialmente de abejas melíferas, que también pueden acumular otros plaguicidas en su cuerpo o en sus colmenas. Las técnicas analíticas para detectar residuos de plaguicidas están bien desarrolladas de manera que es posible usar las abejas y los productos apícolas para monitorear los

**Recuadro 8.3** Señales de alerta en los valles de manzanas de la región Hindu Kush–Himalaya

Las manzanas se han convertido en el principal cultivo comercial de la región Hindú Kush–Himalaya (HKH) y han adquirido gran importancia al ayudar a muchos agricultores a salir de la pobreza. Este cultivo representa del 60 al 80% del ingreso total de los hogares y los estudios indican que en las áreas donde se cultivan manzanas ahora hay seguridad alimentaria y bienestar económico. La producción total anual en la región HKH, estimada en 2.2 millones de toneladas métricas de manzanas, representó un ingreso de más US\$500 millones por año para las personas involucradas en el cultivo y comercio de las manzanas.

Sin embargo, el potencial para mejorar es igualmente grande: el rendimiento promedio en la región HKH (2.5 a 12.9 toneladas de manzana por hectárea) es bajo y está disminuyendo. Encuestas de campo realizadas por el Centro Internacional para el Desarrollo Integrado en la Montaña (International Centre for Integrated Mountain Development) han identificado la polinización inadecuada, la escasa fertilización ocasionada por la falta de insectos polinizadores, y la presencia de un clima inclemente, como las causas más importantes de la disminución de la productividad.

Dos factores contribuyen a las deficiencias en la polinización. Muchas de las variedades comerciales de manzanas sembradas por los agricultores en la región HKH son autoincompatibles y requieren la polinización cruzada con una variedad polinizante compatible. Muchos agricultores no lo comprenden o no desean asignar tierras a las variedades que aportan el polen, las cuales tienen poco valor en el mercado. En general, más de la mitad de los agricultores del área de estudio tenían menos del 20% (el mínimo necesario) de variedades donantes de polen en sus huertos; la mayoría sólo tenía entre 7 y 12%.

En años recientes, la diversidad y abundancia de insectos polinizadores naturales ha ido disminuyendo por diversas razones, incluyendo la pérdida de los hábitats que les sirven para anidar y como fuente de alimentos debida a la tala de bosques y al desmonte de pastizales para fines agrícolas, y al uso indiscriminado de plaguicidas. La mayoría de los agricultores identificaron el uso de plaguicidas como la principal causa de pérdida de insectos polinizadores naturales. El aumento en el área de los huertos también ha desempeñado un rol importante puesto que las poblaciones naturales de insectos son demasiado pequeñas para polinizar las grandes áreas recientemente sembradas de manzanos.

En dos de las áreas estudiadas en la región HKH —Himachal Pradesh en India y el Valle Maoxian en China— la productividad cayó tan severamente que las instituciones y los agricultores se vieron obligados a buscar una solución. Fue en estas áreas donde primero se reconoció el problema de la polinización insuficiente, y fue aquí también donde las instituciones y los agricultores empezaron a investigar y evaluar opciones de manejo de la polinización.

Debido a los esfuerzos de las instituciones gubernamentales, la mayoría de los productores de manzanas en Himachal Pradesh están bien conscientes del problema de la polinización de los manzanos y de los factores que la afectan, y

*El Recuadro 8.2, continúa en la página siguiente*

Recuadro 8.3, continuación

están ensayando diferentes maneras para mejorar la polinización. Las prácticas de manejo incluyen la siembra de diferentes variedades de árboles que aportan polen, el aumento de la proporción de estos árboles y el aumento de insectos polinizadores en los huertos, incluyendo el aumento en el uso de colonias de abejas melíferas manejadas por los agricultores.

En el condado de Maoxian en China se ha seguido otra estrategia. La práctica común aquí es la polinización manual de los manzanos. Debido a que los huertos son pequeños, las familias tratan de polinizarlos ellos mismos, entrenando a todos los miembros de la familia y haciendo de esta tarea un esfuerzo comunitario. Los agricultores también comparten su tiempo o contratan mano de obra para polinizar los huertos de manzanos. A estos trabajadores se les ha dado el nombre de “abejas humanas” puesto que hacen el trabajo que harían las abejas melíferas. La ventaja es que se requiere sembrar menos árboles donantes de polen, dejando el máximo de tierra para producir las variedades comerciales de esta fruta, por ser un recurso escaso.

Fuente: Uma Partap, International Centre for Integrated Mountain Development.

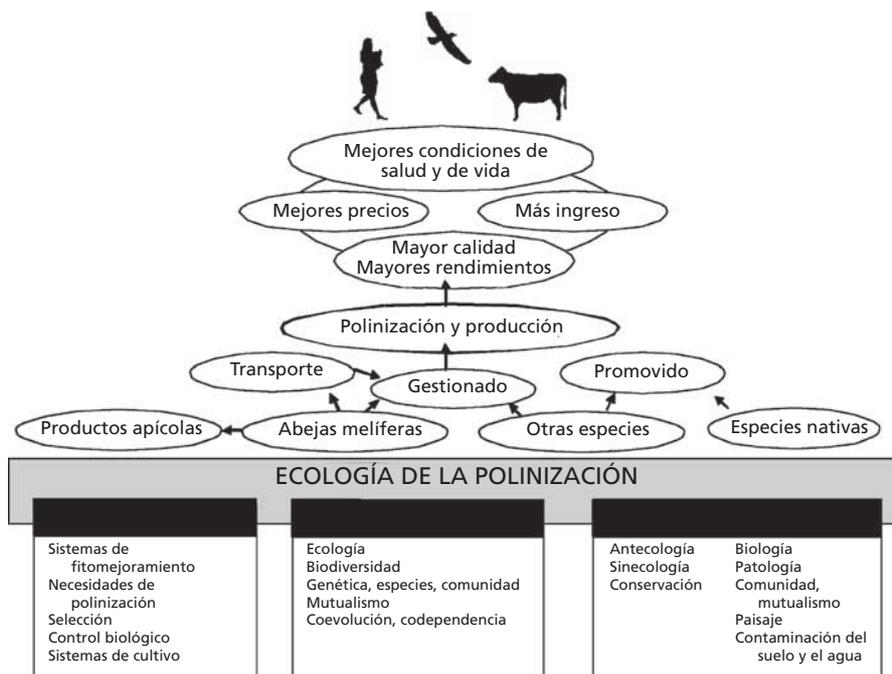


FIGURA 8.2. Una buena comprensión de la ecología de la polinización es la base para tomar decisiones conscientes y apropiadas en relación con los sistemas de producción. Por asociación, esta comprensión conduce a mejores condiciones de salud y de vida para todos los actores involucrados.

plaguicidas en el ambiente. Es más frecuente que se analicen los residuos tóxicos para determinar la causa probable de la muerte de las abejas y el riesgo que generan los plaguicidas a los polinizadores, que para propósitos de monitoreo ambiental.

### *Agentes contaminantes*

Las abejas melíferas con frecuencia se han investigado para monitorear los agentes contaminantes. La miel y el polen se pueden contaminar con diferentes contaminantes industriales. La liberación de arsénico y cadmio puede causar la muerte masiva de abejas melíferas y contaminar el polen pero no el néctar (Krunic et al. 1989). La acumulación de isótopos radioactivos en la miel y el polen después del desastre de Chernóbil en abril de 1986 ilustran el valor de las colonias de abejas melíferas como indicadores de la calidad ambiental a nivel local, regional y mundial (Bunzl et al. 1988; Ford et al. 1988). Las abejas también indican la presencia de fluoruros (Dewey 1973), metales pesados (Stein y Umland 1987) y compuestos orgánicos (Anderson y Wojtas 1986; Morse et al. 1987) a través del néctar floral, el polen y sus propios cuerpos. Se ha abogado para utilizarlas como bioindicadores en entornos naturales, agrícolas, industriales y urbanos; pero a pesar de su valor probado, parece que no se han instituido los programas para usarlas como monitores biológicos (Kevan 1999, 2001).

Bromenshenk et al. (1991) estudiaron el problema de la dinámica poblacional en abejas melíferas en relación con la contaminación y por tanto ampliaron la preocupación por la salud de los polinizadores más allá de los riesgos de los plaguicidas. Hay poca información sobre los efectos de los agentes contaminantes en otros polinizadores. En los datos recopilados por Dewey (1973) se hallaron los niveles más altos de fluoruros, asociados con una planta de reducción de aluminio, en insectos antófilos (desde abejorros hasta mariposas y sirfidos). Ginevan et al. (1980) encontraron que el dióxido de azufre reduce la actividad de los polinizadores (aunque ésta no siempre es mortal), incluyendo las abejas melíferas y los machos de la abeja del sudor (*Lasioglossum zephyrum*).

### *Estrés y salud de los ecosistemas*

La idea de que el concepto de salud se pueda aplicar a un ecosistema no es tan nueva, pero ha tenido dificultad para ser aceptada debido a lo difícil que resulta encontrar maneras de medir esa forma de salud (ver Capítulo 18). Uno de los conceptos unificadores en ecología es que se superpongan

la exclusión competitiva y las jerarquías de nicho, organizadas por grados. Sugihara (1980) plantea que en comunidades complejas de organismos, las especies ocupan una jerarquía de nichos con superposiciones parciales. El resultado teórico de dicho arreglo, teniendo en cuenta también las limitaciones físicas de un ambiente, es la bien conocida relación log-normal entre la diversidad y la abundancia de las especies. Nosotros aceptamos el argumento de Sugihara (1980) en cuanto al sentido biológico detrás de la relación log-normal. Las interacciones entre animales y plantas en la polinización han permitido algunas generalizaciones sobre la estructura y la dinámica de las comunidades ecológicas. Por tanto se las ha incorporado en la medición de la salud del ecosistema que involucra a los polinizadores.

La hipótesis de Kevan et al. (1997) es que en los campos de arándanos azules, estresados por el uso de insecticidas, en la zona sur y central de Nueva Brunswick, Canadá, entre 1970 y 1975, se iba a perturbar la relación log-normal entre la diversidad y la abundancia de especies de abejas polinizadoras. Probamos esta hipótesis utilizando datos de las zonas oriental, central y suroccidental de Nueva Brunswick y en dos períodos: los años durante los cuales se estaba aplicando el insecticida fenitrotión en la parte central del área y los años después de suspender su aplicación en las áreas contiguas a los cultivos de arándano azul. Casi todos los juegos de datos fueron log-normal. Las excepciones fueron los datos de la parte central de Nueva Brunswick, recopilados durante los años de las aplicaciones de fenitrotión. Nuestra conjetura es que la falta de log-normalidad en una de las series de datos indicaba la mala salud ambiental.

## Conclusiones

La conservación de la abeja melífera, de otras abejas domesticadas, de las abejas salvajes y de otros polinizadores es un tema importante en el contexto global de la productividad agrícola y de la productividad natural sostenible. Es un hecho curioso que aunque se conocen la mayoría de los polinizadores de muchos cultivos producidos en las zonas templadas del planeta, se desconocen en su mayoría las relaciones cuantitativas de las poblaciones, actividades y densidades de los polinizadores con las densidades de las plantas y las flores, y el establecimiento de semillas resultante de estas relaciones. Los polinizadores de muchos cultivos tropicales se han identificado mal, se les desconoce o se asume que son abejas melíferas. Además, se desconoce o se mal entienden los sistemas reproductivos de muchos cultivos tropicales. Es importante que los productores apícolas

amplíen sus horizontes para abarcar la cultura de los polinizadores diferentes a las abejas melíferas y comprendan la importancia de esos otros polinizadores en la agricultura. En esta época de creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental del planeta y la conservación de la biodiversidad, la importancia de la polinización y de los procesos que le son dañinos abarca un amplio rango de temas interrelacionados. En el contexto del nuevo espíritu de la sostenibilidad ambiental del planeta y de la conservación de la biodiversidad, los biólogos, ecólogos, agricultores y el ciudadano en general deben reconocer la necesidad de la conservación, de los enfoques imaginativos sobre el manejo de la biodiversidad y de la investigación biológica básica.

### Agradecimientos

Agradecemos a todos nuestros colegas por su generosidad al compartir sus ideas. Estamos agradecidos por todo el trabajo invertido en coleccionar y recopilar el conocimiento existente sobre los polinizadores y su conservación. Hacemos también un reconocimiento al apoyo del Convenio sobre la Diversidad Biológica.

### Referencias

- Anderson, J. y M. A. Wojtas. 1986. Honey bees (Hymenoptera: Apidae) contaminated with pesticides and polychlorinated biphenyls. *Journal of Economic Entomology* 79:1200-1205.
- Banda, H. J. y R. J. Paxton. 1991. Pollination of green house tomatoes by bees. *Acta Horticultura* 288:194-198.
- Breno, M. F., R. J. Paxton y J. P. de Holanda-Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE Brazil. En P. G. Kevan y V. L. Imeratriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229-244. Brasilia- DF, Brasil: Ministerio del Medio Ambiente.
- Bromenshenk, J. J., J. L. Gudatis, S. R. Carlson, J. M. Thomas y M. A. Simmons. 1991. Population dynamics of honey bee nucleus colonies exposed to industrial pollutants. *Apidologie* 22:359-369.
- Buchmann, S. E. 1983. Buzz pollination in angiosperms. En C. E. Jones y R. J. Little, eds., *Handbook of Experimental Pollination Biology*, 73-113. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Buchmann, S. E. y G. P. Nabhan. 1996. *The Forgotten Pollinators*. Washington, DC: Island Press.
- Bunzl, K., W. Kracke y G. Vorwohl. 1988. Transfer of Chernobyl-derived  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ , and  $^{103}\text{Ru}$  from flowers to honey and pollen. *Journal of Environmental Radioactivity* 6:261-269.
- Cane, J. H. y J. A. Payne. 1988. Foraging ecology of *Habropoda laboriosa* (Hymenoptera: Anthophoridae), and oligolege of blueberries (Ericaceae: *Vaccinium*) in South-Eastern United States. *Annals of Entomology* 81:419-427.
- Cane, J. H. y J. A. Payne. 1990. Native bee pollinates rabbiteye blueberry. *Highlights in agricultural Research, Alabama Agricultural Research Station* 37(4):4.
- Castro, M. S. 2002. Bee fauna of some tropical and exotic fruits: Potential pollinators and their conservation. En P. G. Kevan y V. L. Imeratriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 275-288. Brasilia-DF, Brasil: Ministerio del Medio Ambiente.
- Connor, L. J., T. Rinderer, H. A. Sylvester y S. Wongsiri, eds. 1993. Asian apiculture. En *Proceedings of the First International Conference on the Asian Honey Bees and Bee Mites*, 8. Cheshire, CT: Wicwas Press.
- Corbet, S. A. 1995. Insects, plants and succession: Advantages of long-term set-aside. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 53:201-217.
- Corbet, S. A., I. H. Williams y J. L. Osborne. 1991. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community. *Bee World* 72:47-59.
- Crane, E. 1990. *Bees and Beekeeping: Science, Practice and World Resources*. Oxford, Reino Unido: Heinemann Newnes.
- Dafni, A. y A. Shmida. 1996. The possible ecological implications of the invasion of *Bombus terrestris* (L.) (Apidae) at Mt Carmel, Israel. En A. S. L. Matheson, C. Buchmann, P. O'Toole, P. Westrich y I. H. Williams, eds., *The Conservation of Bees*, 183-200. Linnean Society Symposium Series Number 18. Londres: Academic Press.
- Dewey, J. E. 1973. Accumulation of fluorides by insects near an emission source in Western Montana. *Environmental Entomology* 2:179-182.
- Finnamore, B. y M. A. Neary. 1978. Blueberry pollinators of Nova Scotia, with a check list of the blueberry pollinators of Eastern Canada and Northeastern United States. *Annales de la Société Entomologique de Québec* 23:161-181.
- Ford, B. C., W. A. Jester, S. M. Griffith, R. A. Morse, R. R. Zall, D. M. Burgett, F. W. Bodyfelt y D. J. Lisk. 1988. Cesium-134 and cesium-137 in honey bees and cheese samples collected in the US after the Chernobyl accident. *Chemosphere* 17:1153-1157.
- Free, J. B. 1993. *Insect Pollination of Crops*, 2nd ed. Londres: Academic Press.
- Freitas, B. M., R. J. Paxton y J. P. Holanda-Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE

- Brazil. En P. Kevan y V. L. Imperatriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229–244. Brasilia, Brasil: Ministerio del Medio Ambiente.
- Gess, F. W. y S. K. Gess. 1993. Effects of increasing land utilization on species representation and diversity of aculeate wasps and bees in the semi-arid areas of southern Africa. En J. Lasalle y I. D. Gauld, eds., *Hymenoptera and Biodiversity*, 83–114. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Ginevan, M. E., D. D. Lane y L. Greenberg. 1980. Ambient air concentration of sulfur dioxide affects flight activity in bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 77:5631–5633.
- Goettel, M. S., K. W. Richards y D. W. Goerzen. 1993. Decontamination of *Ascosphaera aggregata* spores from alfalfa leafcutting bee (*Megachile rotundata*) nesting material by fumigation with paraformaldehyde. *Bee Science* 3(1):22–25.
- Graham, J. M. 1992. *The Hive and the Honey Bee*. Hamilton, IL: Dadant & Sons.
- Inouye, D. W. 1980. The terminology of floral larceny. *Ecology* 61:1251–1253.
- Janzen, D. H. 1974. The deflowering of America. *Natural History* 83:48–53.
- Johansen, C. A. y D. F. Mayer. 1990. *Pollinator Protection. A Bee and Pesticide Handbook*. Cheshire, CT: WICWAS Press.
- Johnston, A., J. F. Dormaar y S. S. Smoliak. 1971. Long-term grazing effects on fescue grassland soils. *Journal of Range Management* 24:185–188.
- Kevan, P. G., ed. 1995. *The Asiatic Hive Bee: Apiculture, Biology, and Role in Sustainable Development in Tropical and Subtropical Asia*. Cambridge, Ontario, Canadá: Enviroquest Limited.
- Kevan, P. G. 1999. Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:373–393.
- Kevan, P. G. 2001. Pollination: A plinth, pedestal and pillar for terrestrial productivity. The why, how and where of pollination protection, conservation and promotion. En C. S. Stubbs y F. A. Drummond, eds., *Bees and Crop Pollination: Crisis, Crossroads, Conservation*, 7–68. Lanham, MD: Entomological Society of America.
- Kevan, P. G., C. F. Greco y S. Belaoussoff. 1997. Log-normality of biodiversity and abundance in diagnosis and measuring of ecosystemic health: Pesticide stress on pollinators on blueberry heaths. *Journal of Applied Ecology* 34:1122–1136.
- King, J. L. y J. K. Holloway. 1930. *Tiphia popillivora* Rohwer, a Parasite of the Japanese Beetle. U.S. Department of Agriculture Circular No. 145. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Kremen, C. y T. Ricketts. 2000. Global perspective on pollination disruptions. *Conservation Biology* 14:1226–1228.

- Kremen, C., N. M. Williams y R. W. Throp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 99:16812-16816.
- Krunic, M. D., L. R. Terzic y J. M. Kulinčević. 1989. Honey resistance to air contamination with arsenic from a copper processing plant. *Apidologie* 20:251-255.
- Leius, K. 1967. Influence of wild flowers on parasitism of tent caterpillar and codling moth. *Canadian Entomologist* 99:444-446.
- MacKenzie, K. E. 1993. Honey bees and pesticides: A complex problem. *Vector Control Bulletin of the North Central States* 1(2):123-136.
- Mardan, M., I. M. Yatim y M. R. Khalid. 1991. Nesting biology and foraging activity of carpenter bee on passion fruit. *Acta Horticultura* 288:127-132.
- Maues, M. M. 2002. Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonl. Lecythidaceae) in Eastern Amazonia. En P. G. Kevan y V. L. Imperatriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 245-254. Brasilia-DF, Brasil: Ministerio del Medio Ambiente.
- Morse, R. A., T. W. Culliney, W. H. Gutenmann, C. B. Littman y D. J. Lisk. 1987. Polychlorinated biphenyls in honey bees. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 38:271-276.
- Needham, G. R., R. E. Page, M. Delfinado-Baker y C. E. Bowman, eds. 1988. *Africanized Honey Bees and Bee Mites*. Chichester, Inglaterra: Ellis Harwood, LTD.
- Paton, D. C. 1993. Honeybees in the Australian environment. *BioScience* 43:95-103.
- Richards, K. W. 1993. Non-*Apis* bees as crop pollinators. *Revue Suisse de Zoologie* 100:807-822.
- Roubik, D. W. 1978. Competitive interactions between Neotropical pollinators and Africanized honeybees. *Science* 201:1030-1032.
- Roubik, D. W. 1989. *Ecology and Natural History of Tropical Bees*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Roubik, D. W., ed. 1995. *Pollination of Cultivated Plants in the Tropics*. FAO Agricultural Services Bulletin No. 118. Roma: FAO.
- Ruppert, V. 1993. Einfluss blütenreicher Feldrandstrukturen auf die Dichte blütenbesuchender Nutzinsekten insbesondere der Syrphinae (Diptera: Syrphidae). *Agrarökologie* 8:1-149.
- Stein, K. y F. Umland. 1987. Mobile und immobile Probensammlung mit Hilfe von Bienen und Birken. *Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie* 327:132-141.
- Stephen, W. P. 1955. Alfalfa pollination in Manitoba. *Journal of Economic Entomology* 48:543-548.

- Sugden, E. A. y G. H. Pyke. 1991. Effects of honey bees on colonies of *Exoneura asimilima*, an Australian native bee. *Australian Journal of Ecology* 16:171-181.
- Sugihara, G. 1980. Minimal community structure: An explanation of species abundance patterns. *American Naturalist* 116:770-787.
- Syme, P. D. 1975. The effects of flowers on the longevity and fecundity of two native parasites of the European pine shoot moth in Ontario. *Environmental Entomology* 4:337-346.
- Vandenberg, J. D. y W. P. Stephen. 1982. Etiology and symptomology of chalkbrood in the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*. *Journal of Invertebrate Pathology* 39:133-137.
- Willmer, P. G., A. A. M. Bataw y J. P. Hughes. 1994. The superiority of bumblebees to honeybees as pollinators: Insect visits to raspberry flowers. *Ecological Entomology* 19:271-284.
- Winder, J. A. 1977. Some organic substrates which serve as insect breeding sites in Bahian cocoa plantations. *Revista Brasileira de Biologia* 37:351-356.

## 9 Manejo de la biodiversidad del suelo en los ecosistemas agrícolas

---

G. G. BROWN, M. J. SWIFT, D. E. BENNACK, S. BUNNING, A. MONTÁÑEZ Y L. BRUSSAARD

### Dimensiones de la biodiversidad del suelo

El suelo no es sólo una aglomeración de pequeñas partículas de materia orgánica y minerales, con iones que las plantas pueden usar. Es una entidad viva que hospeda innumerables organismos cuya diversidad puede incluso superar la de los organismos que viven fuera del suelo sobre la superficie de la tierra.

Los sistemas edáficos contienen aún los más diversos y dispares vínculos de organismos en la Tierra (Brussaard et al. 1997; Giller et al. 1997; Wall y Moore 1999). Estos organismos tienen una diversidad de tamaño corporal, estrategias de alimentación y hábitos de vida, desde los que son estrictamente acuáticos a los obligadamente terrestres (Bater 1996). En cuanto al tamaño van desde las pequeñísimas bacterias, algas, hongos y protozoos unicelulares hasta los más complejos nematodos y microartrópodos, hasta aquellos que son visibles a simple vista como las lombrices, los insectos, los pequeños vertebrados y las plantas. Esta comunidad de organismos constituye la red trófica del suelo: las interacciones y conversiones de energía y nutrientes entre los productores primarios (plantas, líquenes, musgos, bacterias fotosintéticas y algas), los organismos del suelo que consumen compuestos orgánicos derivados de las plantas, otros organismos y subproductos de los desechos, y unas pocas bacterias que obtienen su energía de los compuestos minerales.

La diversidad de la vida en el suelo (la biodiversidad edáfica) existe e interactúa a nivel genético, interespecífico y ecológico. Es conveniente verla como la suma de todos los organismos que pasan una porción de su

ciclo de vida en el suelo o en su superficie inmediata, incluyendo la basura y la materia orgánica en descomposición en la superficie del suelo. Muchas especies de insectos terrestres en el mundo son habitantes del suelo durante alguna etapa de sus vidas (Bater 1996). La biota edáfica incluye organismos familiares como las termitas, las lombrices y las hormigas, pero también incluye una multitud de invertebrados y microorganismos no tan bien conocidos.

En ningún otro sitio de la naturaleza están las especies tan densamente agrupadas como en las comunidades edáficas (Hågvar 1998). Por ejemplo, sólo un gramo de suelo puede contener varios miles de especies de bacterias y millones de individuos (Torsvik et al. 1994). Un suelo corriente, sano, puede contener diversas especies de animales vertebrados y lombrices, entre 20 y 30 especies de ácaros, entre 50 y 100 especies de insectos, decenas de especies de nematodos, cientos de especies de hongos y tal vez miles de especies de bacterias y actinomicetos (Ingham 1999). La biodiversidad del suelo tiende a ser mayor en los bosques y en las tierras poco o no perturbadas (como las praderas), que en las pasturas o los campos cultivados. Sin embargo, la diversidad, la cantidad y los tipos de organismos pueden variar entre sistemas de uso de la tierra y ambientes ecológicos, dependiendo de muchos factores, incluyendo la ventilación, la temperatura, la acidez, la humedad, el contenido de nutrientes, y la calidad y cantidad de materia orgánica, los que se ven muy afectados por la actividad humana.

El suelo es también un medio físicamente complejo. Entrecruzada por una red de microporos, macroporos y túneles, la matriz del suelo con el espacio de sus poros y una gran área superficial, hospeda una diversidad de organismos y sus procesos de vida biológicamente mediados. La gran variabilidad espacial y temporal en la materia orgánica, el agua y otros nutrientes disponibles promueve una estructura de nicho compleja en el suelo. La estructura del suelo y sus recursos alimenticios proporcionan las condiciones para la evolución y el mantenimiento de interacciones tróficas complejas, interconectadas y a veces incluso funcionalmente redundantes entre los organismos del suelo. En el contexto de esta complejidad ecológica, miles de comunidades de plantas, animales y microbios coexisten y proveen diversas funciones y servicios. Sin embargo, este ecosistema edáfico, dinámico y subterráneo se conoce y comprende poco y, por tanto, no se maneja correctamente.

Esta inmensa diversidad, además de las dificultades técnicas asociadas al estudio de los ecosistemas edáficos y la falta de taxónomos para describirla, han resultado en un pésimo conocimiento de la biodiversidad de los suelos del planeta. Los pocos inventarios taxonómicos actualmente dispo-

**Cuadro 9.1.** Cantidad total de especies descritas de los principales miembros de la biota edáfica.

Tamaño, Clase, Organismo	Cantidad de Especies Descritas
<b>Microorganismos</b>	
Bacterias y arqueas	3,200
Hongos	60,000
<b>Microfauna</b>	
Protozoos (Protistas)	36,000
Nematodos	15,000
Rotíferos	2,000
Tardígrados	750
<b>Mesofauna</b>	
Ácaros	~45,000
Colémbolos (Collembola)	7,500
Seudoescorpiones	3,235
Dipluros	659
Sínfilos	200
Paurópodos	700
Enquitreidos	800
<b>Macrofauna</b>	
Insectos herbívoros que consumen raíces	>40,000
Escarabajos (Coleoptera)	350,000
Milpiés (Diplopoda)	10,000
Ciempis (Chilopoda)	2,500
Escorpiones	1,259
Arañas	38,884
Caracoles (Gastropoda)	30,000
Cochinillas (Isopoda)	4,250
Termitas (Isoptera)	2,800
Hormigas (Formicidae)	11,826
Murghanos o segadores (Opiliones)	5,500
Lombrices (Oligochaeta)	3,800
Onicóforos (Onchophora)	90

*Fuentes:* Hawksworth y Mound (1991); Brussaard et al. (1997); Wall y Moore (1999); Moreira et al. (2006); Lewinsohn y Prado (2005, 2006).

nibles se quedan cortos en ilustrar con precisión la cantidad de especies que viven en los sistemas del suelo. Debido a que las comunidades edáficas son tan diversas y sin embargo tan poco conocidas y descritas, se las ha venido a llamar “la última otra frontera biótica” (André et al. 1994), o “el bosque tropical lluvioso de los pobres” (Usher et al. 1979).

El cuadro 9.1 presenta los estimados disponibles de la cantidad de especies descritas para las biotas edáficas seleccionadas. Cabe destacar, sin embargo, que estos posibles son preliminares y muy inferiores a la cantidad total de especies estimadas para cada grupo. Por ejemplo, se han descrito entre 18,000 y 35,000 especies fúngicas que habitan en el suelo, pero la cantidad proyectada puede ser superior a las 100,000 especies (Hawksworth 1991). Se cree que la riqueza de especies de nematodos y ácaros es aún mayor, a pesar de que se ha descrito hasta la fecha sólo 3% y 5%, respectivamente, de su cantidad total (Hawksworth y Mound 1991). Los estimados para las bacterias y arqueas son especialmente problemáticos (Hawksworth y Kalin-Arroyo 1995) porque la opinión científica está dividida en cuánto a qué criterios usar para definir cada especie en estos grupos. Además, las dificultades para aislar y cultivar las cepas puras de estos organismos complican su identificación. No obstante, el desarrollo de métodos moleculares para extraer y describir la composición genética de la microflora del suelo ha dado inicio a una nueva era de estudio de las bacterias y otros microbios en el suelo, y se puede esperar que revolucione la ecología microbiana de manera fundamental (consultar a Amman y Ludwig 2000; Torsvik y Ovreas 2002).

Funciones del ecosistema, efectos de escala y jerarquías reguladoras

El estudio de los organismos del suelo es un requisito no sólo por su gran diversidad y sus complejas interrelaciones sino también porque estos organismos realizan funciones clave, tanto en los ecosistemas naturales como en los agroecosistemas (Cuadro 9.2). El suelo es un sitio donde suceden muchos procesos globales mediados por la vida edáfica, de los cuales los más importantes son el reciclaje de nutrientes, el secuestro de carbono y la fijación de nitrógeno.

Específicamente, la biota edáfica es responsable de las modificaciones en el ambiente del suelo, afectando las propiedades y los procesos físicos, químicos y biológicos. Por ejemplo, la mayoría de los animales, las raíces de plantas y algunos microbios involucrados en la bioturbación (moviendo o consumiendo suelo) influyen en la creación de la estructura del suelo, y por ende también afectan los procesos hidrológicos y los regímenes de agua del suelo (como la infiltración, el drenaje, la capacidad de retención de agua). Hay muchos microorganismos íntimamente involucrados en las

**Cuadro 9.2.** Funciones del ecosistema desempeñadas por diferentes miembros de la biota edáfica.

Funciones	Organismos Involucrados
Mantenimiento de la estructura del suelo	Bioturbación (movimiento o consumo de suelo) por invertebrados y sistemas radiculares de las plantas, micorrizas y algunos tipos de microorganismos
Regulación de la hidrología del suelo	Invertebrados con mayor potencial de bioturbación y sistemas radiculares de las plantas
Intercambio de gases con la atmósfera y secuestro de carbono	La mayor parte de los microorganismos y sistemas radiculares de las plantas y algunas cantidades de carbono retenidas en agregados compactos de origen biogénico (como las pelotas fecales de los invertebrados)
Eliminación de compuestos tóxicos del suelo	La mayor parte de los microorganismos del suelo
Ciclo de nutrientes	La mayoría de microorganismos y los sistemas radiculares de las plantas, así como algunos invertebrados que se alimentan del suelo y de la hojarasca
Descomposición de la materia orgánica	Varios invertebrados saprofiticos o que se alimentan de la hojarasca (detritívoros), hongos, bacterias, actinomicetos y otros microorganismos
Supresión de plagas, parásitos y enfermedades	Plantas, micorrizas y otros hongos, nematodos, bacterias y otros diversos microorganismos, colémbolos, lombrices y varios predadores
Fuentes de alimentos y medicinas	Raíces de algunas plantas, algunos insectos (grillos, larvas de escarabajos, hormigas, termitas), lombrices, vertebrados, y microorganismos y sus subproductos
Relaciones simbióticas y asimbióticas con las plantas y sus raíces	Rizobios, micorrizas, actinomicetos, bacterias diazotrópicas, varias especies de microorganismos rizosféricos y hormigas
Control del crecimiento de las plantas (positivo y negativo)	Efectos directos: sistemas radiculares, rizobios, micorrizas, actinomicetos, patógenos, nemátodos fitoparasíticos, insectos rizófagos, microorganismos de la rizosfera que promueven el crecimiento de las plantas, agentes de control biológico. Efectos indirectos: la mayor parte de la biota edáfica.

relaciones simbióticas o parasíticas con las plantas y en la protección de las plantas contra insectos plaga, parásitos microbianos y enfermedades. Algunos microorganismos son promotores asimbióticos del crecimiento de las plantas y viven principalmente en la rizosfera; otros son microbios activos en la degradación de contaminantes como los plaguicidas y los derivados del petróleo, en la descomposición de la materia orgánica, en el reciclaje de nutrientes y en el secuestro de gases de invernadero, especialmente metano, óxido nítrico y dióxido de carbono. Finalmente, muchos organismos del suelo son fuentes directas o indirectas de alimentos y medicinas.

Por tanto, son muchas las maneras en que determinados organismos actúan en el suelo y muy diversas sus contribuciones a las funciones del ecosistema. Su importancia puede depender de las diferencias en el tamaño del cuerpo, los patrones de comportamiento, la densidad y la dinámica poblacional, las estrategias de sus historias de vida, los requisitos alimentarios y de hábitat, y las interacciones con otros organismos (tanto sinérgicas como antagónicas). Las escalas espaciales y temporales son de máxima importancia para determinar el efecto funcional general de determinadas especies en el ambiente edáfico (Anderson 2000). Muchos organismos y especies pueden contribuir a un proceso edáfico específico, funcionando

#### Recuadro 9.1 ¿Qué es un ingeniero del ecosistema?

Los ingenieros del ecosistema (Jones et al. 1994) son las especies que directa o indirectamente regulan la disponibilidad de recursos para otras especies (y a veces para ellos mismos) cuando ocasionan cambios físicos a los materiales bióticos y abióticos (como el suelo). Las actividades de estas especies alteran, mantienen o crean hábitats. Los *ingenieros alogénicos* cambian el ambiente cuando transforman los materiales (vivos o muertos) de un estado físico a otro por medios mecánicos o de otra índole. Algunos ejemplos de la ingeniería alogénica en el ecosistema edáfico son las actividades de las lombrices (excavar, defecar y alimentarse), que alteran la estructura física del suelo y modifican la disponibilidad de materia orgánica muerta y de recursos para otros organismos del suelo, incluyendo las raíces de las plantas (Lavelle et al. 1997). Los *ingenieros autógenos* modifican el ambiente a través de su propia biomasa, viva o muerta. Un ejemplo de los ingenieros autógenos son los árboles, que modulan la hidrología, el ciclo de nutrientes, la estabilidad del suelo, la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, los niveles de luz y la disponibilidad de alimentos y otros recursos para diversos organismos.

en diferentes escalas de magnitud en el espacio y en el tiempo. Aún más, muchos organismos o especies contribuyen a diversos procesos.

Por ejemplo, los nematodos que consumen bacterias y hongos en escala micrométrica pueden influir en la mineralización del nitrógeno (Ingham et al. 1985), y los ácaros y colémbolos que se alimentan de nematodos y hongos en una escala de unos pocos milímetros pueden afectar los procesos de la comunidad microbiana en una escala de varios centímetros. (Anderson

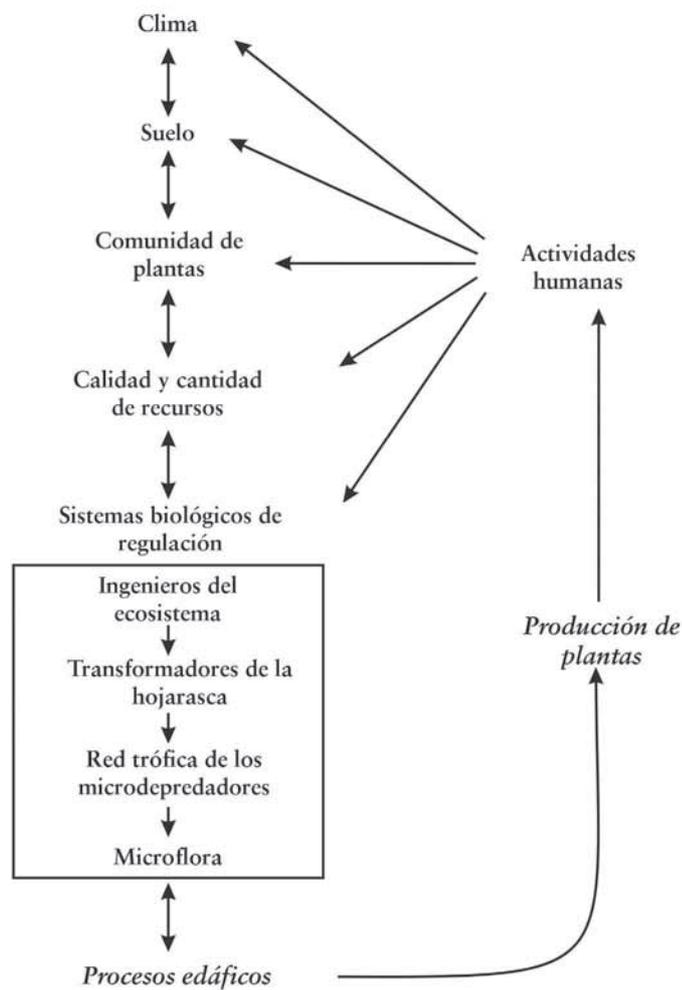


FIGURA 9.1. Organización jerárquica de la función del suelo (según Lavelle 1996).

1995). Por otro lado, las actividades de las lombrices generan túneles y excavaciones de varios milímetros de diámetro y varios centímetros de largo, que a su vez afectan la estructura del suelo y los procesos hidrológicos en una escala de varios metros. Finalmente, el amplio rango de actividades de las colonias de termitas y hormigas puede afectar los procesos físicos y químicos del suelo a lo largo y ancho de muchas hectáreas (Swift et al. 1996). Estas estructuras por lo general duran mucho tiempo (hasta varias décadas), sobrepasando mucho el lapso de vida individual de los organismos que las crearon. En consecuencia, estas actividades de ingeniería del suelo (Recuadro 9.1) de las hormigas, termitas y las lombrices pueden modificar el suelo como hábitat para otros organismos, incluyendo las plantas, los invertebrados y los microbios.

Por tanto, las actividades de los organismos más pequeños del suelo se expresan en el contexto de efectos atribuibles a organismos del suelo más grandes, de manera que se instituye un sistema jerárquico de controles hacia arriba y hacia abajo (Lavelle et al. 1997). En dicho sistema, los efectos de la actividad biológica en escalas más grandes de la magnitud espacial y temporal restringen el desempeño biológico en escalas menores (recuadro pequeño de la Figura 9.1). Adicionalmente, las actividades de todos los organismos del suelo se expresan en el contexto de la calidad y cantidad de recursos, las propiedades del suelo y las condiciones climáticas, las cuales también están jerárquicamente organizadas.

En la comunidad edáfica, el control de abajo hacia arriba (la retroalimentación) se presenta cuando determinado organismo (o grupo de organismos) tiene la capacidad de afectar otros organismos ubicados en niveles superiores de la jerarquía (ver Figura 9.1). Se ha sugerido, por ejemplo, que las lombrices pueden influir tanto en la inclusión de nuevas plantas como en la composición de las comunidades de plantas cuando consumen y evacúan (como heces) una proporción importante del banco de semillas en el suelo; cuando seleccionan y consumen de forma preferencial las semillas de determinadas especies de plantas, conduciendo a la germinación preferencial; cuando digieren o descomponen en sus estómagos las semillas de determinadas especies de plantas, de diferentes maneras y en diferentes grados, dependiendo de la testa protectora de la semilla y los procesos digestivos de las lombrices; cuando dispersan las semillas de determinadas especies de plantas a través del perfil del suelo o cuando las depositan en la superficie del suelo; y cuando promueven el crecimiento de determinadas especies de plantas dependiendo de los cambios físicos, químicos y biológicos inducidos en el ambiente edáfico por sus actividades (Willems y Huijsmans 1994; Pearce et al. 1994; Decaëns et al. 2001; Brown et al. 2004).

### *Clasificaciones funcionales de la biota edáfica*

La diversidad de la biota edáfica, junto con su amplio rango de roles relacionados con procesos ambientales, ha hecho que los biólogos del suelo propongan diversas clasificaciones para los organismos del suelo en grupos funcionales. En estas clasificaciones, los organismos se dividen en grupos (no necesariamente relacionados con su clasificación taxonómica) que desempeñan funciones redundantes o similares. Estos grupos ayudan a ilustrar de manera simple las funciones desempeñadas en el suelo, los organismos que las desempeñan, y qué funciones y biotas pueden ser más importantes en determinados ecosistemas. De las diferentes clasificaciones funcionales disponibles, tal vez las más útiles categorizan los organismos del suelo de acuerdo con el tamaño del cuerpo, el comportamiento alimenticio (o los niveles tróficos), las estructuras físicas que producen y una combinación de cualquiera de estos tres parámetros.

#### TAMAÑO DEL CUERPO

El tamaño corporal no siempre está relacionado con la función, pero se puede usar como un sistema sucedáneo de la función ecológica de la biota edáfica. Por ejemplo, la capacidad para transportar, ingerir o modificar sustancialmente la estructura física del suelo por lo general está positivamente relacionada con el tamaño corporal del organismo, de manera que los organismos más grandes (lombrices, termitas y hormigas) tienen más capacidad para modificar el suelo que los más pequeños (con la notable excepción de los hongos micorrizas). Por otro lado, la biota menor (ácaros, colémbolos y en especial los microorganismos) se encarga de la descomposición de la hojarasca y las reacciones químicas del suelo, aunque algunos organismos más grandes (los trituradores de la hojarasca) pueden llegar a ser especialmente importantes en la preparación de materiales para la biota más pequeña y para facilitar los roles de estos últimos. Por tanto, una clasificación basada en el diámetro corporal brinda una cierta correlación entre la taxonomía y la función.

La *macrobiota* y la *megabiota* (organismos generalmente de más de 2.0 mm de diámetro y visibles a simple vista) incluyen dos grandes grupos: los vertebrados comunes (culebras, lagartijas, ratones, conejos, lobos, tejones, topos), que principalmente excavan el suelo en busca de alimentos y protección (megafauna), y los invertebrados (hormigas, termitas, milpiés, ciempiés, lombrices, cochinillas de la humedad y otros crustáceos, gusanos, cigarras, hormigas león, larvas de y escarabajos adultos, larvas

de moscas, tijeretillas, pececillos de plata, caracoles, arañas, murgaños o segadores, escorpiones, grillos y cucarachas) que se alimentan de y viven en o sobre el suelo o la hojarasca superficial y sus componentes (macrofauna). Los insectos grandes como las abejas y las avispa ocasionalmente cavan el suelo, pero generalmente no se les considera organismos del suelo, a pesar de que su influencia puede ser importante. Finalmente, los sistemas radiculares de las plantas tienen efectos muy duraderos y sobre un área grande de las poblaciones de plantas y animales que habitan por encima y por debajo de la superficie de la tierra, y por tanto se las debe incluir entre la biota edáfica.

La *mesobiota* (organismos que generalmente tienen un diámetro de entre 0.1 y 2.0 mm) incluye principalmente a los micro artrópodos, como los pseudoescorpiones, proturos, dipluros, colémbolos, ácaros, pequeños miriódodos (pauródodos y sínfilos) y los enquitreidos que parecen lombrices. Este grupo de organismos tiene poca habilidad para excavar, generalmente vive en los poros del suelo, y se alimentan de materia orgánica, microbiota y otros invertebrados.

La *microbiota* está compuesta por los organismos más pequeños (menos de 0.1 mm de diámetro) e incluye una *microflora* extremadamente abundante, ubicua y diversa (algas, bacterias, arqueas, cianobacterias, hongos, levaduras, mixomicetos y actinomicetos), capaz de descomponer casi cualquier material natural existente; este grupo incluye tanto las especies fitopatógenas como las que promueven el crecimiento de las plantas. Está también la *microfauna* (nematodos, protozoarios, turbelarios, tardígrados y rotíferos), que viven generalmente en películas de agua en el suelo y se alimentan de la microflora, las raíces de las plantas, otra microfauna y a veces algunos organismos más grandes.

#### COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO

El comportamiento alimentario también puede servir como un sistema de sustitución de la función ecológica de la biota edáfica porque el uso de determinadas fuentes de alimentos por parte de los organismos del suelo puede conllevar efectos en cascada en la cadena alimentaria trófica, afectando finalmente la función edáfica. Estas interacciones se pueden apreciar entre organismos y los niveles tróficos en cadenas alimenticias complejas en el suelo, donde algunos organismos subsisten de plantas y animales vivos, mientras que otros se alimentan de restos de plantas, hongos y bacterias, y aún otros viven de sus hospederos de manera parasítica o simbiótica, debilitando pero no eliminando su hospedero o ayudándolo a crecer.

Otro esquema de clasificación (Lavelle 2000) agrupa los organismos del suelo de acuerdo con las estructuras biogénicas que producen (como poros, agregados y estructuras o tejidos), que sirven como “hotspots” (sitios de mucha actividad) para diversas funciones y procesos edáficos (ver Cuadro 9.2). Los dominios funcionales representan esferas de influencia, o una ubicación física donde opera —con determinada escala espacial y temporal— el proceso básico que constituye parte de la función del suelo (Lavelle 2002). Estas ubicaciones y estructuras generalmente se pueden separar de la matriz del suelo. Algunos ejemplos de los dominios biológicos (esferas) incluyen la drilosfera (lombrices), la termitosfera (termitas), la mirmecosfera (hormigas), la rizosfera (raíces) y la hojarasca.

Cada estructura del suelo es parte de un dominio funcional, aunque algunas estructuras se pueden incorporar en más de un dominio. Las fronteras entre dominios no siempre son claras y pueden presentarse interacciones entre dominios (Brown et al. 2000). Los dominios funcionales pueden tener efectos positivos o negativos importantes en la agricultura.

### *Beneficios económicos de la biodiversidad del suelo*

Tradicionalmente se ha considerado que el suelo es un sustrato para las plantas, lo cual puede ser el rol más crucial del suelo para la humanidad. Sin embargo, el suelo también es el lugar de innumerables interacciones que controlan una multitud de servicios directos e indirectos útiles para la humanidad y para el ambiente natural—reciclaje de desperdicios orgánicos, formación de suelo, fijación de nitrógeno, biorremediación de la contaminación química y control biológicos de plagas —así como fuente de alimentos y productos biotecnológicos.

Se ha estimado que el valor de los servicios ambientales proporcionados cada año por la biota edáfica en el planeta puede exceder los US\$1.5 billones (Pimentel et al. 1997; ver Capítulo 18), y que sólo el reciclaje de desperdicios orgánicos aporta alrededor del 50% del total de los beneficios de la actividad de la biota edáfica en el mundo. Si no fuera por las actividades de descomposición y reciclaje realizadas por los organismos del suelo, gran parte de la superficie del planeta estaría cubierta de desechos orgánicos.

Normalmente no se le pone precio en el mercado a los beneficios externos de la biodiversidad del suelo y de otros bienes ambientales. Por tanto, un paso grande e importante hacia una conservación efectiva incluye una

evaluación adecuada del valor de los servicios ambientales derivados de la biodiversidad del suelo, así como el pago de estos servicios, al tiempo que se reconoce que muchos organismos del suelo también actúan en detrimento de la agricultura y de la sociedad humana.

### **Panorama mundial de las tendencias en el uso de la tierra y de las amenazas a la biodiversidad del suelo**

A escala mundial, las actividades humanas responsables de la pérdida permanente tanto de especies como de hábitats amenazan la biodiversidad del suelo. La actual crisis de la biodiversidad (Wilson 1985), a diferencia de las que se vivieron en el pasado, tiene sus raíces en los patrones de la organización social humana, el comercio internacional y el consumo de recursos naturales, el crecimiento de la población humana, la adopción generalizada de sistemas económicos y políticas que no valoran el medio ambiente y sus recursos, y la inequidad de la propiedad, el manejo y el flujo de los beneficios derivados del uso y la conservación de los recursos biológicos (McNeely et al. 1995).

#### *La biodiversidad y la intensificación de la agricultura*

El desequilibrio entre la perspectiva humana a corto plazo (socioeconómica) y a largo plazo (ecológica) sobre cómo manejar el paisaje (como la producción agrícola) puede tener consecuencias desastrosas, si se tiene en cuenta la inmensa escala a la que se desarrollan las actividades agrícolas en el mundo: el 11% de toda la superficie terrestre se utiliza para la producción de cultivos en los países en desarrollo, el 25% para el pastoreo de ganado y el 30% para la silvicultura (FAO 2002). En general, la intensificación agrícola está asociada a un mayor grado de especialización para el comercio de productos agrícolas básicos (como la soya en los países en desarrollo) y con tecnologías mejoradas y un mayor uso de insumos. El aumento en el uso de plaguicidas y herbicidas con la intensificación agrícola tiende a estar asociado con la agricultura de altos insumos externos para poder sostener la alta producción y las ganancias rápidas. Pero también está ocasionado por la negligencia y la ignorancia (a nivel de las políticas, las tecnologías y los agricultores) respecto a los riesgos que le ocasionan al ambiente y al funcionamiento del ecosistema. Por tanto, se está dando una homogenización de los sistemas de cultivo, que está resultando en la pér-

didada de agrobiodiversidad, y de la biodiversidad asociada, a nivel genético, de especies y del paisaje.

La valoración de estas pérdidas en los países en desarrollo está severamente limitada por la falta de información sobre los cambios cuantitativos y cualitativos en el uso de plaguicidas, la carga animal en la ganadería y las poblaciones silvestres, y las prácticas de uso y manejo de la tierra. El conocimiento de la biodiversidad del suelo está especialmente limitado debido a su complejidad y al hecho de que es prácticamente invisible. Se estima que estos riesgos van a persistir porque en muchos casos las condiciones socioeconómicas y las fuerzas del mercado no favorecerán la adaptación por parte de los pequeños y los grandes agricultores de sistemas diversos y enfoques agroecológicos que conserven la diversidad biológica, protejan los recursos terrestres y acuáticos, y garanticen un uso adecuado y equilibrado de los fertilizantes orgánicos y minerales para compensar la extracción de nutrientes del suelo de la agricultura y la ganadería.

Los eventos catastróficos, tanto del pasado como del presente, sirven de advertencia contra el abuso y el mal uso de nuestras tierras. Civilizaciones antiguas enteras han desaparecido debido a la degradación del suelo, sometido a usos agrícolas intensivos y no sostenibles (Lowdermilk 1978; Hillel 1991). Mejorar el uso de la tierra y las prácticas de manejo es una necesidad urgente para poder detener la degradación edáfica, restaurar las tierras ya perjudicadas y mejorar la fertilidad del suelo y la productividad agrícola.

#### *Las prácticas agrícolas y la biota edáfica*

En los últimos años se han intensificado los esfuerzos para frenar la pérdida de diversidad, pero siguen siendo modestos y se han quedado rezagados frente a la velocidad del cambio inducido por los seres humanos. Aún más, su aplicación se ha enfocado principalmente en preservar una pequeña cantidad de especies, especialmente las plantas y animales grandes para el turismo y por razones estéticas, y las especies que proporcionan alimentos, fibra y otros productos. En términos generales, se han descuidado los pequeños organismos, en especial la biota edáfica que domina la estructura de las cadenas tróficas y las funciones básicas de los ecosistemas naturales. En un taller reciente, se discutieron algunas estrategias y medios mediante los cuales se podría conservar y manejar la biodiversidad del suelo en los agroecosistemas, dentro del contexto de las actividades emprendidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y otras organizaciones colaboradoras en la Iniciativa

**Recuadro 9.1** La Iniciativa Internacional para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica de los Suelos, del Convenio sobre la Diversidad Biológica

La Decisión VI/5 (CBD 2002:78), de la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) optó por “establecer la Iniciativa Internacional para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica de los Suelos como una iniciativa intersectorial dentro del programa de trabajo sobre agrobiodiversidad, e invitó a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y otras organizaciones relevantes, a facilitar y coordinar esta iniciativa” (ver más información y actividades de la FAO y sus socios en [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/)).

La FAO y Embrapa-Soya en Londrina, Brasil, organizaron conjuntamente, en junio de 2002, un taller técnico internacional sobre el manejo biológico de los ecosistemas edáficos para una agricultura sostenible, como una actividad inicial de colaboración con el objetivo de discutir los conceptos y las prácticas del manejo integrado de suelos, compartir las experiencias exitosas en el manejo biológico del suelo e identificar las prioridades para la acción en el marco de la Iniciativa de la Diversidad Biológica de los Suelos. FAO (2003) publicó el informe completo de este taller ([www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/docs.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/docs.stm)); también se pueden encontrar otros documentos adicionales en Brown et al. (2002a).

En la 8ª Conferencia de las Partes del CDB en Curitiba, en marzo de 2006, las partes en el Convenio endosaron el marco de trabajo propuesto para la acción y la implementación de la iniciativa, como se presentó originalmente (FAO 2003), e invitaron a otros gobiernos, organizaciones internacionales, organizaciones no gubernamentales y otros actores interesados para que apoyaran e implementaran la iniciativa, y para aportar estudios de caso adicionales sobre biodiversidad del suelo con el fin de fortalecer la iniciativa.

En el marco de trabajo se identificaron tres áreas estratégicas de acción:

- Un mayor reconocimiento a los servicios esenciales provistos por la diversidad del suelo en todos los sistemas de producción y su relación con el manejo sostenible de la tierra
- Fortalecimiento de la capacidad para promover enfoques integrados y actividades coordinadas para el uso sostenible de la biodiversidad del suelo y para el mejoramiento de las funciones del agroecosistema, incluyendo la evaluación y el monitoreo, el manejo adaptativo, la investigación dirigida y el desarrollo
- Desarrollar asociaciones y procesos cooperativos mediante la institucionalización y las acciones coordinadas entre socios para promover activamente la conservación, la restauración y el uso sostenible de la biodiversidad del suelo, y la mayor contribución de los organismos benéficos del suelo a la productividad sostenible de los agroecosistemas

*El Recuadro 8.2, continúa en la página siguiente*

*Recuadro 8.3, continuación*

El progreso de esta iniciativa dependerá de la movilización de apoyo político y de la inversión en enfoques ambientales y de manejo biológico del suelo, que también requieren la valoración económica de la pérdida de la biodiversidad del suelo, sus funciones benéficas y los servicios ambientales aportados en condiciones específicas de cultivo.

Internacional para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica de los Suelos, del Convenio sobre la Diversidad Biológica (Recuadro 9.2).

No obstante, existen algunas tendencias positivas: la expansión de principios y prácticas de agricultura conservacionista (labranza mínima o ausente), especialmente en las Américas, pero cada vez más en otras regiones; y el apoyo cada vez mayor de los consumidores por la agricultura orgánica. Estos dos sistemas reconocen la importancia de la protección del suelo, la salud y la actividad biológica del suelo, la rotación de cultivos, y los riesgos y costos de los productos químicos agropecuarios.

## Conservación y manejo de la biodiversidad del suelo

### *Principios del manejo biológico de la fertilidad del suelo*

La Revolución Verde, así llamada por los grandes aumentos en la producción agrícola obtenidos gracias a sus técnicas, se apoyaba en la superación de las limitaciones edáficas aplicando insumos externos como los fertilizantes inorgánicos y otras enmiendas para suplir las necesidades de las plantas (Sánchez 1994, 1997). Sin embargo, la mayoría de los agricultores del mundo no tiene acceso o no tiene con qué comprar los insumos externos (productos químicos agrícolas, variedades de cultivos mejoradas, semilla de híbridos, acceso fácil de créditos y efectivo) necesarios para aplicar los principios y las prácticas de la agricultura de altos insumos externos (Vandermeer et al. 1998).

La mejor oportunidad para usar las técnicas de manejo biológico del suelo probablemente se presentará en sistemas con niveles medios de perturbación y una utilización entre baja y media de recursos externos y mano de obra humana (Figura 9.2). Por tanto, el potencial del manejo biológico

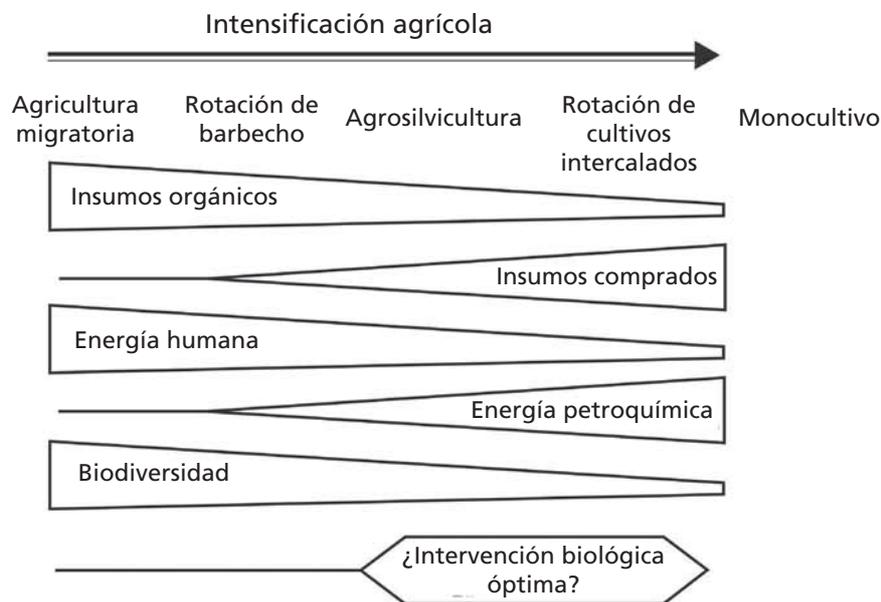


FIGURA 9.2. Relaciones entre la intensificación de la agricultura, las cantidades de varios insumos (orgánicos, comprados y derivados del petróleo), y el agroecosistema, la biodiversidad y la energía humana invertida. Se selecciona la óptima ventana propuesta para el manejo biológico del suelo (intervención) para equilibrar cada uno de estos factores, y dependerá de los diversos factores humanos, socioeconómicos y ambientales encontrados en cada localidad (dibujo de M. J. Swift).

del suelo puede ser mayor en los agroecosistemas de complejidad intermedia (agrosilvicultura y sistemas rotacionales), en tierras marginales para prevenir la degradación, en tierras degradadas necesitadas de biorrecuperación y en regiones donde la disponibilidad, el acceso a o el uso de insumos externos es limitado, situación que lleva a que sean predominantes los procesos biológicos para el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Anderson 1994; Mando et al. 1997; Sánchez 1997; Senapati et al. 1999; Swift 1999). Esencial para el principio del manejo biológico integrado de los suelos está el reconocimiento de que:

- Los organismos del suelo y los procesos biológicos desempeñan un papel importante en la creación y regulación de la fertilidad del suelo
- Una diversidad de organismos crean y modifican una variedad de funciones y procesos edáficos

- Una diversidad de funciones y procesos son esenciales para mantener la fertilidad y la productividad del suelo (por ejemplo, la sostenibilidad del agroecosistema).
- Los organismos del suelo se pueden manipular en los agroecosistemas mediante intervenciones directas e indirectas.

### *Intervenciones directas e indirectas para el manejo biológico del suelo*

Swift (1999) propuso una serie de puntos de partida potenciales de los cuales se podrían implementar las prácticas de manejo, en relación con las diferentes posibilidades de manejo biológico del suelo. Estos incluyen intervenciones directas e indirectas (Cuadro 9.3), como:

- Diseño y manejo del sistema agrícola: seleccionar las plantas y su organización espacial y temporal, y las prácticas de manejo del ganado (indirecta)
  - Control genético de la función del suelo mediante la manipulación de la resistencia de las plantas a las enfermedades, de los residuos y de la calidad de la rizosfera (exudados del sistema radicular) (indirecta)
    - Inoculación de antagonistas de las enfermedades, microsimbiontes, rizobacterias y lombrices para el control de enfermedades y el aumento de la fertilidad del suelo (directa)
      - Manipulación de la biota edáfica mediante la modificación de la cantidad y la calidad de la materia orgánica (indirecta)
        - Control biológico de plagas y enfermedades (directa)

Muchos agricultores y administradores de la tierra en los países desarrollados y en desarrollo ya están utilizando algunas de estas intervenciones, con técnicas bien desarrolladas, en especial las intervenciones directas, como la selección de especies y variedades de plantas fijadoras de nitrógeno, la inoculación de rizobios en las leguminosas de grano, la inoculación de micorrizas para el establecimiento de árboles, y los agentes biológicos para el control de enfermedades y plagas. No obstante, estas técnicas siguen siendo subutilizadas en los países menos desarrollados, especialmente entre los agricultores de escasos recursos. El potencial del uso de las técnicas directas es importante, las instituciones relevantes y los gobiernos responsables del desarrollo agrícola deben promoverlas.

Pero los mayores beneficios, especialmente a largo plazo, probablemente resultarán de intervenciones indirectas como la selección de cultivos y su distribución espacial y temporal, el aumento de su capacidad natural para

### Recuadro 9.3. Intervenciones directas e indirectas

Los *métodos directos* de intervención en los sistemas de producción tratan de alterar la abundancia o la actividad de grupos específicos de organismos (Hendrix et al. 1990). Algunos ejemplos de las intervenciones directas incluyen la inoculación de semillas o raíces con rizobios, micorrizas, hongos y rizobacterias para promover el crecimiento de las plántulas y la inoculación del suelo o del ambiente con agentes de control biológico (para el control de plagas o enfermedades) o con fauna benéfica (como las lombrices).

Las *intervenciones indirectas* son maneras de manejar los procesos bióticos del suelo manipulando los factores que controlan la actividad biótica (estructura del hábitat, microclima, nutrientes y fuentes de energía) en vez de los organismos (Hendrix et al. 1990).

Algunos ejemplos de intervenciones indirectas incluyen la mayoría de las prácticas agrícolas (aplicación de materia orgánica al suelo, labranza, fertilización, riego, abonos verdes y encalado), el diseño de sistemas de siembra y el manejo. Algunas técnicas modernas incluyen el control genético de la función edáfica, mediante la manipulación de los residuos de las plantas y la calidad de la rizosfera (exudados de las raíces), y de la resistencia a plagas y enfermedades.

tolerar las enfermedades, el mejoramiento de la calidad de los residuos que producen, y el manejo en el sistema de materia orgánica y de otros insumos externos como los fertilizantes (TSBF 1999). En un contexto agrícola más amplio, el manejo de los sistemas mixtos de cultivos, ganadería y agrosilvicultura ha mostrado una mayor eficiencia en el uso de los recursos y un mejor manejo de las dimensiones espaciales (como los cultivos asociados y otras consideraciones del paisaje) y temporales (por ejemplo, las especies perennes y las rotaciones de cultivos) (ver también los Capítulos 13 y 14). Estas intervenciones tienen también consecuencias importantes en la actividad biológica y en la biodiversidad del suelo.

En el curso de los últimos 15 años, los científicos han enfocado su investigación en la manipulación de la descomposición de la materia orgánica, en un intento por lograr una sincronía óptima entre los procesos de descomposición, inmovilización y mineralización, por un lado, y la demanda de nutrientes de las plantas en crecimiento, por el otro (Myers et al. 1994; Palm et al. 2000, 2001). Cuando la labranza es mínima y los residuos de los cultivos permanecen en la superficie del suelo (como por ejemplo en los sistemas de cero o mínima labranza), se ha visto que hay una diferenciación espacial y temporal mucho mayor de las cadenas tróficas y los procesos subterráneos, en comparación con los suelos cultivados

convencionalmente (House y Parmelee 1985; Brown et al. 2002b). En la labranza convencional, las bacterias de la cadena trófica desempeñan un rol más importante, especialmente en la capa cultivada y como resultado las descargas de minerales relacionados con las actividades de labranza pueden resultar en una mayor pérdida de materia orgánica y una menor retención de nutrientes. En los sistemas de cero labranza, los hongos de la cadena trófica son más importantes, en tanto influyen en la disponibilidad de nutrientes y en la estabilidad de los agregados edáficos, tendiendo a aumentar la retención de nitrógeno y a reducir la lixiviación (Hendrix et al. 1986).

### *Aplicación del manejo integrado de la biología del suelo*

#### RECONOCIMIENTO DE LA IMPORTANCIA DE LA BIOTA EDÁFICA

El manejo integrado de la biota edáfica, la biodiversidad y los ecosistemas agrícolas es un proceso holístico que se basa principalmente en los recursos disponibles localmente, el clima, las condiciones socioeconómicas, y sobre todo, en la participación directa de los agricultores y otros actores en la identificación y adaptación de prácticas de manejo a sus propios contextos. La Figura 9.3 ilustra un proceso de siete pasos en el cual todos los actores se involucran en un proceso que va desde el diagnóstico del problema, incluyendo la evaluación y adaptación, hasta la adopción de la tecnología (adaptado de Chambers 1991; Swift et al. 1994; Swift 1997).

El primer paso hacia un manejo apropiado y la conservación de los recursos es reconocer que la biota edáfica desempeña un rol clave en el sostenimiento de la producción agrícola (Paso 1). Los agricultores y los profesionales de la agricultura de diversas culturas, tanto tradicionales como modernas, aún no reconocen adecuadamente los roles y la importancia de la biota edáfica en la producción agrícola (Kevan 1985; Puentes y Swift 2000). Muchas sociedades le siguen temiendo a los insectos y desprecian las lombrices, lo cual puede explicar por qué se usaban tan ampliamente y hasta muy recientemente prácticas tan agresivas contra la biota edáfica (Lavelle 2000). Por ejemplo, en una encuesta a 163 agricultores del estado de Veracruz, México, el 55% ignoraba el papel de las lombrices en la fertilidad del suelo y el 11% las consideraba dañinas, principalmente porque las confundían con los parásitos intestinales (Ortiz et al. 1999). La falta de conocimiento puede conducir a cometer abusos contra el ecosistema del suelo (por ejemplo, la contaminación del agua superficial y subterránea,

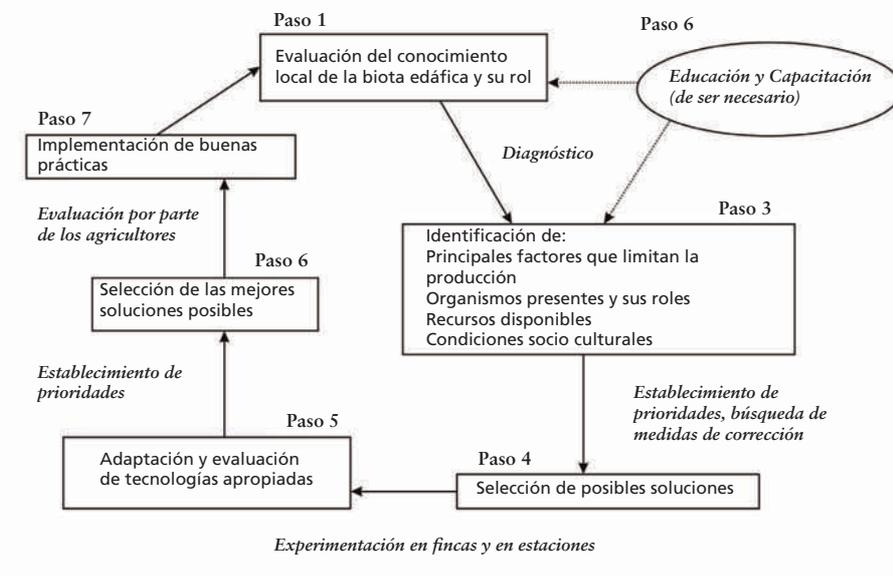


FIGURA 9.3. Proceso de 7 pasos para un óptimo manejo biológico del suelo y para la conservación de los recursos (modificado a partir de Swift 1997).

la erosión y la pérdida de biodiversidad), así como la subutilización de los beneficios derivados del manejo biológico del suelo.

Cuando se detectan la falta de conocimiento y la necesidad de un manejo alternativo, se deben hacer esfuerzos de concientización y fortalecimiento de la capacidad entre agricultores, extensionistas, comunidades locales, proveedores de servicios, políticos e industrias responsables de promover determinados usos de la tierra y prácticas de manejo que desconozcan la importancia de la biota edáfica y sus funciones (Paso 2). En la agricultura comercial, el conocimiento del papel desempeñado por algunos organismos de la biota edáfica puede ser aún más limitado que en los sistemas de subsistencia de los pequeños agricultores por las prácticas de manejo intensivo, orientadas al aumento de la producción, generalmente dejan de lado los mecanismos biológicos y sus interacciones a favor del uso de insumos externos (especialmente plaguicidas y herbicidas en vez del control biológico de plagas y malezas, y fertilizantes químicos en vez de la restauración de la materia orgánica). Cada vez más se pierde el conocimiento tradicional de cómo mantener y restaurar la salud del suelo y los sistemas de cultivo, de cultivo y ganadería, o de agrosilvicultura de manera sostenible. En los sistemas intensivos, se deben demostrar las alternativas

que aprovechan los procesos ecológicos, y reducen los riesgos a mediano y largo plazo y el daño potencial de prácticas convencionales como el monocultivo, la labranza profunda y el uso frecuente y excesivo de insumos químicos.

#### IDENTIFICACIÓN Y USO DE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

La identificación de las condiciones locales y los recursos disponibles, tanto bióticos (como los seres humanos, las plantas, la materia orgánica, la biota edáfica) como abióticos (la tracción eólica o mecánica, el efectivo o el crédito, los insumos externos, el contenido de nutrientes en el suelo), es esencial para determinar qué prácticas del manejo biológico del suelo se pueden usar de manera realista. Este proceso de diagnóstico (Paso 3, figura 9.3) debe conducir a la comprensión de las limitaciones, oportunidades y necesidades potenciales a diferentes niveles.

Como resultado del aumento en el interés por los principios ecológicos y por consideraciones de gestión humana, se han propuesto varios juegos de datos mínimos para evaluar los recursos edáficos y ambientales, y su calidad (Doran y Jones 1996). Éstos por lo general incluyen la caracterización de los sistemas y las prácticas agrícolas actuales de diferentes grupos de agricultores, como los recursos humanos disponibles, los recursos orgánicos y los indicadores biológicos de la calidad del suelo y su función (Recuadro 9.4). La gran ventaja de los indicadores biológicos yace en el hecho de que estos indicadores pueden detectar cambios (para bien o para mal) en el agroecosistema más rápidamente que los tradicionales indicadores químicos o físicos de la calidad del suelo.

En cuanto a los indicadores químicos o físicos de calidad del suelo, en los juegos de datos propuestos hasta ahora se han incluido algunos indicadores biológicos de calidad del suelo, que no son medidas independientes (como la biomasa microbiana, la mineralización potencial del nitrógeno, la respiración del suelo, y la tasa entre la respiración del suelo y la biomasa microbiana, propuesta por Doran y Parkin 1994). Reducir los indicadores redundantes a sólo uno o a algunos indicadores integrados como la mineralización potencial del nitrógeno (Keeney y Nelson 1982) simplifica el asunto pero no soluciona la deficiencia esencial de estos indicadores, es decir, el que se relacionen principalmente con la transformación de elementos, no con la estructura del suelo o con las propiedades hidrológicas y biológicas de la capa cultivable. Por tanto, el reto es identificar un conjunto mínimo de indicadores biológicos de calidad del suelo que se pueda relacionar con los nutrientes, los contaminantes, la estructura del suelo y

**Recuadro 9.4.** Indicadores de la calidad del suelo: ¿Cuáles son y por qué usarlos?

Los indicadores de calidad del suelo son las propiedades biológicas, físicas y químicas, y los procesos que se pueden medir para monitorear los cambios en la función del suelo (Muckel y Mausbach 1996). Existen herramientas cuantitativas para evaluar la salud del suelo y proporcionar una advertencia temprana de colapsos en el sistema, con lo cual los que manejan la tierra pueden reaccionar antes de que el daño sea irreversible (Pankhurst et al. 1997). Los indicadores deben ser reactores rápidos y robustos, pero al mismo tiempo sensibles (que se puedan discriminar), significativos y predictivos (que exista una buena relación entre el indicador y la función), y fáciles de medir e interpretar. Algunos ejemplos de indicadores asociados a la actividad biológica del suelo incluyen los siguientes (tomado de Brown 1991; Stork y Eggleton 1992; Doran et al. 1994; Oades y Walters 1994; Doran y Jones 1996; Pankhurst et al. 1997; van Straalen 1998; Paoletti 1999):

- La biodiversidad a nivel molecular, genético, taxonómico y funcional
- Los organismos y sus propiedades (presencia o ausencia, biomasa y densidad a nivel de la especie, el género, la comunidad o el grupo funcional), incluyendo bacterias y hongos, nematodos, protozoos, lombrices, termitas, hormigas, algunos escarabajos, isópodos, milpiés, arañas, moscas, colémbolos, ácaros, raíces, la cantidad de semillas de malezas, fitopatógenos y trozadores de raíces, y el carbono y el nitrógeno en la biomasa microbiana.
- Los procesos edáficos afectados por la actividad biológica, como la compactación, la agregación y la estabilidad de los agregados, la erosión, la infiltración hídrica, el carbón y el nitrógeno potencialmente mineralizables, la fijación de nitrógeno, la nitrificación y desnitrificación, la respiración del suelo, las tasas de descomposición, la actividad enzimática y el ergosterol
- La capacidad del suelo de soportar y sostener los cultivos es el máximo indicador de la calidad y la salud del suelo en un agroecosistema (Pankhurst 1994)

las propiedades hidrológicas de la capa cultivable (Brussaard et al. 2004) y que estos indicadores además tengan el propósito de:

- Señalar los cambios en la calidad del suelo más rápido o de manera más precisa que los indicadores químicos y físicos. En la Figura 9.4 se presenta un ejemplo en el cual el carbono de la biomasa microbiana indica cambios en la materia orgánica del suelo en una etapa más temprana y de manera más precisa que los cambios en el contenido total de carbono en el suelo.

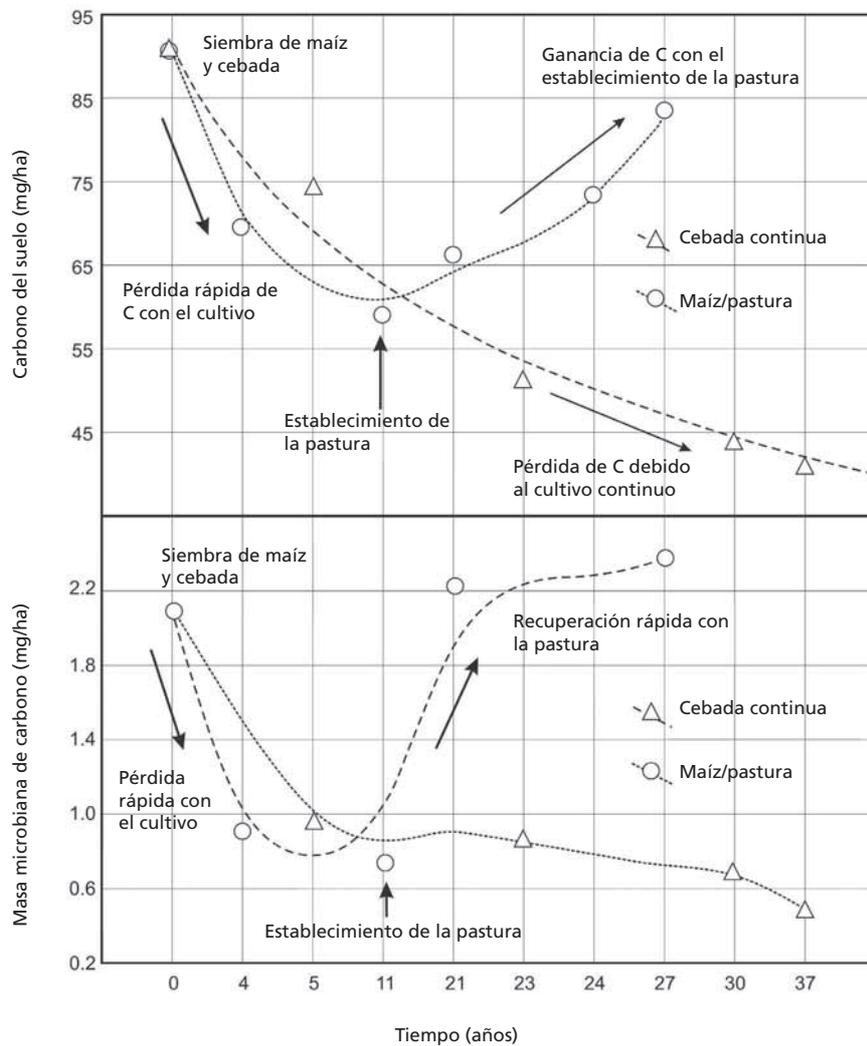


FIGURA 9.4. Patrones de pérdida o ganancia, en el tiempo, del carbono total en el suelo y de la biomasa microbiana en la capa cultivable (0-20 cm) de un terreno cultivado con maíz y cebada en siembra continua, y en una pastura establecida después de 11 años de cultivo de maíz. Obsérvese la recuperación más rápida de la biomasa de carbono (en comparación con el carbono total del suelo) después del establecimiento de la pastura (T. G. Shepherd, comunicación personal, 2002).

- Presentar una evaluación integrada de los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Son muchos los ejemplos en la ecotoxicología, en los cuales se usa el agua o los organismos del suelo para realizar

una evaluación integrada de los múltiples efectos de los contaminantes en el crecimiento, la reproducción y la longevidad de los organismos y en los procesos biológicos asociados. De manera similar, las lombrices pueden indicar la disponibilidad de materia orgánica y por tanto de los nutrientes del suelo y de la capacidad de retención de agua, así como la porosidad, la agregación y la actividad microbiana aeróbica.

Es importante que cada agricultor pueda trabajar con los indicadores de calidad del suelo. Por tanto, la evaluación visual de la calidad del suelo es un punto de partida, como el método desarrollado por Shepherd (2000) en Nueva Zelanda. Este método es muy sencillo y sólo requiere que el agricultor inspeccione visualmente una palada de suelo en términos de su estructura, porosidad, color, vetas y cantidad de lombrices. Los valores de la evaluación se registran en una tarjeta y se integran a un valor total en una escala de “malo” a “bueno”. Las apreciaciones visuales del agricultor se pueden respaldar y correlacionar con una medición de la calidad química, física y biológica del suelo en el laboratorio. Más del 90% de los agricultores y científicos a los que se les pidió trabajar con este sistema lo encontraron tanto práctico como científicamente sólido.

La FAO está desarrollando una herramienta para la evaluación del suelo, que incluye directrices sobre el manejo del suelo para prevenir y aliviar la degradación de éste, y del manejo sostenible de la finca (Benites, comunicación personal, 2005). El Programa Comunitario de la FAO para el Manejo Integrado de Plagas en Asia publicó un folleto muy útil con una serie de ejercicios de capacitación sobre el manejo integrado del suelo (Settle 2000); la FAO también publicará un manual para la evaluación de la fauna y la calidad biológica del suelo.

Sin embargo, aún hay que adaptar las herramientas existentes para evaluar la calidad del suelo (como las entrevistas y sondeos a los agricultores, y las herramientas para evaluar la salud del suelo) a las condiciones específicas de los pequeños agricultores en las regiones tropicales húmedas y semiáridas, para que puedan ser los agricultores y extensionistas quienes las usen en vez de los edafólogos. Las mediciones y métodos sencillos como los que acabamos de describir resultan ser los más útiles y tienen la mayor probabilidad de ser adoptados ampliamente.

#### SUPERANDO LAS LIMITACIONES

Una vez se han identificado las principales limitaciones bióticas y abióticas, se deben organizar jerárquicamente y se deben escoger las alternativas

potenciales—adaptándolas a las condiciones locales humanas, climáticas, edáficas y del agroecosistema. En esta etapa es esencial entender cómo superar las limitantes en la producción agrícola a diversos niveles (social, cultural, económico, político, agronómico, biológico, ambiental, edáfico, genético) usando recursos, conocimiento y capacidad local o importada, y entender cómo las prácticas agrícolas afectan la biota edáfica y sus actividades. Dicha comprensión del panorama completo es necesaria para poder predecir las posibles opciones de manejo y otras soluciones.

Desafortunadamente no se tiene información para todos los organismos del suelo de los efectos en la biota edáfica de diversas prácticas agrícolas, y puede haber diferencias importantes en los efectos de diferentes prácticas en el mismo organismo o de la misma práctica en diferentes organismos. Algunos organismos son susceptibles a ciertas prácticas de manejo y se extinguen a nivel local, mientras que otros responden de manera positiva y sacan ventaja de la modificación de las condiciones para aumentar su

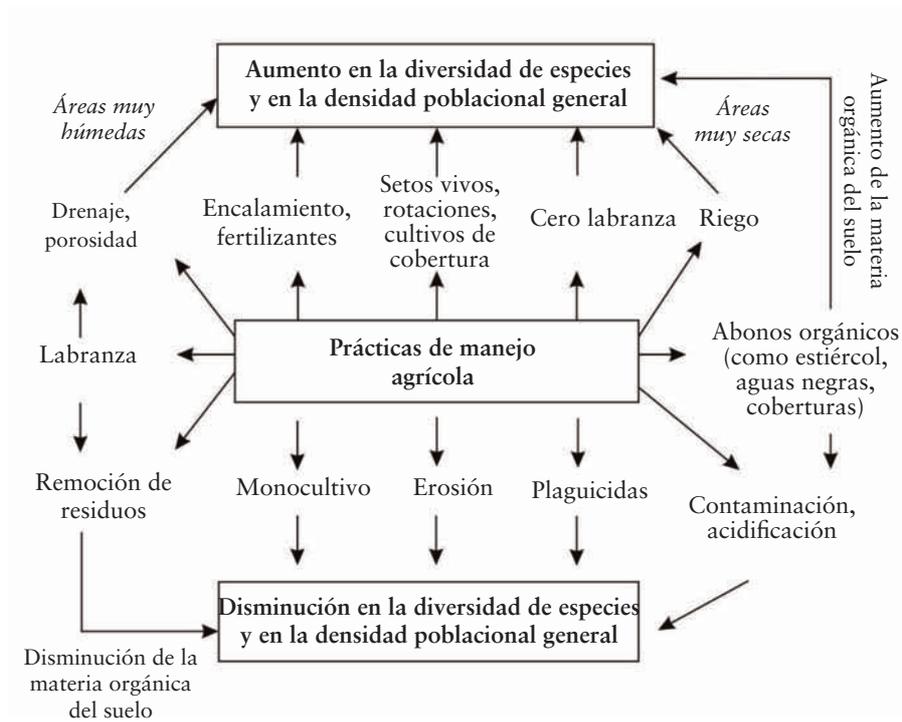


FIGURA 9.5. Efecto de diferentes prácticas de manejo agrícola en la biota edáfica (modificado a partir de Hendrix et al. 1990).

**Cuadro 9.3.** Limitantes de diferentes prácticas agrícolas de manejo y sus efectos en la biota edáfica y en la función del suelo

Práctica de Manejo	Limitaciones en el Uso	Efecto en la Biota y la Función del Suelo
Labranza	Mano de obra, herramientas y maquinaria, costo, enfermedades presentes en el suelo, tierras pendientes	Descomposición más rápida de la materia orgánica, mayor proporción de bacterias que de hongos, poblaciones menores de macrofauna y mesofauna, aumento a corto plazo de la disponibilidad de nutrientes pero aumento en las pérdidas a largo plazo, mejor crecimiento en la capa arada, mayores riesgos de erosión
Cero labranza	Maquinaria, costo, compactación del suelo y texturas pesadas, manejo de plagas	Mayores poblaciones de macrofauna, mesofauna y microfauna; mayor proporción de hongos que bacterias; acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo; conservación de nutrientes; menor escurrimiento y erosión; aumento de la presencia e incidencia de plagas y enfermedades asociadas con la capa de la hojarasca
Incorporación de materia orgánica	Disponibilidad, mano de obra, presencia de ganado, costo	Cambios en las tasas de descomposición y en las poblaciones de los organismos (algunos aumentan, otros disminuyen, dependiendo del tipo de material); mayor disponibilidad, almacenamiento e intercambio de nutrientes; mejor estructura física del suelo y mejores relaciones hídricas; reducción de la acidez y de la toxicidad de Al; mayor actividad microbiana y de la fauna, especialmente de los detritívoros
Fertilización	Disponibilidad, costo	Generalmente reducción en la micorrización y la fijación de $N_2$ (con P y $N_2$ , respectivamente), cambios en el equilibrio entre mineralización e inmovilización, mayor producción del cultivo y de los insumos de materia orgánica, aumentos en las poblaciones de algunos organismos a través de un mayor suministro de alimentos
Plaguicidas	Costo, impacto ambiental y en la salud	Menor incidencia de enfermedades, plagas, parásitos y organismos patogénicos, pero efectos negativos en la biota no objeto, como los insectos benéficos y las lombrices; mayor producción del cultivo pero frecuentemente se presenta dependencia; desestabilización de los ciclos de nutrientes; pérdida de la estructura del suelo; aumento a largo plazo de la resistencia de la biota objeto

*El Cuadro 9.3, continúa en la página siguiente*

Cuadro 9.3, continuación

Práctica de Manejo	Limitaciones en el Uso	Efecto en la Biotra y la Función del Suelo
Riego o inundación	Zonas costeras o de ladera, mano de obra, herramientas, disponibilidad de agua	Mayor disponibilidad de agua, neutralización del pH, cambios en la disponibilidad y en el ciclo de nutrientes (frecuentemente mayores procesos anaeróbicos), mayor fijación asimbiótica de N <sub>2</sub> , aumento en las poblaciones de la biota estresada por la sequía, menor cantidad de biota sensible, menores tasas de descomposición de la materia orgánica, disminución de malezas y enfermedades presentes en el suelo
Rotación de cultivos	Aceptación social, costos de oportunidad, compatibilidad con el agroecosistema, clima, condiciones del suelo	Efecto de rotación, con mayor productividad y mejor manejo de plagas y enfermedades; uso más eficiente de los nutrientes del suelo; mayor diversidad encima y debajo del suelo; poblaciones más grandes, y aumento de la biomasa y de la actividad de la mayoría de los organismos (especialmente con leguminosas); mejor agregación e infiltración del suelo; menor densidad masal; mayor contenido de materia orgánica
Inoculación de la biota edáfica seleccionada (como rizobios, micorrizas, lombrices, rizobacterias, antagonistas, agentes de control biológico)	Costos, disponibilidad, adaptación ambiental, competencia o replazo de la biota nativa, condiciones adecuadas del suelo	Aumento en la fijación de N, en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, en la absorción de agua y en la eficiencia de las plantas para adquirir nitrógeno; rendimientos más altos; mayor tolerancia a los metales pesados; mejor resistencia a las enfermedades, plagas y parásitos que atacan las plantas; aumento en la porosidad, aireación, estabilidad de agregados, infiltración y capacidad de retención de agua del suelo; tasas más rápidas de descomposición y del ciclo de nutrientes

Fuente: Ampliado a partir de Swift (1997)

abundancia, biomasa y actividad. Para evaluar adecuadamente el efecto de una especie determinada en una función edáfica específica y el efecto de las prácticas de manejo en sus poblaciones y actividad, se deben tomar mediciones de muestra dentro de las escalas espaciotemporales relevantes a esa especie en particular; es decir, se deben tomar las muestras dentro del dominio funcional de la especie, lo cual resulta ser un reto metodológico particularmente difícil.

A pesar de la complejidad de esta tarea, existen algunas reglas generales que los agricultores pueden usar a nivel local para predecir los efectos de las prácticas de manejo y elegir posibles soluciones. Algunas de estas reglas se presentan en la Figura 9.5 y en el Cuadro 9.3, junto con una descripción de algunas de las principales limitantes de las diferentes prácticas de manejo y sus efectos en la función edáfica.

La agricultura, especialmente los procesos de remoción del suelo mediante la labranza, afecta drásticamente el ambiente del suelo y por ende la cantidad y las clases de organismos presentes en él. En general, cuando un bosque o una pradera se convierten en tierra agrícola, la cantidad y la calidad de los residuos de las plantas al igual que la cantidad de especies de plantas mayores se reducen significativamente, reduciendo a su vez el rango de hábitats y de fuentes alimentarias para los organismos del suelo. También se altera significativamente la tasa de los diferentes organismos y sus interacciones. En general, la labranza con arado de vertedera, el monocultivo, el uso de plaguicidas, la erosión y los contaminantes del suelo o la contaminación tienen efectos negativos en la mayoría de los organismos. Se deben observar sus efectos, y adaptar, evitar o minimizar dichas prácticas en la medida de lo posible. Por otro lado, la aplicación de residuos orgánicos, el uso moderado de fertilizantes, la rotación de cultivos, el riego en áreas secas y el drenaje en zonas húmedas, son prácticas que generalmente tienen impactos positivos en la densidad, diversidad y actividad de los organismos del suelo. En la mayoría de los casos, estas prácticas se pueden mejorar también para alcanzar una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

No obstante, los factores biofísicos no son los únicos que afectan las decisiones de los agricultores (Paso 4, Figura 9.3), sino también las consideraciones socioeconómicas. Algunos de los limitantes más comunes al uso de diferentes prácticas de manejo biológico del suelo incluyen el costo monetario (insumos comprados), la mano de obra y el tiempo, la disponibilidad de recursos, y las herramientas para implementar las prácticas (Cuadro 9.3).

Después de haber elegido una serie de diferentes soluciones posibles entre las mejores prácticas, innovaciones y nuevas tecnologías de los agricultores, se las debe evaluar mediante un proceso de selección interactivo y participativo de experimentación adaptativa (Paso 5 en la Figura 9.3). El Instituto de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical (TSBF su sigla en inglés), del Centro Internacional de Agricultura Tropical, ha desarrollado un enfoque para el manejo adaptativo de los procesos biológicos del suelo, enfatizando la interacción y la cooperación interactiva entre agricultores, extensionistas, facilitadores locales de la comunidad y científicos (TSBF 2000). En este proceso adaptativo se evalúan simultáneamente diferentes tratamientos y técnicas durante varios ciclos de cultivo para identificar las prácticas más fáciles de adaptar, y más económicas y socialmente aceptables.

La FAO y sus colaboradores están aplicando el enfoque conocido como Escuelas de Campo para Agricultores en el este de África y Asia para promover el aprendizaje, a través de la experiencia entre grupos de agricultores, del manejo del suelo y del agua, incluyendo el desarrollo de módulos de capacitación en un proceso dinámico liderado por los agricultores y de una serie de ejercicios prácticos. Además, la FAO ha producido materiales de capacitación prácticos sobre agricultura conservacionista a través de su Serie en Medios Digitales de Tierra y Agua (consultar los discos compactos No. 27 y No. 22 en la url: [www.fao.org/landandwater/lwdms.stm](http://www.fao.org/landandwater/lwdms.stm)).

Son los agricultores y otros actores en el proceso de toma de decisiones quienes finalmente seleccionan las tecnologías deseadas o apropiadas para la implementación a diversos niveles (Paso 6, Figura 9.3). La decisión final de los grupos interesados en cuanto a qué prácticas implementar puede ser sustancialmente distinta entre agricultores a pequeña escala y gran escala y entre agricultores de escasos recursos y agricultores con muchos recursos.

#### IMPLEMENTACIÓN DEL MANEJO BIOLÓGICO E INTEGRADO DEL SUELO

La adopción del manejo biológico e integrado del suelo (Paso 7, Figura 9.3) es un proceso participativo de aprendizaje a largo plazo, resultante del diagnóstico, análisis de opciones, priorización, prueba, selección, adaptación, discusión, acuerdo y selección de las mejores opciones de manejo biológico del suelo. El paso final del ciclo es la evaluación hecha por los agricultores en el campo de las mejores opciones y la decisión de si implementan estas prácticas en mayor escala y a largo plazo, o si se revierten a

sus estrategias tradicionales de manejo. Este paso es crucial pues se está apostando todo el trabajo difícil de los pasos anteriores. Se pueden necesitar algunos servicios de apoyo, como el abastecimiento de semillas de determinadas especies o variedades de los cultivos, el suministro de fertilizantes en cantidades y a precios adecuados, la capacitación de artesanos para la fabricación de herramientas adaptadas, y mayor capacitación para los agricultores en, por ejemplo, manejo del ganado para la obtención de materia orgánica y aplicación de fertilizantes.

## Algunos ejemplos de manejo biológico de la fertilidad del suelo

### *Importancia del manejo de la materia orgánica*

Entre las diversas prácticas exitosas disponibles, la más interesante, para la conservación de la biota edáfica y el mantenimiento a largo plazo de la productividad, ha estado generalmente asociada con la estimulación o el mantenimiento de acervos activos de materia orgánica en el suelo. Mediante la manipulación de todo el sistema de cultivo, una adecuada combinación de cultivos, un patrón apropiado en el espacio y el tiempo, y prácticas de manejo del suelo apropiadas, se pueden aumentar la cantidad y la calidad de la materia orgánica, promoviendo así un efecto de cascada en toda la vida y las funciones físico químicas del suelo. Este fenómeno se observa frecuentemente cuando se está recuperando un ecosistema antes degradado. Una vez que se han establecido las plantas, las raíces empiezan a penetrar en el suelo y se forma un estrato protector en la superficie de éste —un efecto sinérgico del aumento en la disponibilidad de carbono, de los cambios microclimáticos en el ambiente edáfico y de la actividad biológica, que ayudan a acelerar la recuperación del ecosistema. En ambientes más secos, la humedad del suelo es crítica para el proceso de restauración y la acumulación de materia orgánica en el suelo. La retención de humedad en el suelo se puede mejorar utilizando cultivos como cobertura protectora y mediante la práctica de cero labranza o labranza mínima, con lo cual se retienen la biomasa del sistema radicular y la materia orgánica del suelo.

### *Manejo biológico indirecto del suelo*

Un buen ejemplo de la aplicación del manejo de los procesos biológicos de recuperación del suelo y del enfoque ambiental es el caso de los agricultores del Grupo Vicente Guerrero en Tlaxcala, México (Ramos 1998).

**Recuadro 9.5.** Manejo adaptativo y métodos de conservación adoptados por el Grupo Vicente Guerrero, en Tlaxcala, México

Los principales éxitos alcanzados por el Grupo Vicente Guerrero son:

- Reducción significativa en el uso de agroquímicos por parte de muchos agricultores que inicialmente rechazaban los fertilizantes orgánicos y eliminación total del uso de agroquímicos en algunas fincas.
- Mayor adopción de medidas para la conservación del suelo y el agua, y esfuerzos de restauración de la fertilidad del suelo por parte de los agricultores locales.
- Mayor incorporación al suelo de rastrojos y residuos de cosecha.
- Aumento en la productividad agrícola. Uno de los agricultores del grupo ganó el primer premio en una competencia estatal con los mejores rendimientos de maíz de la zona seca, con un rendimiento de grano de 5.5 mg/ha (muy por encima de los rendimientos promedio en el Estado).
- Reconocimiento formal a sus esfuerzos por parte del gobierno del Estado de Tlaxcala.
- Mayor capacidad del grupo para organizar y captar financiamiento externo, gracias a la experiencia colectiva y a un prestigio bien ganado.

Los métodos de manejo y conservación adoptados incluyen:

- Producción de grano utilizando técnicas que mejoran la biodiversidad del suelo y sus funciones biológicas
- Rotación de cultivos, leguminosas como cultivo de cobertura, variedades de semillas locales mejoradas y diversificación en las asociaciones de cultivos para ampliar la resiliencia del agroecosistema y mejorar los rendimientos
- Métodos de labranza de bajo impacto para reducir las perturbaciones a la estructura y a la biota edáfica
- Producción de fertilizantes orgánicos a partir de rastrojos, residuos de cosecha, estiércol del ganado y abonos verdes
- Medidas de conservación de la cobertura del suelo para mantener la estructura del suelo y su contenido de humedad
- Manejo de la tierra que favorece la diversidad de plantas y animales y su asociación con la actividad biológica del suelo
- Mosaicos de diferentes cultivos y usos de la tierra
- Captura y conservación del agua de lluvia para las plantas, los animales y las personas
- Incorporación de los animales de patio (razas nativas de pollos, pavos y conejos), cuyos excrementos se usan en los huertos familiares
- Restauración de la biodiversidad agrícola mediante la siembra de cultivos nativos, plantas medicinales y árboles

*Recuadro 9.5, continuación*

Los métodos participativos y las diversas herramientas incluyen:

- Visitas a las fincas de los agricultores
- Días de campo para presentar las técnicas de manejo de los cultivos y el suelo
- Experimentación en fincas
- Diagnóstico rápido participativo
- Talleres, conferencias, cursos, juegos didácticos y presentaciones del teatro comunitario

Más información sobre el Grupo Vicente Guerrero y este estudio de caso está disponible en Ramos (1998) y en la url: [www.fao.org/ag/AGL/agll/soil-biod/cases/caseD1.pdf](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soil-biod/cases/caseD1.pdf).

Los suelos del Estado de Tlaxcala han sido cultivados durante miles de años usando prácticas tradicionales (Gliessman 1990). Sin embargo, la intensificación de la agricultura en los suelos del Estado, que son frágiles y fácilmente erosionables, dejó profundas cicatrices en el paisaje y condujo a la erosión del suelo, la sedimentación y los problemas en las cuencas. Como respuesta a estos problemas, hace más de 20 años los campesinos de la pequeña aldea Vicente Guerrero iniciaron un programa, junto con la Casa de los Amigos (Cuáqueros), para generar, compartir y promover experiencias que pudieran mejorar su calidad de vida y la de sus vecinos.

La motivación detrás del éxito del Grupo Vicente Guerrero es un profundo respeto por el medio ambiente, evidenciado en el uso integrado y evolutivo de los recursos y en la firme convicción de que compartir sus descubrimientos con otros agricultores es una obligación moral innegable. Esto ha permitido que el grupo pacientemente ponga en práctica, y refine exitosamente, un modelo para transmitir de agricultor a agricultor, entre todos los miembros de la comunidad, el conocimiento que les han impartido los técnicos y facilitadores del desarrollo rural. En las últimas dos décadas, los miembros del Grupo Vicente Guerrero han brindado capacitación a más de 2000 campesinos de México y otras partes de América Latina. En el Recuadro 9.5 se mencionan algunas de las prácticas exitosas de manejo adoptadas por el Grupo. El éxito de este estudio de caso resalta la importancia de los enfoques integrados y multilaterales (no simplemente de arriba abajo) para el desarrollo de los sistemas agrícolas y para garantizar resultados duraderos.

En el Estado de Paraná, Brasil, en los últimos 29 años se viene desarrollando un procesos similar de desarrollo, adaptación y extensión tecnológico-cooperativista, que ha resultado en una amplia adopción de prácticas agrícolas conservacionistas, especialmente la de no labranza. En las décadas de los 70 y 80, después de abandonar el cultivo del cafeto y adoptar la siembra de cultivos anuales con labranza convencional (especialmente soya y trigo), gran parte del Estado experimentó problemas similares a los del Grupo Vicente Guerrero en México. La presencia generalizada de cárcavas, sedimentación de los ríos, inundaciones, problemas con la calidad del agua y cultivos severamente dañados instó a los agricultores a buscar alternativas a las prácticas tradicionales de preparación del suelo (arado de disco y de vertedera). Impulsada por la experimentación, adaptación y demanda de los agricultores, se estableció una asociación con el sector industrial y las cooperativas de los agricultores, apoyada con subsidios gubernamentales, para desarrollar sembrados sin labranza que se pudieran usar manualmente, con tracción animal o de tractores. Simultáneamente se desarrollaron prácticas de manejo basadas en la rotación de cultivos, los cultivos de cobertura para el control de malezas, la protección del suelo, y la reducción del tráfico de maquinaria para minimizar la compactación del suelo. En consecuencia, ya no se hace labranza en casi 20 millones de hectáreas de Brasil, 5.5 millones de las cuales están en el Estado de Paraná (el 25% de la superficie del Estado). Estas técnicas son especialmente interesantes desde el punto de vista biológico porque evitan la perturbación del suelo, aumentan la materia orgánica en él (principalmente en la superficie; Sá 1993), y permiten la recuperación de la actividad biológica del suelo, fortaleciendo su papel en la fertilidad del mismo (House y Parmelee 1985; Hendrix et al. 1990; Brown et al. 2002b).

### *Tecnologías directas complementarias del manejo biológico*

Aunque es más probable que tengan éxito las intervenciones de más alto nivel en los agroecosistemas, y que ejerzan influencia en el sistema por el efecto de cascada a niveles más bajos y hacia el final de la cadena trófica del suelo, las tecnologías específicas que manipulan directamente la biota edáfica también son útiles y pueden complementar las intervenciones indirectas mediante el manejo de la materia orgánica y del agroecosistema. No obstante, estas prácticas de manejo tienen una aplicación más limitada y se deben adoptar en condiciones muy específicas, dependiendo de las características del agroecosistema. Las siguientes secciones contienen ejemplos de las técnicas de manejo biológico del suelo usando microorganismos y

macrofauna, las perspectivas y beneficios de su uso, y algunos problemas que se tienen que solucionar para permitir su amplia adopción.

#### MICROORGANISMOS BENÉFICOS DEL SUELO

Los microorganismos benéficos incluyen los que crean asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, promueven la mineralización y disponibilidad de nutrientes, producen hormonas de crecimiento de las plantas, y son antagonistas de las plagas, parásitos o enfermedades que atacan las plantas. Muchos de estos organismos están presentes de manera natural en el suelo, aunque en algunas situaciones puede ser beneficioso aumentar sus poblaciones, bien sea mediante la inoculación o mediante la aplicación de diversas técnicas agrícolas de manejo para aumentar su abundancia y actividad.

El papel en la producción agrícola de la familia bacteriana Rhizobiaceae, fijadora de  $N_2$ , es tal vez la forma más común y exitosa del manejo biológico directo (Recuadro 9.6). Los rizobios infectan las raíces de las plantas, creando nódulos donde se fija el  $N_2$  y proporcionando a la planta la mayor parte del nitrógeno que necesita para su desarrollo. Las plantas bien noduladas con una simbiosis eficiente pueden fijar cientos de kilogramos de nitrógeno por hectárea anualmente. Las raíces expelen parte de este nitrógeno al suelo durante el crecimiento de la planta, aunque se exporta gran parte del nitrógeno en los granos (granos de leguminosas) o permanece en los tejidos de planta y es liberado durante la descomposición de los residuos, para beneficiar los siguientes cultivos o cultivos intercalados. Si las micorrizas han colonizado previamente las raíces de las leguminosas, se promueve muchísimo la nodulación por los rizobios, aumentando finalmente los beneficios potenciales del cultivo. Los incrementos en rendimiento atribuibles a la inoculación han sido bien documentados; Giller (2001) y Montañez (2002) han discutido las principales limitaciones. No obstante y a pesar de los beneficios obvios de la inoculación o del manejo de los rizobios, varios factores han limitado el uso de esta técnica para aumentar los rendimientos de las leguminosas; algunos de estos factores son la amplia promoción de los fertilizantes nitrogenados, la falta de incentivos en el mercado para el cultivo de las leguminosas, la falta de conocimiento sobre la importancia de la fijación de  $N_2$  o de la adopción de inóculos por parte de los agricultores, las limitantes ambientales (como los niveles bajos de fósforo en el suelo, la sequía), la mala calidad y la poca disponibilidad de inóculos, la poca compatibilidad genética de la leguminosa hospedante con la bacteria, y la falta de infraestructura y de

#### Recuadro 9.6. Oportunidades y limitaciones de la inoculación

La fijación biológica de nitrógeno es crucial para la sostenibilidad de la agricultura pero muchas veces se ve restringida por la ausencia en el suelo de microorganismos fijadores de nitrógeno, eficientes y competitivos. Obviamente es necesario mejorar la disponibilidad, la calidad y la entrega de estos microorganismos debido a su importancia para la producción agrícola. La investigación sobre fijación biológica de nitrógeno se ha desarrollado ampliamente durante las últimas décadas, mejorando el conocimiento del proceso. Sin embargo, la aplicación de las tecnologías de fijación biológica de nitrógeno y su impacto en los sistemas agrícolas ha estado por debajo de lo esperado. Los inóculos no desempeñan un papel importante en la producción de algunas de las leguminosas alimenticias más importantes, y muchos de los inóculos que se producen en el mundo aún son de baja calidad (FAO 1991). Se puede asegurar la adopción espontánea solamente cuando los agricultores han visto y están convencidos de los beneficios de la fijación biológica de nitrógeno y son capaces de superar las limitantes, en colaboración con los investigadores, el sector privado y los diseñadores de las políticas.

En diferentes agroecosistemas y condiciones socioeconómicas existen oportunidades para mejorar los insumos de la fijación biológica de nitrógeno, a través de los siguientes medios:

- Alterar la cantidad de organismos simbióticos o asociados efectivos en el sistema (inoculación)
- Mejorar los métodos y la tecnología de inoculación
- Evaluar y seleccionar los más apropiados cultivos y cepas microbianas
- Utilizar prácticas de manejo que aumenten la fijación de  $N_2$  y el reciclaje de N neto que ingresa al sistema de cultivo (como la rotación, la aplicación de abonos verdes, la no labranza y el uso estratégico de leguminosas; Montañez 2002).

Más información sobre este tema se puede encontrar en Giller (2001) y en la url: [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseB1.pdf](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseB1.pdf).

incentivos políticos y económicos apropiados (Giller et al. 1994; Hungría et al. 1999).

Las micorrizas son asociaciones mutualistas altamente evolucionadas entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas. La planta dona carbono a las micorrizas a cambio de una mayor capacidad para usar los recursos nativos del suelo. Más del 90% de las plantas del mundo son micorrizales, con diversos grados de dependencia y de beneficios derivados de esta asociación. La simbiosis con micorrizas más conocida y tal vez la más común involucra las micorrizas arbusculares (muchas especies culti-

vadas) y las ectomicorrizas (sólo especies leñosas, principalmente árboles y arbustos), aunque existen también muchos otros tipos (Allen et al. 1995). El rol positivo de las micorrizas en la producción agrícola está bien documentado, en muchos casos favoreciendo el crecimiento y aumentando el rendimiento, especialmente en las plantas que son altamente dependientes y susceptibles. La respuesta de la planta puede ser el resultado de varios factores, aunque en la mayoría de los casos se explica por un aumento en el área efectiva de enraizamiento para la extracción de agua y nutrientes, puesto que la red de las hifas de las micorrizas funciona como una extensión natural del sistema radicular de la planta. Una mejor protección contra patógenos, mayor tolerancia a los contaminantes, y mayor resistencia al estrés por sequía, a las temperaturas altas en el suelo, al pH adverso del suelo y a los shocks del trasplante son algunos otros beneficios de la asociación con las micorrizas.

Sin embargo, la dificultad para cultivar micorrizas arbusculares y producir suficiente inóculo a precios accesibles ha dificultado el amplio uso de inoculantes de micorrizas en los agroecosistemas. Adicionalmente, la eficiencia de la simbiosis disminuye al aumentar el estado de fertilidad del suelo (especialmente en relación al contenido de fósforo) o con la aplicación de grandes cantidades de fertilizante fosforado. Actualmente, el uso de micorrizas resulta más práctico para los esfuerzos de restauración y reclamación de tierras, y para la inoculación de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas en plántulas de árboles y cultivos en los viveros. No obstante, es factible aumentar las poblaciones de micorrizas naturalmente presentes en los campos agrícolas (y sus beneficios potenciales para los cultivos en crecimiento), y pueden surgir beneficios importantes de la adopción de diversas prácticas de manejo que aumenten las poblaciones de micorrizas y su actividades, como la no labranza, la rotación de cultivos, la reducción en la aplicación de fertilizantes (especialmente los nitrogenados y los fosforados), y la selección de hospederos apropiados para aumentar la ineficiencia del suelo antes de sembrar el cultivo principal (Abbott y Robson 1994). Por tanto, el potencial de mejorar los beneficios de la simbiosis con micorrizas parece valer la pena especialmente en agroecosistemas de bajo uso de insumos externos y en la agricultura orgánica.

#### MACROFAUNA EDÁFICA BENÉFICA

Las prácticas de manejo biológico directas también pueden incluir la inoculación o la promoción de la actividad de los ingenieros del ecosistema edáfico. En India se desarrolló un ejemplo muy exitoso de esta técnica,

utilizando lombrices y fertilizantes orgánicos en huertos de té en Tamil Nadu (Giri 1995; Lavelle et al. 1998; Senapati et al. 1999, 2002).

El té es un cultivo de alto valor en India, con una larga historia (muchas plantaciones tienen más de 100 años de establecidas). En años recientes se ha estabilizado la producción de té verde, a pesar del aumento en la aplicación de insumos externos como fertilizantes y plaguicidas. La explotación del suelo a largo plazo en los huertos de té ha conllevado importantes cambios en diversas condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, entre ellas la disminución del contenido de materia orgánica, del intercambio de cationes, de la capacidad de retención de agua, de las poblaciones de macrofauna edáfica (reducciones de hasta el 70%), del pH, y simultáneamente, el aumento de la toxicidad de aluminio.

Como respuesta a estas limitaciones en la producción de té, la empresa Parry Agro Industries Ltd., en asociación con el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo y la Universidad de Sambalpur (Orissa, India), desarrolló una tecnología patentada llamada Fertilisation Bio-Organique dans les Plantations Arborées (FBO)—Fertilización Bio-Orgánica en Plantaciones de Árboles y Arbustos. El objetivo de esta tecnología es mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo al inocular una mezcla de materiales orgánicos de baja y alta calidad (recortes de la planta de té y estiércol) y lombrices en zanjas cavadas entre hileras de plantas de té. Las mediciones realizadas en dos sitios desde 1994 han mostrado que esta técnica es mucho más efectiva que la fertilización 100% orgánica o 100% inorgánica solamente, logrando aumentar los rendimientos promedio en hasta 276% y las ganancias en un porcentaje igual (de aproximadamente US\$2,000/ha usando técnicas convencionales hasta unos US\$5,700/ha usando FBO) después del primer año de aplicar este tratamiento. La técnica se ha extendido a otros países, y los principios de su aplicación pueden ser útiles para otros cultivos de plantación. Los detalles del método se pueden encontrar en el documento de la patente (ref. PCT/FR 97/01363; consultar también la url: [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA1.pdf](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA1.pdf)).

Una manipulación similar pero indirecta de los ingenieros en las poblaciones del ecosistema, mediante la aplicación de materia orgánica en los suelos encostrados del Sahel, aumentó la actividad de las termitas y logró la restauración de la estructura del suelo, y consecuentemente, una mayor productividad de los cultivos (Mando et al. 1997, 2002; consultar también <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA2.pdf>). En las últimas décadas ha aumentado la extensión de suelos desnudos y encostrados en el Sahel, degradando seriamente el paisaje y reduciendo

la producción agrícola. Sin embargo, cuando se acolchonaron los suelos desnudos y encostrados del norte de Burkina Faso, las termitas migraron de zonas cercanas e invadieron el sustrato orgánico y la capa cultivable, cambiando significativamente la estructura física del suelo. Se abrieron muchas galerías hacia la superficie del suelo, reduciendo así el sellamiento de la superficie. Se crearon macroporos con formas y tamaños irregulares en todo el perfil cultivable, reduciendo la compactación y aumentando la infiltración y el drenaje del agua de tal manera que se pudieron volver a sembrar cultivos. Adicionalmente, las termitas aumentaron la descomposición y mineralización del suelo descubierto y encostrado, liberando nutrientes para la absorción de las plantas. En las parcelas con cobertura vegetal, donde se excluyó artificialmente el ingreso de termitas, los rendimientos de caupí fueron menos del 1% del rendimiento en las parcelas en las que las termitas estuvieron presentes y activas. Este trabajo demostró nuevamente que las termitas, lejos de ser plagas en los agroecosistemas, pueden ser extremadamente importantes para la producción agrícola y para el funcionamiento del ecosistema, y que en algunos casos es posible manejar su actividad en beneficio de los seres humanos.

En muchas partes de África los agricultores retiran toda la materia orgánica de sus parcelas por temor a las plagas y enfermedades asociadas, especialmente a las termitas, que se alimentan de los cultivos si no hay disponibilidad de otros recursos alimenticios, aunque prefieren materiales secos. Lograr un cambio en el comportamiento depende de poder convencer a los agricultores, por ejemplo mediante parcelas de estudio, del valor de la cobertura vegetal para mejorar la actividad biológica y la infiltración de agua, reducir la evaporación, y proporcionar los nutrientes y la humedad, esenciales para la plantas.

#### *Accidentes en la biodiversidad del suelo*

Los ejemplos antes mencionados hacen referencia a intervenciones planeadas con el objetivo de mejorar las prácticas de manejo agrícola por medios biológicos. Ocasionalmente, sin embargo, se presentan accidentes (Lavelle 2000) que brindan oportunidades para ensayar los principios del manejo biológico. En estos accidentes, la pérdida de grupos funcionales clave de la biota edáfica en un sitio específico, generalmente ocasionada por la interferencia humana, puede tener efectos dramáticos (generalmente negativos) en la función del ecosistema. Uno de estos ejemplos involucra la destrucción de la estructura del suelo y la degradación de las pasturas

en suelos caoliníticos de la cuenca amazónica (Chauvel et al. 1997, 1999; Barros et al. 2004).

En la cuenca amazónica, el 95% del área deforestada se convierte en pasturas, y se puede considerar que aproximadamente el 50% de estas pasturas están degradadas debido al mal manejo, los problemas fitosanitarios, la baja fertilidad del suelo y la modificación de su estructura (ligada a la actividad de la fauna). La estructura de los macroagregados de los suelos caoliníticos que predominan en la región del Amazonas es favorable pero frágil debido a su bajo contenido de óxidos e hidróxidos metálicos. Cuando se convierte el bosque en una pastura, el pisoteo primero de la maquinaria y luego del ganado puede ocasionar una compactación severa del suelo, especialmente en la capa entre los 5 y los 10 cm (Chauvel et al. 1997).

Pero lo más grave es que se alteren radicalmente las comunidades de la macrofauna del suelo del bosque nativo y desaparezca la mayoría de los taxones nativos. La invasión oportunista de lombrices de la especie *Pontoscolex corethrurus* se apodera de la riqueza abandonada y logra alcanzar una biomasa de más de 450 kg/ha (casi el 90% de la biomasa total de fauna edáfica). Esta especie anualmente produce más de 100 mg/ha de estiércol, disminuyendo dramáticamente la macroporosidad del suelo a un nivel equivalente al que produce la acción de la maquinaria pesada sobre el suelo (2.7cm<sup>3</sup>/100 g). Durante la estación lluviosa, estas deposiciones de lombrices sellan la superficie del suelo, saturándolo y produciendo una capa espesa de lodo en la cual prevalecen las condiciones anaeróbicas (aumentando simultáneamente tanto las emisiones de metano como la denitrificación). En la estación de seca, la desecación agrieta la superficie, bloqueando el crecimiento de las raíces y disminuyendo su capacidad para extraer agua del suelo. Las plantas se marchitan y mueren, dejando parches pelados en la pastura (Chauvel et al. 1997).

En un experimento realizado cerca de Manaus, Brasil, se demostró el papel que desempeña *P. corethrurus* y un enlace de diversos organismos del suelo (como por ejemplo, otras especies de lombrices, termitas, milpiés, isópodos, hormigas) en la destrucción y recreación de la estructura del suelo (Barros et al. 2004). Se retiraron de la pastura los monolitos del suelo de 25 x 25 cm y se colocaron en el bosque; se tomaron bloques similares del bosque y se colocaron en la pastura. Pasado un año, la estructura del suelo compactado de la pastura estaba completamente restaurada a los niveles típicos de los suelos del bosque nativo, debido a la acción de las comunidades de diversos invertebrados del suelo del bosque. Por otro lado, *P. corethrurus* había destruido completamente la estructura de los ma-

croagregados del suelo del bosque, los cuales terminaron compactados y exhibieron niveles de porosidad similares a los de una pastura degradada.

Esta investigación pone en claro no sólo la suma importancia del papel de los diversos vínculos de los macroinvertebrados en el mantenimiento de la estructura del suelo (especialmente en suelos caoliníticos), sino también los problemas asociados a prácticas de manejo que no están bien adaptadas al medio ambiente (pasturas extensas en suelos problemáticos después de la deforestación) y el papel de las especies invasoras en los espacios y los procesos del ecosistema. Estos resultados deben incluirse en la capacitación de agricultores y extensionistas porque el compartir experiencias entre agricultores e investigadores ayudará a catalizar la innovación y el manejo adaptativo, y proveerá retroalimentación acerca de las limitantes que deben resolver investigadores y formuladores de políticas.

## Conclusiones

Hemos visto que la biota edáfica representa una parte sustancial de la diversidad biológica del planeta. También contribuye significativamente al bienestar de la humanidad a través de su papel en la producción de bienes y servicios, que van desde los productos agrícolas hasta la regulación del clima y la calidad del agua subterránea. Sin embargo, este grupo de organismos sigue siendo muy desconocido por la población, en gran parte ignorado en las evaluaciones científicas sobre biodiversidad y descuidado en el desarrollo de los sistemas agrícolas. Los vínculos, íntimos y complejos, entre los organismos del suelo y aquellos que habitan sobre él, especialmente las plantas, hacen que ésta sea una omisión muy preocupante. La capacidad del manejo de estos organismos con base en el conocimiento sigue siendo limitada, pero se han dado pasos significativos para desarrollar principios y métodos. El desarrollo y la explotación de estos enfoques merecen ser considerados como uno de los retos más importantes del presente siglo.

Si se han de lograr sistemas agrícolas más sostenibles y productivos, debemos tener claro el impacto de los cambios de manejo de la tierra en el funcionamiento de los ecosistemas edáficos a corto y largo plazo. Esto conlleva el desarrollo de indicadores apropiados para mejorar la comprensión de las interacciones entre el uso de la tierra y la biodiversidad del suelo, y para monitorear y evaluar las tendencias, los impactos y el progreso en la promoción de la conservación y el uso sostenible de los agroecosistemas y sus componentes. Dichos indicadores deben facilitar el monitoreo a dife-

rentes escalas espaciales y proporcionar una herramienta para el manejo adecuado de los recursos de la tierra y de la biodiversidad, tanto a nivel local como nacional, y para hacer una revisión regional y mundial del estado y las tendencias de la biodiversidad y los recursos naturales.

Las prácticas de manejo del suelo, los cultivos y las plagas generalmente se desarrollan como tecnologías separadas, y se ignoran sus impactos en la función de las otras partes del ecosistema. El desarrollo de estrategias de manejo orientadas al ecosistema implica un enfoque integral del sistema en vez de un enfoque reduccionista basado en componentes aislados. Si se tratan los procesos del suelo simultáneamente a través de un enfoque del sistema, que tenga en cuenta las interacciones de manejo entre suelo, agua, cultivos, ganado y seres humanos, se pueden desarrollar estrategias y recomendaciones que atiendan más efectivamente las múltiples metas de los agricultores y ganaderos. Se conocen varios casos que muestran tanto los efectos positivos como los negativos de las prácticas de manejo biológico para una mayor productividad agrícola y sostenibilidad del agroecosistema. Cuando no se ponen las estrategias de manejo en el contexto del ecosistema, o cuando la falta de conocimiento no permite una valoración adecuada de los riesgos o las limitantes potenciales, las consecuencias de las prácticas o las tecnologías inapropiadas pueden ser desastrosas. Por otro lado, cuando se tienen en cuenta las características específicas de un ecosistema, y las oportunidades y las limitantes de un sistema agrícola, es más probable, aunque no está garantizado, que las intervenciones tengan éxito. El manejo biológico integrado del suelo y el manejo de los agroecosistemas exigen conocer los organismos del suelo, sus interacciones y necesidades, el efecto de diversas prácticas en sus poblaciones y funciones, y el contexto del suelo, las plantas, el ganado, el agroecosistema, el clima, además de los contextos socioeconómicos y humanos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la FAO, a través del Programa de Colaboración con los Países Bajos y del Programa conocido como Profix del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Brasil), por su apoyo durante el desarrollo de este capítulo. Agradecemos también a J. Benites, D. Cooper, J. J. Jiménez, y a un revisor anónimo, por sus comentarios, y especialmente a D. Jarvis y L. Sears por su arduo trabajo de edición, sin el cual no se hubiera podido publicar este capítulo. Para mayor información

sobre el tema del capítulo, ver el portal de la FAO sobre Biodiversidad del Suelo ([www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/)).

## Referencias

- Abbott, L. K. y A. D. Robson. 1994. The impact of agricultural practices on mycorrhizal fungi. En C. E. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta y P. R. Grace, eds., *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, 88–95. East Melbourne, Australia: CSIRO.
- Allen, E. B., M. F. Allen, D. J. Helm, J. M. Trappe, R. Molina y E. Rincón. 1995. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *Plant Soil* 170:47–62.
- Amman, R. y W. Ludwig. 2000. RNA ribosomal-targeted nucleic acid probes for studies in microbial ecology, *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Reviews* 24:555–565.
- Anderson, J. M. 1994. Functional attributes of biodiversity in land use systems. En D. J. Greenland y I. Szabolcs, eds., *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, 267–290. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Anderson, J. M. 1995. Soil organisms as engineers: Microsite modulation of macroscale processes. En C. G. Jones y J. H. Lawton, eds., *Linking Species and Ecosystems*, 94–106. New York: Chapman & Hall.
- Anderson, J. M. 2000. Food web functioning and ecosystem processes: Problems and perceptions of scaling. En D. C. Coleman y P. F. Hendrix, eds., *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*, 3–24. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- André, H. M., M. I. Noti y P. Lebrun. 1994. The soil fauna: The other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation* 3:45–56.
- Barros, M. E., M. Grimaldi, M. Sarrazin, A. Chauvel, D. Mitja, T. Desjardins y P. Lavelle. 2004. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. *Applied Soil Ecology* 26:157–168.
- Bater, J. E. 1996. Micro-and macro-arthropods. En G. S. Hall, ed., *Methods for the Examination of Organismal Diversity in Soils and Sediments*, 163–174. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Brown, G. G., I. Barois y P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology* 36:177–198.
- Brown, G. G., C. A. Edwards y L. Brussaard. 2004. How earthworms affect plant growth: Burrowing into the mechanisms. En C. A. Edwards, ed., *Earthworm Ecology*, 13–49. Boca Ratón, Fl: CRC Press.

- Brown, G. G., M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning y A. Montañez. 2002a. *Programme, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*. Serie Documentos Vol. 182. Londrina, Brasil: EMBRAPA Soja.
- Brown, G. G., A. Pasini, N. P. Benito, A. M. de Aquino y M. E. F. Correia. 2002b. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems. En *Proceedings of the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*, Noviembre 8-10, 2001, CD-ROM, 1-20. Montreal: UNU/CBD.
- Brown, K. S. Jr. 1991. Conservation of neotropical environments: Insects as indicators. En N. M. Collins y J. A. Thomas, eds., *The Conservation of Insects and Their Habitats*, 349-403. Londres: Academic Press.
- Brussaard, L., V. M. Behan-Pelletier, D. E. Bignell, V. K. Brown, W. Didden, P. Folgarait, C. Fragoso, D. Wall-Freckman, V. V. S. R. Gupta, T. Hattori, D. L. Hawksworth, C. Klopatek, P. Lavelle, D. W. Malloch, J. Rusek, B. Söderström, J. M. Tiedje y R. A. Virginia. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26:563-570.
- Brussaard, L., T. W. Kuyper, W. A. M. Didden, R. G. M. de Goede y J. Bloem. 2004. Biological soil quality from biomass to biodiversity: Importance and resilience to management stress and disturbance. En P. Schjøning, S. Emholt y B. T. Christensen, eds., *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*, 139-161. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2002. *Action for a Sustainable Future: Decisions from the Sixth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*. Montreal, Canadá: Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Chambers, R. 1991. Farmer first: A practical paradigm for the third agriculture. En M. Altieri y S. B. Hecht, eds., *Agroecology and Small Farm Development*, 237-244. Boca Ratón, FL: CRC Press.
- Chauvel, A., E. M. Barbosa, E. Blanchart, M. Grimaldi, J. Ferraz, P. D. Martins, O. Topall, E. Barros, T. Desjardins, N. F. Filho, I. P. A. Miranda, M. Sarrazin y D. Mitja. 1997. Mise en valeur de la forêt et modifications écologiques. En H. Théry, ed., *Environnement et développement en Amazonie Brésilienne*, 42-75. Paris: Editions Berlin.
- Chauvel, A., M. Grimaldi, E. Barros, E. Blanchart, M. Sarrazin y P. Lavelle. 1999. Pasture degradation by an Amazonian earthworm. *Nature* 389:32-33.
- Decaëns, T., L. Mariani, N. Betancourt y J. J. Jiménez. 2001. Earthworm effects on permanent soil seed banks in Colombian grasslands. En J. J. Jiménez y R. J. Thomas, eds., *Nature's Plow: Soil Macroinvertebrate Communities in the Neotropical Savannas of Colombia*, 274-293. Cali, Colombia: CIAT.

- Doran, J. W., D. C. Coleman, D. F. Bezdicek y B. A. Stewart. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication 35. Madison, WI: ASA.
- Doran, J. W. y A. J. Jones. 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49. Madison, WI: ASA.
- Doran, J. W. y T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. En J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek y B. A. Stewart, eds., *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 3-21. Madison, WI: ASA.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1991. *Expert Consultation on Legume Inoculant Production and Quality Control*. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. *World Agriculture: Towards 2015/2030, Summary Report*. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. *Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*. World Resources Soil Reports 101. Roma: FAO.
- Giller, K. E. 2001. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*, 2nd ed. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Giller, K. E., M. H. Beare, P. Lavelle, A. M. N. Izac y M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6:3-16.
- Giller, K. E., J. F. McDonagh y G. Cadish. 1994. Can biological nitrogen fixation sustain agriculture in the tropics? En J. K. Syers y D. L. Rimmer, eds., *Soil Science and Sustainable Land Management in the Tropics*, 173-191. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Giri, S. 1995. *Short Term Input Operational Experiment in Tea Garden with Application of Organic Matter and Earthworm*. M.Phil. thesis, Sambalpur University, Jyoti Vihar, India.
- Gliessman, S. R. 1990. Understanding the basis of sustainability for agriculture in the tropics: Experiences in Latin America. En C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller y G. House, eds., *Sustainable Agricultural Systems*, 378-390. Ankeny, IA: SWCS.
- Hågvar, S. 1998. The relevance of the Rio Convention on Biodiversity to conserving the biodiversity of soils. *Applied Soil Ecology* 9:1-7.
- Hawksworth, D. L. 1991. The fungal dimension of biodiversity: Magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research* 95:641-655.
- Hawksworth, D. L. y M. T. Kalin-Arroyo. 1995. Magnitude and distribution of biodiversity. En V. H. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 107-191. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Hawksworth, D. L. y L. A. Mound. 1991. Biodiversity databases: The crucial significance of collections. En D. L. Hawksworth, ed., *The Biodiversity of Microorga-*

- nisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*, 17–29. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Hendrix, P. F., D. A. Crossley Jr., J. M. Blair y D. C. Coleman. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. En C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller y G. House, eds., *Sustainable Agricultural Systems*, 637–654. Ankeny, Iowa: SWCS.
- Hendrix, P. F., R. W. Parmelee, D. A. Crossley Jr., D. C. Coleman, E. P. Odum y P. M. Groffman. 1986. Detritus food webs in conventional and non-tillage agroecosystems. *BioScience* 36:374–380.
- Hillel, D. 1991. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. Berkeley: University of California Press.
- House, G. J. y R. W. Parmelee 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Research* 5:351–360.
- Hungria, M., M. A. T. Vargas, D. de S. Andrade, R. J. Campo, L. M. de O. Chueire, M. C. Ferreira y I. C. Mendes. 1999. Fixação biológica do nitrogênio em leguminosas de grãos. En J. O. Siqueira, F. M. S. Moreira, A. S. Lopes, L. R. G. Guilherme, V. Faquin, A. E. Furtani Neto y J. G. Carvalho, eds., *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*, 597–620. Lavras, Brasil: UFLA.
- Ingham, E. R. 1999. The food web and soil health. En A. J. Tugel y A. M. Lewandowski, eds., *Soil Biology Primer*, B1–B10. Ames, IA: NRCS Soil Quality Institute.
- Ingham, R. E., J. A. Trofymow, E. R. Ingham y D. C. Coleman. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs* 55:119–140.
- Jones, C. G., J. H. Lawton y M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373–386.
- Keeney, D. R. y D. W. Nelson. 1982. Nitrogen: Inorganic forms. En C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White y F. E. Clark, eds., *Methods of Soil Analysis*, Part 2, 682–687. Madison, WI: ASA.
- Kevan, D. K. M. 1985. Soil zoology, then and now—mostly then. *Quaestiones Entomologicae* 21:371.7–472.
- Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International* 33:3–16.
- Lavelle, P. 2000. Ecological challenges for soil science. *Soil Science* 165:73–86.
- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441–450.
- Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. G. Brown, L. Brussaard, T. Decaëns, C. Fragoso, J. J. Jiménez, K. Ka Kajondo, M. A. Martínez, A. G. Moreno, B. Pashanasi, B. K. Senapati y C. Villenave. 1998. Earthworms as a resource in tropical agroecosystems. *Nature and Resources* 34:28–44.

- Lavelle, P., D. Bignell, M. Lepage, V. Wolters, P. Roger, P. Ineson, O. W. Heal y S. Ghillion. 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33:159-193.
- Lewinsohn, T. M. y P. I. Prado. 2005. How many species are there in Brazil? *Conservation Biology* 19:619-624.
- Lewinsohn, T. M. y P. I. Prado. 2006. *Síntese do conhecimento da biodiversidade brasileira*, Vol. I. 21-109. Secretaria do Biodiversidade e Florestas, Brasília: Ministerio del Medio Ambiente
- Lowdermilk, W. C. 1978. *Conquest of the Land Through 7,000 Years*. Agriculture Information Bulletin 99. Washington, DC: USDA.
- Mando, A., L. Brussaard y L. Stroosnijder. 1997. Termite-and mulch-mediated rehabilitation of vegetation on crusted soil in West Africa. *Restoration Ecology* 7:33-41.
- Mando, A., L. Brussaard, L. Stroosnijder y G. G. Brown. 2002. Managing termites and organic resources to improve soil productivity in the Sahel. En G. G. Brown, M. Hungría, L. J. Oliveira, S. Bunning y A. Montañez, eds., *Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*, Serie Documentos Vol. 182, 191-203 (Disponible en: [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm)). Londrina, Brasil: EMBRAPA Soja.
- McNeely, J. A., M. Gadgil, C. Levèque, C. Padoch y K. Redford. 1995. Human influences on biodiversity. En V. H. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 711-821. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Montañez, A. 2002. Overview and case studies on biological nitrogen fixation: Perspectives and limitations. En G. G. Brown, M. Hungría, L. J. Oliveira, S. Bunning y A. Montañez, eds., *Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*, Serie Documentos Vol. 182, 204-224. Londrina, Brasil: EMBRAPA Soja. Disponible en: [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm)
- Moreira, F. M. S., J. O. Siqueira y L. Brussaard. 2006. Soil organisms in tropical ecosystems: A key role for Brazil in the global quest for the conservation and sustainable use of biodiversity. En F. M. S. Moreira, J. O. Siqueira y L. Brussaard, eds., *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*, 1-12. Wallingford, Reino Unido: CABI.
- Muckel, G. B. y M. J. Mausbach. 1996. Soil quality information sheets. En J. W. Doran y A. J. Jones, eds., *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49, 393-400. Madison, WI: ASA.
- Myers, R. J. K., C. A. Palm, E. Cuevas, I. U. N. Gunatilleke y M. Brossard. 1994. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. En P. L. Woomer y M. J. Swift, eds., *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, 81-116. Chichester, Reino Unido: Wiley.

- Oades, J. M. y L. J. Walters. 1994. Indicators for sustainable agriculture: Policies to paddock. En C. E. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta y P. R. Grace, eds., *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, 219-223. East Melbourne, Australia: CSIRO.
- Ortiz, B., C. Fragoso, I. Mboukou, B. Pashanasi, B. K. Senapati y A. Contreras. 1999. Perception and use of earthworms in tropical farming systems. En P. Lavelle, L. Brussaard y P. F. Hendrix, eds., *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, 239-252. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Palm, C. A., K. E. Giller, P. L. Mafongoya y M. J. Swift. 2001. Management of organic matter in the tropics: Translating theory into practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:63-75.
- Palm, C. A., K. E. Giller y M. J. Swift. 2000. Synchrony: An overview. En *The Biology and Fertility of Tropical Soils. Tropical Soil Biology and Fertility Programme Report 1997-1998*, 18-20. Nairobi, Kenia: TSBF.
- Pankhurst, C. E. 1994. Biological indicators of soil health and sustainable productivity. En D. J. Greenland y I. Szabolcs, eds., *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, 331-351. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Pankhurst, C. E., B. M. Doube y V. V. S. R. Gupta. 1997. *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Paoletti, M. G. 1999. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes: Practical Use of Invertebrates to Assess Sustainable Land Use*. Amsterdam: Elsevier.
- Pearce, T. G., N. Roggero y R. Tipping. 1994. Earthworms and seeds. *Journal of Biological Education* 28:195-202.
- Pimentel, D., C. Wilson, C. McCullum, R. Huang, P. Dwen, J. Flack, Q. Tran, T. Saltman y B. Cliff. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience* 47:747-757.
- Puentes, R. y M. J. Swift. 2000. Tropical soil ecology: Matching research opportunities with farmers' needs. En M. J. Swift, ed., *Managing the Soil Biota for Sustainable Agriculture: Opportunities and Challenges*. Nairobi, Kenia: Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF).
- Ramos, S. F. J. 1998. *Grupo Vicente Guerrero de Españita, Tlaxcala. Dos décadas de promoción de campesino a campesino*. Ciudad de México, México: Red de Gestión de Recursos Naturales y La Fundación Rockefeller.
- Sá, J. C. M. 1993. *Manejo da fertilidade do solo no plantio direto*. Ponta Grossa, Brasil: Fundação ABC.
- Sánchez, P. A. 1994. Tropical soil fertility research: Towards the second paradigm. En *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science*, Vol. 1, 65-88. Acapulco, México: ISSS.

- Sánchez, P. A. 1997. Changing tropical soil fertility paradigms: From Brazil to Africa and back. En A. C. Moniz, ed., *Plant-Soil Interactions at Low pH*, 19–28. Lavras, Brasil: Sociedad Brasileña de Ciencia del Suelo.
- Senapati, B. K., P. Lavelle, S. Giri, B. Pashanasi, J. Alegre, T. Decaëns, J. J. Jiménez, A. Albrecht, E. Blanchart, M. Mahieux, L. Rousseaux, R. Thomas, P. K. Panigrahi y M. Venkatachalan. 1999. In-soil technologies for tropical ecosystems. En P. Lavelle, L. Brussaard y P. F. Hendrix, eds., *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, 199–237. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Senapati, B. K., P. Lavelle, P. K. Panigrahi, S. Giri y G. G. Brown. 2002. Restoring soil fertility and enhancing productivity in Indian tea plantations with earthworms and organic fertilizers. En G. G. Brown, M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning y A. Montañez, eds., *Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*, Serie Documentos Vol. 182, 172–190. Londrina, Brasil: EMBRAPA Soja. Disponible en: [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm).
- Settle, W. 2000. *Living Soils: Training Exercises for Integrated Soils Management*. Jakarta, Indonesia: FAO Programme for Community IPM en Asia.
- Shepherd, T. G. 2000. *Visual Soil Assessment*, Vol. 1, *Field Guide for Cropping and Pastoral Grazing on Flat to Rolling Country*, 84. Palmerston North, Nueva Zelanda: Horizon.MW & Landcare Research.
- Stork, N. E. y P. Eggleton. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:38–47.
- Swift, M. J. 1997. Biological management of soil fertility as a component of sustainable agriculture: Perspectives and prospects with particular reference to tropical regions. En L. Brussaard y R. Ferrera-Cerrato, eds., *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*, 137–159. Boca Ratón, FL: Lewis Publishers.
- Swift, M. J. 1999. Towards the second paradigm: Integrated biological management of soil. En J. O. Siqueira, F. M. S. Moreira, A. S. Lopes, L. R. G. Guilherme, V. Faquin, A. E. Furtani Neto y J. G. Carvalho, eds., *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*, 11–24. Lavras, Brasil: UFAL.
- Swift, M. J., L. Bohren, S. E. Carter, A. M. Izac y P. L. Woomer. 1994. Biological management of tropical soils: Integrating process research and farm practice. En P. L. Woomer y M. J. Swift, eds., *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, 209–227. Nueva York: Wiley.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong y B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. En H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, y E.-D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 261–298. Nueva York: Wiley.
- Torsvik, V., J. Goksøy, F. L. Daae, R. Sørheim, J. Michalsen y K. Salte. 1994. Use of DNA analysis to determine the diversity of microbial communities. En K. Ritz, J.

- Dighton y K. E. Giller, eds., *Beyond the Biomass: Composition and Functional Analysis of Soil Microbial Communities*, 39–48. Chichester, Reino Unido: Wiley.
- Torsvik, T. y L. Ovreas. 2002. Microbial diversity and function in soil: From genes to ecosystems. *Current Opinion in Microbiology* 5:240–245.
- TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Institute). 1999. *Managing the Soil Biota for Sustainable Agricultural Development in Africa: A Collaborative Initiative. A Proposal to the Rockefeller Foundation*. Nairobi, Kenia: TSBF.
- TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Institute). 2000. *The Biology and Fertility of Tropical Soils. Tropical Soil Biology and Fertility Programme Report 1997–1998*. Nairobi, Kenia: TSBF.
- Usher, M. B., P. Davis, J. Harris y B. Longstaff. 1979. A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of microarthropods in decomposer communities. En R. M. Anderson, B. D. Turner y L. R. Taylor, eds., *Population Dynamics*, 359–384. Oxford: Oxford University Press.
- Vandermeer, J., M. van Noordwijk, J. M. Anderson, C. Ong y I. Perfecto. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems Environment* 67:1–22.
- van Straalen, N. M. 1998. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology* 9:429–437.
- Wall, D. H. y J. C. Moore. 1999. Interactions underground: Soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. *BioScience* 49:109–117.
- Willems, J. H. y K. G. A. Huijsmans. 1994. Vertical seed dispersal by earthworms: A quantitative approach. *Ecography* 17:124–130.
- Wilson, E. O. 1985. The biological diversity crisis: A challenge to science. *BioScience* 35:700–706.

## 10 Diversidad y manejo de plagas en los agroecosistemas

---

### Algunas perspectivas desde la ecología

A. WILBY Y M. B. THOMAS

En la época actual, en la que se está perdiendo la biodiversidad a una velocidad sin precedentes debido a la actividad humana, la investigación ha dedicado muchos esfuerzos a evaluar la importancia de la biodiversidad para el funcionamiento y la estabilidad de los ecosistemas, y para el suministro de servicios ambientales. El control de plagas se ha identificado en numerosas ocasiones como un servicio ambiental valioso prestado por la biodiversidad (Pimentel 1961; Horn 1988; Altieri 1991; Mooney et al. 1995a, 1995b; Naylor y Ehrlich 1997; Naeem et al. 1999; Schläpfer et al. 1999), y como un servicio que está amenazado por la actividad humana (Naylor y Ehrlich 1997). Existe mucha evidencia que indica que a medida que se intensifican los sistemas de producción agrícola por el incremento en el uso de insumos externos para aumentar los rendimientos y cambiar la estructura del paisaje, estos sistemas tienden a perder su biodiversidad y se desestabilizan, y los brotes de plagas presentan una frecuencia y un alcance mayor (Pimentel 1961; Andow 1991; Kruess y Tschardtke 1994; Swift et al. 1996; Knops et al. 1999). Sin embargo, sabemos muy poco sobre los mecanismos ecológicos que dan como resultado esta desestabilización o sobre la importancia de la diversidad de los enemigos naturales para mantener las plagas bajo control. El objetivo de este capítulo es explorar cómo las apreciaciones ecológicas pueden facilitar la investigación de estos mecanismos y contribuir a desarrollar un marco de trabajo para examinar y comprender el papel de la biodiversidad en el mantenimiento de las plagas bajo control, y cómo diferentes prácticas de manejo moldean este papel. A través de ello, y aprovechando los hallazgos de nuestro trabajo previo (consultar a Wilby y Thomas 2002a, 2002b), identificamos

varias hipótesis y recomendaciones para la futura investigación sobre el papel y el manejo de la agrobiodiversidad para el control sostenible de las plagas.

Para nosotros poder predecir las consecuencias, en el control de plagas, de la pérdida de especies inducida por el ser humano, debemos mejorar nuestra comprensión en dos temas de la ecología de los agroecosistemas que se relacionan. Primero, necesitamos identificar y caracterizar los mecanismos mediante los cuales el manejo de los agroecosistemas afecta la diversidad y la manera como están compuestos los conjuntos de plagas y enemigos naturales. Segundo, necesitamos comprender las consecuencias de estos efectos en el control de plagas (Wilby y Thomas 2002a). Al acercarnos a estas preguntas utilizamos teorías ecológicas existentes sobre el acoplamiento de la comunidad y la función de la biodiversidad. Este último tema en particular ha tenido recientemente importantes avances, a pesar de existir cierto grado de controversia. Inicialmente examinamos esta controversia y nos preguntamos cómo las lecciones aprendidas deben influir en nuestro estudio de la relación entre la diversidad y el control de plagas.

## La biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas

La caracterización de la relación entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas ha sido una de las principales metas de la ecología durante la última década (ver Capítulo 9). Se han realizado numerosos estudios teóricos y empíricos sobre muchas propiedades de los ecosistemas, incluyendo la producción de biomasa (productores, consumidores y descomponedores), la absorción y retención de nutrientes, la descomposición, el pH del suelo, el contenido de agua y de materia orgánica en el suelo, y la respiración comunitaria (Schläpfer et al. 1999). Aunque la mayoría de los estudios han revelado una relación de saturación positiva entre la diversidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Schwartz et al. 2000), varios factores han generado polémica respecto a la interpretación de las relaciones entre la diversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Por ejemplo, existe controversia respecto al mérito relativo de la evidencia experimental o proveniente de la observación en la caracterización de la relación entre diversidad y funcionamiento de los ecosistemas. Se han criticado los estudios experimentales porque las distribuciones de la composición de las especies y de la abundancia de las especies en comunidades experimentales porque frecuentemente no se asemejan adecuadamente a las comunidades

naturales y porque a veces se confunden los efectos de la identidad de las especies y de la diversidad de las especies. (Huston 1997; Wardle 1999; Wardle et al. 2000). Adicionalmente, en los casos en que se ha demostrado que sí se presentan efectos de diversidad, ha habido controversia respecto a si estos fueron causados por el funcionamiento complementario de diferentes taxones o grupos funcionales, por las interacciones positivas entre especies, o por el efecto del muestreo, es decir, el aumento de la probabilidad de incluir especies de mucha influencia a medida que aumenta la diversidad (Huston 1997; Tilman et al. 1997). Se considera que los dos primeros mecanismos son verdaderamente efectos de la diversidad porque son propiedades que emergen de la diversidad, mientras que el último es un efecto estocástico resultante de la composición de las especies, el cual se puede ver como un verdadero efecto de la diversidad solamente si las probabilidades experimentales de la inclusión de especies son las mismas que las que se observan en la naturaleza. Se han desarrollado métodos para separar los verdaderos efectos de la diversidad de los efectos del muestreo o de la selección. Por ejemplo, la replicación de los niveles de diversidad con diferentes composiciones excluye la posibilidad de confundir la diversidad con la identidad, y la ecuación Loreau–Hector (Loreau y Hector 2001) permite separar el efecto del muestreo de la diversidad del efecto de complementariedad y las interacciones positivas de las especies si el estudio se ha diseñado correctamente.

El problema con los enfoques experimentales ha hecho que algunos investigadores estén a favor de los estudios de observación. Pero también estos han sido criticados porque no tienen un control de las variables correlacionadas con la diversidad y por tanto, no pueden usarse de forma confiable para determinar la importancia de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas (Naeem et al. 1999; Naeem 2000). Sin embargo, se reconoce que los estudios de observación son necesarios para poder identificar los patrones de diversidad que existen en la naturaleza, lo cual es un paso esencial en el diseño de experimentos más representativos de la realidad (Wardle et al. 2000).

Además de los problemas que se presentan con la interpretación de los resultados de los estudios de la relación entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, también se presentan dificultades al aplicar la teoría emergente a los ecosistemas reales. Nosotros sugerimos, en particular, que el contexto y la magnitud de los estudios pueden afectar bastante la forma observada de la relación entre diversidad y funcionamiento, por tanto, no queda claro cómo se pueden extrapolar los resultados de los

experimentos a otras escalas o a otros contextos ambientales diferentes (Fridley 2001).

El concepto de la complementación de los elementos taxonómicos o funcionales de la biodiversidad es el eje de las hipótesis respecto a la relación entre biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas. El grado en el que los elementos de la biodiversidad (como genotipos, especies, sociedades tróficas) son funcionalmente similares, en términos de lo que hacen y dónde o cómo lo hacen, determina la forma de la relación. Si no hay una cantidad significativa de complementación entre los elementos con respecto a una función en particular, entonces la velocidad del proceso asociado disminuirá con la pérdida de cada elemento. A la inversa, si hay mucha superposición entre elementos, entonces la pérdida inicial de biodiversidad tenderá a no afectar la velocidad de los procesos del ecosistema.

Hasta la fecha, la teoría relacionada con la complementación funcional entre los elementos de la biodiversidad se ha centrado en las propiedades ecológicas de los elementos. Sin embargo, es probable que el contexto ecológico del estudio también tenga una influencia importante en la com-

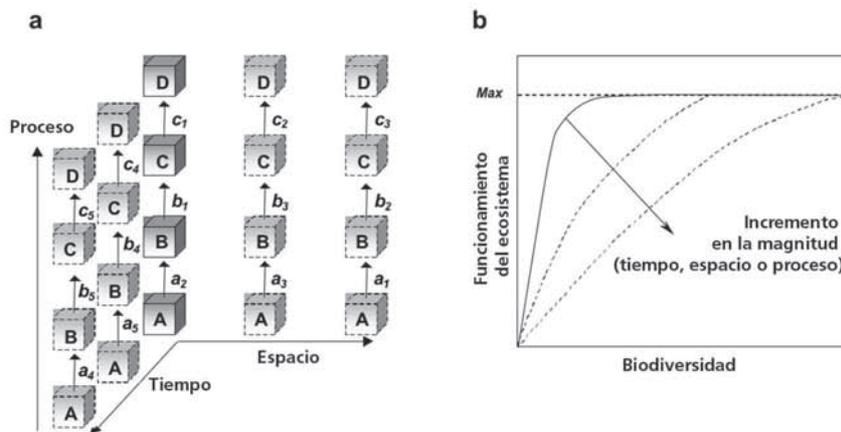


FIGURA 10.1. Influencia de los procesos y la magnitud espacial y temporal en las relaciones entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. (a) Ejemplo hipotético de un proceso en el cual la transición entre estados individuales (cubos con letras mayúsculas) está mediada por la actividad de los elementos de la biodiversidad (letras minúsculas con subíndices). Los aumentos en la magnitud del proceso, del tiempo o del espacio desde las condiciones ecológicas iniciales (representadas por los cubos sólidos, con sombra definida) abarcan más nichos y aumentan la cantidad de elementos de la biodiversidad requeridos para el máximo funcionamiento. (b) Esto cambia la forma en que se relacionan la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema.

plementación funcional. La complementación surge si los elementos usan partes exclusivas del espacio o del tiempo, o si dichos elementos llevan a cabo determinadas funciones de manera exclusiva. En consecuencia, el rango de nichos espacial y temporalmente disponibles, y el alcance del proceso que se está estudiando, determinan en parte el potencial para la complementariedad. Al fijar los límites y el sujeto de estudio, un investigador determina cada uno de estos atributos. A medida que aumenta la escala temporal, espacial y de los procesos, también aumentarán la cantidad de nichos y de elementos necesarios para el máximo funcionamiento. En la Figura 10.1a se ilustra este concepto con un ejemplo hipotético, que representa el papel de los elementos de la biodiversidad (presentados en minúsculas con subíndices) en la transición entre estados (cuadros) dentro de un proceso. Para una posición determinada en el tiempo y en el espacio (es decir, un contexto ecológico específico), la cantidad de elementos de biodiversidad necesarios para desempeñar la función ambiental depende de la extensión del proceso en cuestión. Si la magnitud del proceso de interés es simplemente la transición del estado A al estado B, entonces se necesita sólo un elemento de biodiversidad (como  $a_2$ ). Sin embargo, si estamos interesados en un proceso que involucre una transición del estado A al estado D, entonces se requieren tres elementos para la función completa (como por ejemplo,  $a_2$ ,  $b_1$  y  $c_1$ ). A medida que aumenta la magnitud temporal o espacial de un estudio, aumenta aún más la cantidad de elementos necesarios para el funcionamiento porque es probable que sean diferentes los elementos que son más eficientes en diferentes puntos en el espacio y el tiempo. Por tanto para pasar del estado A al estado B a través del espacio en este ejemplo, implica la actividad de tres elementos de biodiversidad ( $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ ). Para la magnitud total del proceso de A a D, a través de todas las combinaciones temporales y espaciales, se requiere un máximo de 27 elementos para la función completa. Por tanto, aunque la función de saturación sea una relación común entre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema (Schwartz et al. 2000), la diversidad mínima en la que se logra el máximo funcionamiento dependerá, en parte, de la magnitud espacial, temporal y del proceso del estudio (Figura 10.1b).

Claro está que este modelo conceptual es una simplificación extrema, y no sabemos, por ejemplo, cómo los nichos se acumulan a través de las escalas del espacio, el tiempo y los procesos. Es claro que la expresión de los nichos depende hasta cierto punto de interacciones interespecíficas. Sin embargo, hay evidencia de los efectos de la extensión espacial debido a la especialización del nicho a lo largo de gradientes ambientales en el espacio (Tilman et al. 1997; Fridley 2001; Wellnitz y Poff 2001) y de los

efectos de la extensión temporal debido a las diferencias fenológicas entre especies (Hooper 1998). Adicionalmente, la hipótesis de seguridad de la diversidad de las especies (Naeem y Li 1997; Petchey et al. 1999; Yachi y Loreau 1999) sugiere que los nichos en el tiempo y el espacio van a interactuar a medida que se presentan cambios ambientales, aumentando aún más la probabilidad de que exista en el tiempo una función de complementación entre especies. Al discutir la definición del funcionamiento de los ecosistemas, Ghilarov (2000) señala la importancia de la escala de los procesos. Por ejemplo, esperamos ver relaciones muy diferentes entre el funcionamiento de un ecosistema y la biodiversidad si, con la expresión *funcionamiento de los ecosistema*, queremos decir el consumo total de CO<sub>2</sub> por parte de todas las plantas en vez de la producción y el consumo de todos los compuestos usados por todos los organismos. Estos efectos de escala y de contexto dificultan la extrapolación de resultados experimentales a otros puntos en escalas temporales, espaciales o de procesos, y debemos por tanto ser muy cuidadosos al usar resultados experimentales para guiar, por ejemplo, las políticas agrarias (o de conservación) hasta que se entiendan adecuadamente las relaciones de escala.

¿Qué implicaciones tienen estos asuntos en el desarrollo de marcos de trabajo ecológicos para estudiar las relaciones entre el manejo agrícola, la biodiversidad y el control de plagas? Teniendo en cuenta los problemas relacionados con el uso de comunidades irreales en estudios experimentales y los problemas para determinar las causas en los estudios de observación, sugerimos que, en el futuro, la investigación trate de relacionar los efectos que los cambios en la biodiversidad tienen en el control de plagas con los efectos esperados del manejo agrícola de la biodiversidad. En términos ecológicos, esto implica vincular el estudio del acoplamiento al de la función de la biodiversidad. Al asumir este enfoque, estamos negociando los problemas asociados con acoplamientos no naturales de especies y patrones no reales de pérdida de especies. Como consecuencia de la dependencia en la escala y el contexto de las relaciones entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, y en la ausencia de modelos para predecir la acumulación de nichos a lo largo de las escalas, las pruebas experimentales deben también centrarse en el proceso completo del ecosistema de interés y deben realizarse a escalas apropiadas para el manejo agrícola normal. En el caso del control de plagas que ejercen los enemigos naturales, la escala de campo puede ser la apropiada a lo largo de una o de varias estaciones de cultivo.

Es evidente que tanto los efectos de la diversidad como los de la composición de las especies pueden tener una fuerte influencia en diversos proce-

tos de los ecosistemas, y es poco probable que el control de plagas sea una excepción. En nuestra opinión, un camino rentable para la investigación puede ser el de dilucidar las propiedades biológicas de las plagas y sus enemigos naturales que afectan la importancia relativa de la diversidad y la composición como factores determinantes del funcionamiento del control de las plagas. En aquellos casos en los que los efectos de la composición de las especies sean fuertes, es necesario que comprendamos los mecanismos mediante los cuales se pierde la diversidad de las especies, y compararemos las características ecológicas o biológicas que determinan la probabilidad de la pérdida de especies con aquellos que determinan la función. Siguiendo este método evitaremos también el problema de los efectos del muestreo porque estimar la probabilidad de incluir una determinada especie en un acoplamiento es una meta inherente del estudio y no se supone al azar. En las siguientes secciones proponemos un marco de trabajo ecológico para el estudio del manejo de los agroecosistemas y de su impacto en el acoplamiento de la comunidad de artrópodos, y para la diversidad de los enemigos naturales y el funcionamiento del control de plagas. Discutimos luego cómo se pueden vincular éstos para predecir los brotes de plagas, de forma provechosa, en situaciones en las que se intensifique o se extienda la actividad agrícola.

### Manejo de los agroecosistemas y acoplamiento de la comunidad de artrópodos

Diversos estudios reportan una serie de efectos del manejo de los agroecosistemas en la abundancia, la distribución y la diversidad de los artrópodos. Letourneau y Goldstein (2001), por ejemplo (y haciendo énfasis en el control de plagas), compararon los efectos de la producción orgánica con la convencional en relación al daño por plagas y a la estructura de la comunidad de los artrópodos en cultivos de tomate, y encontraron que mientras que la abundancia de herbívoros no presentó diferencias entre los dos sistemas de producción (es decir, los problemas ocasionados por las plagas no fueron mayores cuando se restringió el uso de plaguicidas), las fincas orgánicas tenían una mayor riqueza de especies de todos los grupos funcionales de artrópodos y una mayor abundancia de enemigos naturales que las convencionales. Estas diferencias se asociaron con prácticas específicas en las fincas y con las características del paisaje, en especial el manejo del barbecho, el hábitat circundante y la fecha de trasplante del cultivo. En otro sistema, en los Estados Unidos, Menalled et al. (1999)

investigaron si la estructura del paisaje agrícola afectaba el parasitismo y la diversidad de los parasitoides, y encontraron que en algunos sitios, los paisajes complejos que incluían cultivos entremezclados con hábitats de vegetación (diferente a los cultivos) sucesional intermedia y tardía tenían tasas más altas de parasitismo y de diversidad de parasitoides que los paisajes simples (principalmente con cultivos) (ver el Capítulo 11). Sin embargo, este patrón no fue consistente en todos los sitios y por tanto no se puede determinar si la complejidad del paisaje tuvo un efecto evidente en el parasitismo. Este resultado ambiguo contrasta con el estudio realizado por Thies y Tscharrntke (1999), quienes encontraron que los paisajes complejos sí promueven el parasitismo y el control del escarabajo de la colza. Sin embargo, otros estudios, como el de Weibull et al. (2003), indican que aunque la riqueza de las especies generalmente aumenta con la heterogeneidad del paisaje en la escala de la finca, no es evidente que los cambios en la diversidad conduzcan al control natural de plagas.

Los estudios antes mencionados indican que si hemos de entender mejor el efecto del manejo agrícola en la diversidad de los artrópodos (y por ende los efectos de cualquier cambio en la diversidad para el control de plagas), necesitamos un marco de trabajo que describa los mecanismos ecológicos mediante los cuales las especies habitan determinadas áreas (Wilby y Thomas 2002a). Las reglas del acoplamiento tienen una larga historia en la ecología de las comunidades, en cuyo caso el objetivo ha sido predecir qué especie ocurrirá en determinado hábitat (Keddy 1992; Kelt et al. 1995; Belyea y Lancaster 1999).

Para que una especie esté presente en determinado sitio, debe primero ser capaz de llegar a él. Las limitaciones en la dispersión determinan qué especies del acervo regional de especies estarán incluidas en el acervo local de especies, es decir, cuáles podrán dispersarse hasta llegar al sitio en cuestión (Figura 10.2). Entre las especies del acervo local, sólo las capaces de superar las limitaciones ambientales del sitio ocupan el acervo ecológico de especies. Finalmente, la dinámica interna de la comunidad, incluyendo los procesos dentro de la especie y aquellos entre especies, determina la composición del acervo real de especies. Estos procesos, además de determinar la presencia de las especies en las comunidades, también afectan la abundancia de la especie. Esto permite usar el marco de trabajo para describir los procesos importantes que determinan la distribución de la abundancia de las especies, además de la riqueza de especies.

Aunque este marco de trabajo en cuanto al acoplamiento se puede aplicar a cualquier comunidad, ciertas características de los agroecosistemas pueden cambiar la importancia relativa de los filtros que determinan

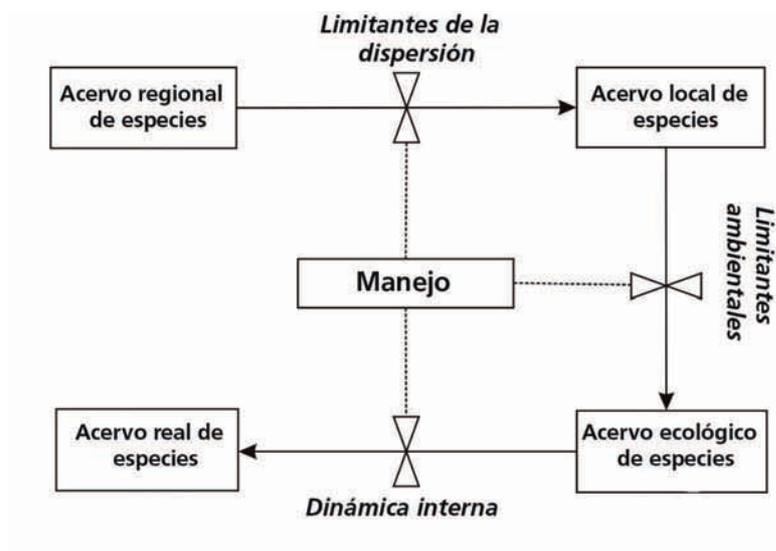


FIGURA 10.2. Procesos de acoplamiento de las comunidades que resaltan los filtros secuenciales de dispersión, ambiente y dinámica interna de la comunidad en la transición del acervo regional de especies al acervo real de especies. El manejo del agroecosistema puede modificar cada uno de estos procesos.

la diversidad de especies en comparación con otros ecosistemas. La perturbación, por ejemplo, tiende a aumentar la importancia de los procesos de desequilibrio, como la dispersión y la colonización, en relación con los procesos de equilibrio, como las interacciones entre las especies (Chapin et al. 1997). Puesto que actividades como la cosecha, el cultivo o la aplicación de plaguicidas perturban regularmente los agroecosistemas, se puede sobreestimar la importancia de las limitantes en la dispersión porque muchas especies se ven forzadas a volver a colonizar después de estas perturbaciones. El valor de usar este marco de trabajo para describir el proceso de acoplamiento de una comunidad es poder entender que el impacto en la diversidad de las prácticas de manejo agrícola se puede ver en términos de la manera en que el manejo modifica uno o varios filtros que conforman el proceso de acoplamiento.

Por ejemplo, los cambios estructurales en el paisaje, resultantes de los cambios en el uso de la tierra, afectan bastante las limitantes de la dispersión. Ciertamente estos efectos son cualitativos (es decir, son cambios en la abundancia relativa de diferentes especies) y potencialmente también son cuantitativos (es decir, son cambios en la diversidad o la abundancia total).

Normalmente, un proceso de desarrollo agrícola conduce a un aumento del área cultivada en relación con el área no cultivada. En consecuencia, una región tendrá un área mayor como fuente para los insectos asociados a los cultivos, de manera que es más probable que los artrópodos especializados colonicen un determinado sitio agrícola. Sin embargo, el efecto opuesto puede ser válido para los artrópodos menos especializados si requieren recursos que no están disponibles en el área cultivada. El desarrollo agrícola también tiende a aumentar el tamaño promedio de los lotes, de manera que el centro del lote queda distante de las fuentes de colonización. La influencia de la vegetación circundante en el tipo y en la cantidad de enemigos naturales que ocupan un sitio ha sido afirmada en muchas ocasiones (Wainhouse y Coaker 1981; Altieri y Schmidt 1986a, 1986b; Thomas et al. 1991, 1992; Landis et al. 2000; Gurr et al. 2003), y existe evidencia que muestra que la abundancia y la riqueza de especies de los insectos generalistas son mayores en los paisajes diversos (Carmona y Landis 1999). Por tanto, los cambios en el uso de la tierra alteran la diversidad y la composición de las especies, a través de cambios en la cantidad de fuentes de colonización y su aislamiento. Lo importante es que nosotros ya conocemos las características biológicas de los artrópodos, como la amplitud de su dieta o el tamaño corporal, que van a determinar la respuesta de determinadas especies a los cambios en el uso de la tierra. Si podemos también comprender la importancia funcional de estas características para el control de plagas, estaremos en el camino indicado para predecir la respuesta del control de plagas a los cambios en el uso de la tierra.

El manejo agrícola también tiene mucho impacto en las condiciones ambientales de una localidad, lo cual lo convierte en el segundo filtro de nuestro esquema. Por ejemplo, la intensificación de los sistemas de producción de arroz generalmente aumenta la cantidad de ciclos de cultivo por año (en adelante trataremos de usar ejemplos de la producción de arroz porque es uno de los principales sistemas que hemos estudiado. Sin embargo, las implicaciones de nuestros conceptos e interpretaciones evidentemente aplican a otros sistemas). Este cambio hacia varios ciclos al año les permite a los insectos especializados en el ecosistema de arroz persistir en un mismo sitio entre cultivos (Loevinsohn 1994). Por el contrario, las prácticas agrícolas más tradicionales, que incluyen períodos largos de barbecho, obligan a la comunidad de artrópodos a volver a colonizar un sitio después del período de barbecho. El efecto significativo del período de barbecho se puede apreciar en las comunidades de insectos asociados al cultivo de arroz en Indonesia, en donde la dinámica de la comunidad de insectos varía considerablemente entre el primer y el segundo cultivo (Settle

et al. 1996), porque el primer cultivo se siembra después de un período de barbecho prolongado, mientras que el segundo viene casi inmediatamente después del primero.

Al igual que los períodos de barbecho, los insecticidas también alteran las limitantes ambientales que obligan a una gran proporción de la comunidad de insectos a volver a colonizar, aunque a una escala de tiempo menor. Las tasas diferenciales de recolonización de los depredadores generalistas y de las especies plaga después de la aplicación de insecticidas son las principales causas del problema con el saltamontes marrón de las plantas (*Nilaparvata lugens*) en áreas extensas del Sureste de Asia (Heong 1991; Cohen et al. 1994; Settle et al. 1996).

El manejo agrícola también afecta la dinámica interna de la comunidad, constituyéndose entonces en el tercer filtro de nuestro marco de trabajo. Se ha demostrado que los cambios en la calidad de los alimentos, causados por la fertilización, por ejemplo, aumentan la abundancia y el daño hecho por diversos grupos de plagas, y se le han atribuido estos efectos a las tasas de supervivencia más altas, al crecimiento más rápido y a la mayor fecundidad de las especies plaga (Ooi y Shepard 1994). La evidencia sugiere que estos factores tienen un efecto de cascada en la cadena trófica; de Kraker et al. (2000) mostraron que la abundancia de los herbívoros y los enemigos naturales abundaba con la aplicación de nitrógeno a los campos de arroz.

Además de la variabilidad en la vegetación a través del tiempo, asociada con el ciclo de cultivo, la diversidad de la vegetación dentro del cultivo afecta la diversidad de los artrópodos dentro de él. Generalmente, el cambio de una vegetación diversa a un monocultivo virtual, que sucede con el aumento en el manejo de malezas, está asociado con una disminución de la diversidad pero no necesariamente con una disminución de la abundancia de las especies de artrópodos (Andow 1991; Tonhasca y Byrne 1994). Cualitativamente, la presencia de malezas en un cultivo de arroz aumenta la abundancia de los herbívoros generalistas en comparación con los especialistas. Afun et al. (1999) mostraron que en cultivos de arroz de África Occidental la abundancia de herbívoros y depredadores generalistas está positivamente correlacionada con la biomasa de las malezas, mientras que la abundancia de los herbívoros especialistas está positivamente correlacionada con la biomasa del arroz.

Este breve análisis del acoplamiento de la comunidad con respecto a los agroecosistemas muestra cómo el manejo agrícola puede influenciar cada filtro del acoplamiento que determina la diversidad de las especies de artrópodos. El reto que enfrentamos, si hemos de predecir los impactos del manejo en el control de las plagas, es dilucidar aún más las características

de los rasgos generales que explican la respuesta a las prácticas de manejo, e investigar la importancia funcional de estos rasgos o de rasgos vinculados en el funcionamiento del control de plagas.

### Diversidad de los enemigos naturales y función del control de plagas

Habiendo discutido un marco de trabajo ecológico para el estudio del acoplamiento de la comunidad de los artrópodos en los agroecosistemas y habiendo mostrado como ciertos rasgos pueden ser decisivos en la determinación de la respuesta al manejo agrícola, dirijamos la atención a la segunda pregunta abordada en este capítulo: cómo la diversidad y la composición de las especies afectan el funcionamiento del control natural de plagas.

Algunos estudios han identificado patrones amplios que predicen las respuestas de los enemigos naturales a los herbívoros presentes en los sistemas naturales o manejados. Por ejemplo, Dyer and Gentry (1999) aportaron evidencia de que se pueden controlar mejor con parasitoides las larvas de lepidópteros y especializados gregarios, mientras que las larvas lisas y crípticas se podrían controlar mejor con depredadores. De la misma manera, Hawkins et al. (1997) presentaron información que sugería que los depredadores y los patógenos pueden causar mayor mortalidad de herbívoros que se alimentan externamente, mientras que ciertos herbívoros endofíticos sufren una mayor mortalidad inducida por parasitoides. Sin embargo, como nuestra comprensión de la relación entre biodiversidad y el funcionamiento del control de plagas sigue siendo poca, siguen siendo oscuros los mecanismos a través de los cuales los enemigos naturales interactúan para determinar el alcance y la estabilidad del control de plagas. Por ejemplo, en un estudio reciente de los efectos del paisaje, de la diversidad del hábitat y del manejo en la diversidad de especies en sistemas de cultivo de cereales, Weibull et al. (2003) revelaron que no había una relación directa entre la riqueza de las especies de carábidos, aleócaros y arañas, a nivel de finca o a nivel de los campos individuales de cereales, y el control biológico. Estos autores concluyeron que para la eficiencia general del control biológico, la riqueza de las especies en sí misma no es tan importante como la gran diversidad de diferentes asociaciones de depredadores, como los depredadores del suelo y los del follaje, los depredadores de primavera y los de verano, y las especies activas durante el día y durante la noche. En otras palabras, la clave para un control natural efectivo es maximizar la complementación funcional entre los enemigos naturales de las especies

plaga. Desafortunadamente, nuestra comprensión de la complementación y de los factores que determinan las propiedades emergentes de acoplamiento de depredadores de múltiples especies es limitada (Schmidt et al. 2003). Aunque existe evidencia de que hay, por ejemplo, una fragmentación significativa de nichos a través de microhábitats y que hay complementación funcional también significativa entre las especies de arañas (Sunderland 1999), muy pocos estudios han mostrado complementación significativa entre los enemigos naturales (Snyder y Wise 1999). Igualmente, aunque existen ejemplos de interacciones sinérgicas entre depredadores (como los depredadores foliares que provocan una disminución en la respuesta de los áfidos presa, lo cual aumenta la vulnerabilidad de éstos a los depredadores del suelo que consumen el forraje; Losey y Denno 1998), los procesos como la depredación entre la misma sociedad pueden perturbar severamente el control biológico (Rosenheim et al. 1995; Snyder y Ives 2001; Finke y Denno 2004).

Teniendo en cuenta los tipos de complejidad que hemos discutido, pensamos que vale la pena explorar en más detalle los factores ecológicos que determinan el alcance de la complementación entre los enemigos naturales y la naturaleza de la relación entre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. Consideremos una relación hipotética, positiva y saturada, entre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema, similar a la relación que se encuentra comúnmente en los estudios empíricos, en los cuales la pendiente de la relación depende de la cantidad de complementación entre especies (Figura 10.3). Si todas las especies tienen un efecto igual, que no se superponga, en un proceso en particular (la complementación perfecta), entonces se presentaría una reducción lineal de la tasa del proceso a medida que disminuyera la riqueza de las especies. En el otro extremo, si no hay complementación (las especies son redundantes en relación a la función en cuestión [Walker 1992; Lawton y Brown 1993]), entonces las especies restantes podrían compensar la especie perdida, y se presentaría una pérdida súbita y completa de la función a medida que se perdiera la última especie funcional. Además de la forma de la relación entre la tasa media de la función y la diversidad, se mostró anteriormente que la composición de las especies frecuentemente tiene un papel importante en la determinación de la regulación de la función. Los efectos de la composición de las especies aumentan la varianza de la relación entre la riqueza de las especies y la proporción del proceso. En el caso extremo en que una sola especie tenga un impacto mucho mayor en la proporción del proceso que las otras (como una especie clave), la relación observada tomaría cualquier trayectoria dentro del amplio marco de la respuesta, dependiendo de la

magnitud de la pérdida de dicha especie (Sala et al. 1996). En el caso de interacciones negativas significativas entre especies, como la depredación dentro de la misma sociedad, el funcionamiento puede incluso aumentar a medida que disminuye la riqueza de las especies. En estos casos en los que se presentan efectos de composición fuertes, la riqueza de las especies sería un mal indicador para predecir el ajuste de los procesos, y se necesitaría mayor exploración de las diferencias de los rasgos entre especies. En relación al funcionamiento del control de plagas, la evidencia reciente sugiere que las características de la historia de vida de la especie en cuestión se pueden usar algunas veces para predecir la forma de la relación entre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema y para predecir si es probable que se presenten efectos fuertes en la composición de las especies (alta varianza en la respuesta) (Wilby y Thomas 2002b).

Las grandes diferencias en la historia de vida de la plaga, como si se trata de insectos endopterigotos o exopterigotos, por ejemplo, puede tener una

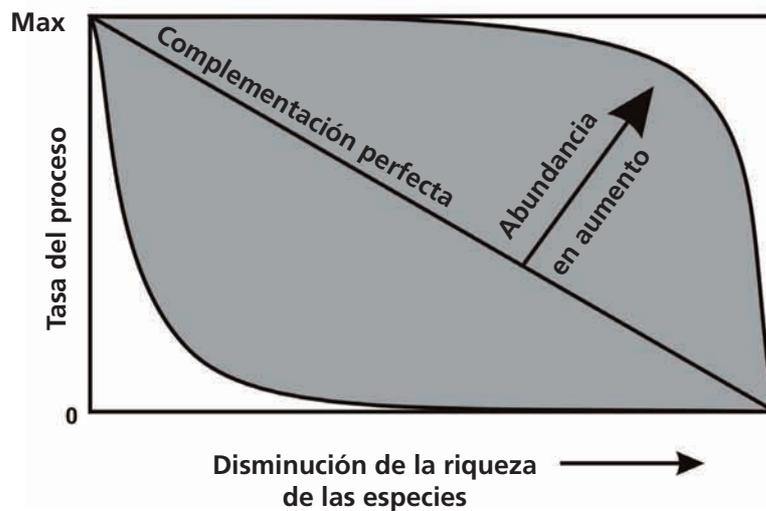


FIGURA 10.3. Respuesta hipotética de la función del ecosistema a una disminución de la riqueza de especies (diversidad). Si las especies se comportan de manera superpuesta, entonces la respuesta tiende a un comportamiento del umbral en el cual existen disminuciones significativas en la función sólo cuando se alcanza el umbral. Si las especies se comportan de manera complementaria, cada una desempeñando papeles que no se solapan, entonces la respuesta tiende a ser lineal, con una disminución del incremento de la función para cada especie que se pierde. Si la identidad de la especie es importante, entonces la respuesta puede seguir un amplio rango de trayectorias (representadas por el área sombreada) dependiendo de la magnitud de la pérdida de la especie.

gran influencia en la cantidad y la diversidad de los enemigos naturales que los atacan (Wilby y Thomas 2002b). Los insectos endopterigotos sufren cambios morfológicos y de comportamiento dramáticos entre los estadios de huevo, larva, pupa y adulto, y estos estadios frecuentemente desempeñan papeles ecológicos muy diferentes, utilizando diferentes alimentos y ocupando diferentes sitios. Por el contrario, los insectos exopterigotos sufren cambios graduales entre sus estadios de vida, los cuales frecuentemente ocupan los mismos sitios y usan alimentos similares. Como consecuencia de estas diferencias, nosotros esperamos que haya diferencias en la estructura de los vínculos entre este tipo de insectos y sus enemigos naturales. La compleja interacción de los enemigos naturales con los insectos endopterigotos se debe clasificar en los grupos que atacan un determinado estadio de vida del herbívoro; no se esperaría que la mayoría de los enemigos que se alimentan de adultos se alimentaran también de larvas o pupas. Se tiene evidencia de que este puede ser el caso de determinados insectos endopterigotos (consultar por ejemplo a Barrion et al. 1991; Mills 1994; Luna y Sánchez 1999). Sin embargo, debido a la similitud en el sitio que ocupan y en el comportamiento, se espera que los enemigos naturales que se alimentan de insectos exopterigotos también se alimenten de las ninfas y los adultos. Debido a la estructura del ciclo de vida, el complejo de enemigos naturales que se alimentan de los insectos endopterigotos, debe exhibir más complementación entre especies que la del complejo que se alimenta de insectos exopterigotos. Los estudios de simulación han mostrado que una mayor complementación entre los enemigos naturales de los insectos endopterigotos puede resultar en una pérdida gradual de la función del control de plagas a medida que disminuye la diversidad de especies de los enemigos naturales, mientras que el control de los exopterigotos debía ser más resistente, con pérdida súbita de la función del control de plagas después de una pérdida extrema en la diversidad de los enemigos naturales. Estas predicciones parecen ser consistentes con los patrones de emergencia durante la intensificación de los sistemas de producción de arroz en Asia (Wilby y Thomas 2002b).

Otros aspectos de la historia de la vida de los herbívoros es probable que ejerzan influencia en la riqueza o las características del complejo de los enemigos naturales, con implicaciones para la función del control de plagas. Por ejemplo, ocultar rasgos morfológicos o de comportamiento tiende a promover un vínculo estrecho de la dinámica poblacional entre los herbívoros y los enemigos naturales. Por tanto, los parasitoides especializados son más importantes que los depredadores generalistas en el control de los herbívoros ocultos (Memmott et al. 2000), aunque pueden

ser atacados por más especies de parasitoides generalistas que de parasitoides especializados (Hawkins 1990; Hawkins y Gross 1992). En esencia, los vínculos estrechos entre los enemigos naturales más especializados y las plagas elevan la importancia de los efectos de la composición de las especies y aumentan la incertidumbre respecto a la respuesta de la pérdida de especies al azar.

También es probable que el lapso de vida de los insectos herbívoros tenga consecuencias importantes en la riqueza y las características del complejo de los enemigos naturales. Mientras es más corto el lapso de vida de una especie herbívora, menor será la cantidad de especies de enemigos naturales que se superpongan fenológicamente con el herbívoro. Se ha demostrado que este efecto afecta la riqueza de las especies parasitoides que atacan a los herbívoros (Cornell y Hawkins 1993). En consecuencia, el control de una plaga con un ciclo de vida más corto debe depender de un grupo de enemigos naturales con menor abundancia, bien sea a lo largo del ciclo de vida en el caso de los insectos exopterigotos o dentro de los estadios del ciclo de vida en el caso de los insectos endopterigotos. En cualquier caso, el control de los insectos de vida corta debe disminuir más rápido, en promedio, en respuesta a la pérdida de las especies de enemigos naturales.

Lo que estos ejemplos muestran es que las características básicas de la historia de vida de los organismos involucrados pueden conducir a diferentes predicciones sobre la importancia relativa de la diversidad y de la composición de las especies en la determinación del funcionamiento del control de plagas. Esto nos permite ir más allá de los argumentos sobre si la composición o la diversidad de las especies es el atributo más importante de la comunidad de enemigos naturales, a una posición en la que podamos predecir qué tipos de plagas tienen la probabilidad de garantizar determinadas especies de enemigos naturales de control y cuáles serían mejor controlar probablemente a través de un acoplamiento diverso de enemigos naturales. Para comprender cómo el manejo agrícola afecta la incidencia de plagas, esta información debe estar ligada a nuestras discusiones previas sobre el acoplamiento de la comunidad de artrópodos en los agroecosistemas.

## Incidencia de plagas y manejo de los agroecosistemas

¿Cómo podría ayudarnos la vinculación de los dos marcos de trabajo ecológicos a predecir el funcionamiento del control natural de plagas en

respuesta a los diferentes tipos de manejo del agroecosistema? Para las plagas exopterigotas no ocultas, como los saltamontes (Delphacidae) y los salta hojas (Cicadellidae), podríamos predecir que el control ejercido por sus enemigos naturales sería resistente a la pérdida de especies de los enemigos naturales. Sin embargo, ciertas técnicas de manejo como el uso de insecticidas tienen un impacto grande en la diversidad de los enemigos naturales y podría resultar en un acoplamiento no funcional de los enemigos naturales. Este efecto se puede ejemplificar con el caso bien estudiado del saltamontes marrón (*Nilaparvata lugens*) en los ecosistemas de arroz inundado de Asia. Los enemigos naturales por lo general mantienen controlado a *N. lugens* pero con frecuencia resurge después de la aplicación de insecticidas y se convierte en plaga (Kenmore et al. 1984; Heong 1991). El mecanismo de este fenómeno se ha dilucidado claramente, y parece que la destrucción casi total de una sociedad de depredadores generalistas, que mantienen los insectos detritívoros cuando hay escasez de *N. lugens*, es la causa de la emergencia de *N. lugens* como plaga (Settle et al. 1996). *N. lugens* es capaz de escapar del control, en parte porque sobrevive hasta cierto punto, del tratamiento con insecticidas, porque se dispersa fácilmente y puede volver a colonizar rápidamente los campos de arroz, y porque tiene una tasa alta de crecimiento poblacional (Heinrichs y Mochida 1984). *N. lugens* enfrenta con mayor éxito las limitaciones ambientales, biológicas y las que afectan la dispersión de sus enemigos naturales; esa combinación de aptitudes le permite escapar del control. Por tanto, se puede lograr un control efectivo principalmente limitando el uso de insecticidas y asegurándose de que los depredadores tengan fuentes alternativas de alimentos en las épocas en que las especies plaga sean escasas.

Se predice que el control de los herbívoros Endoptera sea sensible a la pérdida de la diversidad de especies de enemigos naturales. La emergencia de plagas Endoptera se puede evitar en las etapas iniciales de la intensificación del cultivo de arroz, si se asegura el manejo para mantener la diversidad de los enemigos naturales. Tal como se indicó anteriormente, hay mucha literatura sobre los efectos de las tierras no cultivadas en la abundancia y la diversidad de los enemigos naturales. En los términos de nuestro marco de trabajo, las áreas sin cultivar que se encuentran cerca de los cultivos reducen las limitantes de la dispersión en las especies de enemigos naturales que pasan parte de su ciclo de vida por fuera del hábitat del cultivo. Al mismo tiempo, la proximidad del hábitat del cultivo aumenta las probabilidades de colonización de insectos más especializados. Por supuesto, esto también incluye a las especies herbívoras, pero trabajamos con el supuesto de que normalmente la emergencia de las plagas implica

una perturbación del control por parte de los enemigos naturales, y que por ende es improbable que la colonización de especies de plagas potenciales se convierta en un problema, a no ser que se impida la colonización por parte de los enemigos naturales de estas últimas.

Se requiere un uso más detallado de nuestro marco de trabajo de los acoplamientos para predecir el impacto de las prácticas de manejo en determinadas especies de herbívoros ocultos o en las sociedades de sus enemigos naturales. Los herbívoros ocultos tienden a ser atacados por parasitoides más que por depredadores, y esto tiene una serie de implicaciones para la persistencia de un acoplamiento funcional de enemigos naturales. Los parasitoides tienden a ser más especializados que los depredadores y es por tanto más probable que dependan de una cantidad menor de especies hospederas. Inevitablemente, con los especializados hay un retraso entre el aumento en la abundancia de hospederos, como ocurriría durante la emergencia de una plaga y la respuesta de los enemigos naturales. Esto aumenta la probabilidad de que las plagas alcancen densidades perjudiciales antes de que los enemigos naturales limiten la abundancia de la plaga. Por tanto, una meta importante del manejo es mantener estable la dinámica entre parasitoides y hospederos. Esto puede requerir el suministro de alimentos suplementarios para los parasitoides, como las fuentes de néctar proporcionadas por las malezas dentro o cerca del cultivo (relajación de las limitantes biológicas), cambios en el manejo del barbecho para facilitar la supervivencia de los parasitoides después de los períodos de barbecho (relajación de las limitantes ambientales) y manejo del paisaje (parcelas pequeñas, asincronismo en los ciclos de cultivo y uso de plaguicidas) para garantizar las fuentes de colonización local (relajación de las limitantes de la dispersión). Esta última práctica es probablemente de mucha importancia para los insectos especializados, los cuales son más sensibles a la fragmentación del hábitat debido a su posición trófica y al tamaño de su cuerpo (Tscharntke y Brandl 2004).

Una práctica alternativa o complementaria podría ser la de asegurar la presencia de un complejo efectivo de enemigos naturales generalistas o usar variedades de plantas que le confieran alguna resistencia a las plagas objeto (Thomas 1999), lo cual también puede desacelerar o demorar la acumulación de la población (básicamente, al proveer una mortalidad adicional independiente de la densidad), permitiendo que se establezcan las especies parasitoides clave en una etapa más temprana en el ciclo de la población plaga. Este enfoque se ha discutido en relación al control de la mosquita Africana de las agallas del arroz (*Orseolia oryzivora*). Aunque se sabe que hay dos especies de parasitoides clave que ocasionan una dis-

minución sustancial en la cantidad de mosquitos de las agallas, su efecto regulador frecuentemente se presenta demasiado tarde en el ciclo de cultivo para prevenir el daño económico (F. Nwilene, comunicación personal, 2002). Lo interesante es que este papel suplementario de los enemigos naturales generalistas aumenta la importancia de la diversidad de los enemigos naturales en el sistema en general, a pesar de que la regulación de la población plaga podría depender únicamente de unos pocos especializados. Esto confirma la importancia de enmarcar los conocimientos ecológicos en un contexto apropiado para el sistema al cual se le aplican estos conocimientos (en este caso un contexto económico de control de plagas y no necesariamente un contexto de dinámica poblacional).

## Conclusiones

Esta aplicación de las teorías ecológicas del acoplamiento y la función de las interacciones entre la biodiversidad de las plagas y la de los enemigos naturales ha conducido a una serie de hipótesis sobre la respuesta del control de plagas al manejo de los agroecosistemas. Un examen de las cadenas tróficas simplificadas lleva a predicciones acerca de la manera en que las plagas con ciertos rasgos responderán a la pérdida de la diversidad de los enemigos naturales. Nuestro análisis sugiere que se esperaría que las plagas que son controladas principalmente por generalistas presenten su umbral de pérdida o una disminución gradual a medida que disminuye la diversidad de los enemigos naturales. Para estas especies, las técnicas de manejo diseñadas para mantener la diversidad de los enemigos naturales mediante la modificación de los limitantes biológicos, ambientales y a la dispersión pueden ser generalmente adecuadas para prevenir la aparición de plagas. Por el contrario, los herbívoros controlados por enemigos naturales especializados pueden exhibir respuestas impredecibles a las disminuciones en la diversidad de los enemigos naturales. En estos casos, es necesario comprender los procesos de dispersión y de colonización de las plagas y sus enemigos naturales para predecir la respuesta del control de plagas a la pérdida de la diversidad de los enemigos naturales. Las generalizaciones biológicas acerca de los enemigos naturales especialistas ya nos permiten predecir el efecto del manejo agrícola en las limitantes ambientales, bióticas y las que afectan la dispersión que determinan la abundancia de estos especialistas.

En nuestra opinión, solamente si vinculamos los procesos ecológicos del acoplamiento y la función de la biodiversidad, podremos responder

efectivamente a las preguntas acerca del posible impacto de la actividad humana en el funcionamiento del ecosistema a través los efectos en la biodiversidad. Hemos mostrado cómo ciertos rasgos de las especies pueden estar vinculados en su respuesta a los cambios en los ecosistemas inducidos por la actividad humana y sus características funcionales. Aunque hemos limitado nuestra discusión al control de plagas, pensamos que enfoques similares permitirían predicciones más acertadas del impacto del manejo en otros procesos del ecosistema. El examen de las características biológicas y el detalle de los procesos de un ecosistema y de los organismos involucrados nos permitirían alejarnos de los argumentos respecto a si predominan los efectos de la diversidad o los efectos de la composición, para acercarnos a una predicción de qué circunstancias conducen al predominio de los efectos de la composición o de la diversidad.

### Agradecimientos

Este capítulo es un logro del proyecto de investigación financiado por el Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID, de su nombre en inglés) en beneficio de los países en desarrollo (R7570 Programa de Investigación para la Protección de los Cultivos). Los puntos de vista expresados aquí no necesariamente son los puntos de vista del DFID.

### Referencias

- Afun, J. V. K., D. E. Johnson y A. Russell-Smith. 1999. Weeds and natural enemy regulation of insect pests in upland rice: A case study from West Africa. *Bulletin of Entomological Research* 89:391-402.
- Altieri, M. A. 1991. Increasing biodiversity to improve insect pest management in agroecosystems. En D. Hawksworth, ed., *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Altieri, M. A. y L. L. Schmidt. 1986a. Cover crops affect insect and spider populations in apple orchards. *California Agriculture* 40:15-17.
- Altieri, M. A. y L. L. Schmidt. 1986b. The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned, organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 16:29-43.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36:561-586.

- Barrion, A. T., J. A. Litsinger, E. B. Medina, R. M. Aguda, J. P. Bandong, P. C. Pantua Jr., V. D. Viajante, C. G. de la Cruz, C. R. Vega, J. S. Soriano Jr., E. E. Camañg, R. C. Saxena, E. H. Tyron y B. M. Shepard. 1991. The rice *Cnaphalocricis and Marasmia* (Lepidoptera: Pyralidae) leaffolder complexes in the Philippines: Taxonomy, bionomics and control. *Philippines Entomologist* 8:987-1074.
- Belyea, L. R. y J. Lancaster. 1999. Assembly rules within a contingent ecology. *Oikos* 86:402-416.
- Carmona, D. M. y D. A. Landis. 1999. Influence of refuge habitats and cover crops on seasonal activity-density of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in field crops. *Environmental Entomology* 28:1145-1153.
- Chapin, F. S., B. H. Walker, R. J. Hobbs, D. U. Hooper, J. H. Lawton, O. E. Sala y D. Tilman. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* 277:500-504.
- Cohen, J. E., K. Schoenly, K. L. Heong, H. Justo, G. Arida, A. T. Barrion y J. A. Litsinger. 1994. A food-web approach to evaluating the effect of insecticide spraying on insect pest population-dynamics in a Philippine irrigated rice ecosystem. *Journal of Applied Ecology* 31:747-763.
- Cornell, H. V. y B. A. Hawkins. 1993. Accumulation of native parasitoid species on introduced herbivores: A comparison of hosts as natives and hosts as invaders. *American Naturalist* 141:847-865.
- de Kraker, J., R. Rabbinge, A. van Huis, J. C. van Lenteren y K. L. Heong. 2000. Impact of nitrogenous-fertilization on the population dynamics and natural control of rice leaffolders (Lep.: Pyralidae). *International Journal of Pest Management* 46:219-224.
- Dyer, L. A. y G. Gentry. 1999. Predicting natural-enemy responses to herbivores in natural and managed systems. *Ecological Applications* 9:402-408.
- Finke, D. L. y R. F. Denno. 2004. Predator diversity dampens trophic cascades. *Nature* 429:407-410.
- Fridley, J. D. 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: How, where, and why? *Oikos* 93:514-526.
- Ghilarov, A. M. 2000. Ecosystem functioning and intrinsic value of biodiversity. *Oikos* 90:408-412.
- Gurr, G. M., S. D. Wratten y J. M. Luna. 2003. Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology* 4:107-116.
- Hawkins, B. A. 1990. Global patterns of parasitoid assemblage size. *Journal of Animal Ecology* 59:57-72.
- Hawkins, B. A., H. V. Cornell y M. E. Hochberg. 1997. Predators, parasitoids, and pathogens as mortality agents in phytophagous insect populations. *Ecology* 78:2145-2152.

- Hawkins, B. A. y P. Gross. 1992. Species richness and population limitation in insect parasitoid–host systems. *American Naturalist* 139:417–423.
- Heinrichs, E. A. y O. Mochida. 1984. From secondary to major pest status: The case of insecticide-induced rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resurgence. *Protection Ecology* 1:201–218.
- Heong, K. L. 1991. Management of the brown planthopper in the Tropics. En *Migration and Dispersal of Agricultural Insects*, 269–279, Tsukuba, Japón, Septiembre 25–28, 1991.
- Hooper, D. U. 1998. The role of complementarity and competition in ecosystem responses to variation in plant density. *Ecology* 79:704–719.
- Horn, D. J. 1988. *Ecological Approach to Pest Management*. Nueva York: Guilford.
- Huston, M. A. 1997. Hidden treatments in ecological experiments: Re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449–460.
- Keddy, P. A. 1992. Assembly and response rules: Two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3:157–164.
- Kelt, D. A., M. L. Taper y P. L. Meserve. 1995. Assessing the impact of competition on community assembly: A case-study using small mammals. *Ecology* 76: 1283–1296.
- Kenmore, P. E., F. O. Cariño, C. A. Pérez, V. A. Dyck y A. P. Gutiérrez. 1984. Population regulation of the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) within rice fields in the Philippines. *Journal of Plant Protection in the Tropics* 1:19–37.
- Knops, J. M. H., D. Tilman, N. M. Haddad, S. Naem, C. E. Mitchell, J. Haarstad, M. E. Ritchie, K. M. Howe, P. B. Reich, E. Siemann y J. Groth. 1999. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecology Letters* 2:286–293.
- Kruess, A. y T. Tschardtke. 1994. Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Science* 264:1581–1584.
- Landis, D. A., S. D. Wratten y G. M. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45:175–201.
- Lawton, J. H. y V. K. Brown. 1993. Redundancy in ecosystems. En E.D. Schulze y H. A. Mooney, eds., *Biodiversity and Ecosystem Function*, 255–270. Berlin: Springer-Verlag.
- Letourneau, D. K. y B. Goldstein. 2001. Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of Applied Ecology* 38:557–570.
- Loevinsohn, M. E. 1994. Rice pests and agricultural environments. En E. A. Heinrichs, ed., *Biology and Management of Rice Insects*, 487–513. Nueva Delhi: Wiley Eastern.
- Loreau, M. y A. Hector. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412:72–76.

- Losey, J. E. y R. F. Denno. 1998. Positive predator–predator interactions: Enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology* 79:2143–2152.
- Luna, M. y N. Sánchez. 1999. Parasitoid assemblages of soybean defoliator Lepidoptera in North-Western Buenos Aires province, Argentina. *Agricultural and Forest Entomology* 1:255–260.
- Memmott, J., N. D. Martínez y J. E. Cohen. 2000. Predators, parasites and pathogens: Species richness, trophic generality and body sizes in a natural food web. *Journal of Applied Ecology* 69:1–15.
- Menalled, F. D., P. C. Marino, S. H. Gage y D. A. Landis. 1999. Does agricultural landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity? *Ecological Applications* 9:634–641.
- Mills, N. J. 1994. Parasitoid guilds: Defining the structure of the parasitoid communities of endopterygote insect hosts. *Environmental Entomology* 23:1066–1083.
- Mooney, H., J. Lubchenco, R. Dirzo y O. Sala. 1995a. Biodiversity and ecosystem functioning: Basic principles. En V. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 279–323. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Mooney, H., J. Lubchenco, R. Dirzo y O. Sala. 1995b. Biodiversity and ecosystem functioning: Ecosystem analyses. En V. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 347–452. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Naeem, S. 2000. Reply to Wardle et al. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81:241–246.
- Naeem, S., F. S. Chapin III, R. Costanza, P. R. Ehrlich, F. B. Golley, D. U. Hooper, J. H. Lawton, R. V. O’Neill, H. A. Mooney, O. E. Sala, A. J. Symstad y D. Tilman. 1999. Biodiversity and ecosystem functioning: Maintaining natural life support processes. Ecological Society of America. *Issues in Ecology* 4:1–12.
- Naeem, S. y S. B. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390:507–509.
- Naylor, R. L. y P. R. Ehrlich. 1997. Natural pest control services and agriculture. En G. C. Daily, ed., *Nature’s Services*, 151–174. Washington, DC: Island Press.
- Ooi, P. A. C. y B. M. Shepard. 1994. Predators and parasitoids of rice insect pests. En E. A. Heinrichs, ed., *Biology and Management of Rice Insects*, 586–612. Nueva Delhi: Wiley Eastern.
- Petchey, O. L., P. T. McPhearson, T. M. Casey y P. J. Morin. 1999. Environmental warming alters food-web structure and ecosystem function. *Nature* 402:69–72.
- Pimentel, D. 1961. Species diversity and insect populations outbreaks. *Annals of the Entomological Society of America* 54:76–86.
- Rosenheim, J. A., H. K. Kaya, L. E. Ehler, J. J. Marois y B. A. Jaffee. 1995. Intra-guild predation among biological-control agents: Theory and evidence. *Biological Control* 5:303–335.

- Sala, O. E., W. K. Lauenroth, S. J. McNaughton, G. Rusch y X. Zhang. 1996. Biodiversity and ecosystem functioning in grasslands. En H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala y E. D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 129–149. Nueva York: Wiley.
- Schläpfer, F., B. Schmid y I. Seidl. 1999. Expert estimates about effects of biodiversity on ecosystem processes and services. *Oikos* 84:346–352.
- Schmidt, M. H., A. Lauer, T. Purtauf, C. Thies, M. Schaefer y T. Tschardt. 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 270:1905–1909.
- Schwartz, M. W., C. A. Bringham, J. D. Hoeksema, K. G. Lyons, M. H. Mills y P. J. van Mantgem. 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: Implications for conservation ecology. *Oecologia* 122:297–305.
- Settle, W. H., H. Ariawan, E. T. Astruti, W. Cahyana, A. L. Hakim, D. Hindayana, A. S. Lestari y P. Sartanto. 1996. Managing tropical pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77:1975–1988.
- Snyder, W. E. y A. R. Ives. 2001. Generalist predators disrupt biological control by a specialist parasitoid. *Ecology* 82:705–716.
- Snyder, W. E. y D. H. Wise. 1999. Predator interference and the establishment of generalist predator populations for biocontrol. *Biological Control* 15:283–292.
- Sunderland, K. 1999. Mechanisms underlying the effects of spiders on pest populations. *Journal of Arachnology* 27:308–316.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong y B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. En H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala y E. D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 261–297. Nueva York: Wiley.
- Thies, C. y T. Tschardt. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893–895.
- Thomas, M. B. 1999. Ecological approaches and development of “truly integrated” pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96:5944–5951.
- Thomas, M. B., S. D. Wratten y N. W. Sotherton. 1991. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and emigration. *Journal of Applied Ecology* 28:906–917.
- Thomas, M. B., S. D. Wratten y N. W. Sotherton. 1992. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and species composition. *Journal of Applied Ecology* 29:524–531.
- Tilman, D., C. L. Lehman y K. T. Thomson. 1997. Plant diversity and ecosystem productivity: Theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 94:1857–1861.

- Tonhasca, A. y D. N. Byrne. 1994. The effects of crop diversification on herbivorous insects: A meta-analysis approach. *Ecological Entomology* 19:239-244.
- Tscharntke, T. y R. Brandl. 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology* 49:405-430.
- Wainhouse, D. y T. H. Coaker. 1981. The distribution of carrot fly (*Psila rosae*) in relation to the fauna of field boundaries. En J. M. Thresh, ed., *Pests, Pathogens and Vegetation: The Role of Weeds and Wild Plants in the Ecology of Crop Pests and Diseases*, 263-272. Londres: Pitman.
- Walker, B. H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18-23.
- Wardle, D. A. 1999. Is "sampling effect" a problem for experiments investigating biodiversity-ecosystem function relationships? *Oikos* 87:403-407.
- Wardle, D. A., M. A. Huston, J. P. Grime, F. Berendse, E. Garnier, W. K. Lauenroth, H. Setälä y S. D. Wilson. 2000. Biodiversity and ecosystem function: An issue in ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81:235-239.
- Weibull, A. C., O. Östman y A. Granqvist. 2003. Species richness in agroecosystems: The effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12:1335-1355.
- Wellnitz, T. y N. Poff. 2001. Functional redundancy in heterogeneous environments: Implications for conservation. *Ecology Letters* 4:177-179.
- Wilby, A. y M. B. Thomas. 2002a. Are the ecological concepts of assembly and function of biodiversity useful frameworks for understanding natural pest control? *Agricultural and Forest Entomology* 4:237-243.
- Wilby, A. y M. B. Thomas. 2002b. Natural enemy diversity and natural pest control: Patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters* 5:353-360.
- Yachi, S. y M. Loreau. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96:1463-1468

## 11 Manejo de las enfermedades de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales

---

### Beneficios y Riesgos de la Diversidad Genética

D. I. JARVIS, A. H. D. BROWN, V. IMBRUCE, J. OCHOA, M. SADIKI,  
E. KARAMURA, P. TRUTMANN Y M. R. FINCKH

Durante miles de años los agricultores han lidiado con brotes de plagas y enfermedades que amenazan sus cultivos y sus medios de vida. Su legado de variedades domesticadas y razas nativas es genéticamente muy diverso, tanto entre poblaciones como dentro de las mismas. La pregunta que surge entonces es si el mantenimiento de la diversidad en las fincas, específicamente de los genes que afectan las interacciones entre hospedantes y patógenos, le ha proporcionado a los agricultores una estrategia efectiva contra las enfermedades, o, si en cambio, ha sido una oportunidad para la evolución de diversidad adversa en las poblaciones de patógenos. Dicho de otra manera, ¿será benéfica la diversidad genética de los cultivos para reducir la enfermedad en el tiempo, o será un riesgo en tanto da margen a que surjan patógenos de razas superiores? Dos hipótesis enfrentadas resumen el asunto que se debe resolver para mejorar el manejo de la diversidad genética en fincas, que se puede describir simplemente en los siguientes términos: el agricultor debe decidir si utiliza cultivos diversos, logrados como una mezcla de genotipos que difieren en su estructura de resistencia<sup>1</sup>, o si siembra un monocultivo de una misma variedad<sup>2</sup> protegida por una sola forma de resistencia.

En la *hipótesis de beneficio de la diversidad*, una base de diversidad genética de resistencia es benéfica para el agricultor porque le permite manejar la presión de la enfermedad en forma más estable. Esto se explica porque la teoría y la experiencia brindan evidencias de lo rápidamente que puede romperse la resistencia de un monocultivo y destruirse una población completa. Para afectar gravemente un campo genéticamente diverso se necesitaría que se rompieran diferentes tipos de resistencia en el mismo

sitio debido a daños causados por una misma enfermedad, situación que es poco probable que suceda.

La otra alternativa, o la *hipótesis de riesgo de la diversidad*, plantea que un monocultivo de una variedad contiene múltiples genes de resistencia, o una forma combinada de varios genes de resistencia genéticamente diferentes, y que ésta opción es la mejor y la más estable porque mantiene muy bajas las poblaciones de patógenos. Sería muy raro que se presentaran juntas mutaciones dobles o múltiples, lo cual sería necesario para superar todas las resistencias. En cambio, esta hipótesis predice que las poblaciones mixtas de hospederos, con genotipos que difieren en resistencia a diferentes combinaciones de patotipos, permitirán que aumenten las poblaciones de diversos patógenos y el potencial de que surjan nuevos patotipos de razas superiores por mutación de un solo paso o por recombinación. Ha habido mucha discusión teórica detrás de estos argumentos (Mundt 1990, 1991; Kolmer et al. 1991), y es difícil determinar experimentalmente la amenaza de estas razas superiores.

En este capítulo discutiremos la evidencia relacionada con la pregunta de si la diversidad de los cultivares locales de los cultivos reduce la susceptibilidad genética a los patógenos. La finalidad de dicha investigación es descubrir cuándo y cómo el uso de variedades y genotipos locales de los cultivos tiene un efecto benéfico para los agricultores en cuanto a la incidencia de plagas y enfermedades. Discutimos qué tipo de investigación se necesita para decidir entre las dos hipótesis y determinar el uso óptimo de la diversidad para manejar las presiones de los patógenos. Finalmente, observamos que es el agricultor el que está en el centro del triángulo entre hospedero, patógeno y ambiente, y que los cultivares locales de los cultivos (los cultivares nativos) que se han manejado en sistemas agrícolas de bajos insumos y han existido durante mucho tiempo son un reservorio de variabilidad genética resultante de una interacción dinámica entre hospedero, plaga, ambiente y agricultor.

### Vulnerabilidad y uniformidad genética

Ya en la década de 1930, los científicos agrícolas reconocieron las consecuencias potencialmente dañinas de sembrar grandes áreas con cultivares uniformes de un solo cultivo (Marshall 1977). Esta situación se conoce como vulnerabilidad genética aumentada porque aumenta el riesgo de una epidemia<sup>3</sup>. La reducción de la vulnerabilidad generada por cultivos genéticamente heterogéneos está acorde con la hipótesis de beneficio de la diver-

sidad. Por otro lado, las enfermedades afectan severamente la producción, especialmente en los países en desarrollo. Anualmente se pierde un 30% de la cosecha mundial debido a enfermedades y plagas; una buena parte de esta pérdida se aprecia en los países en desarrollo (Oerke et al. 1994). Superficialmente, la hipótesis de riesgo de la diversidad predice que las variedades tradicionales están propensas a estos niveles de pérdidas y explica la severidad de las enfermedades en los países en desarrollo. Sin embargo, en la raíz de estas generalizaciones puede haber estrategias inapropiadas o limitadas en el uso de la resistencia genética, que ignoran las complejidades ambientales y agronómicas de los sistemas tradicionales.

La hambruna de la papa en Irlanda, inmediatamente después de la introducción del patógeno del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en la década de 1840, es un ejemplo dramático de la vulnerabilidad genética que acompaña la uniformidad genética y que conduce a pérdidas devastadoras de un cultivo (Schumann 1991). Otro ejemplo es el ataque de roya en los cañaverales de Cuba, de 1979 a 1980, causado por *Puccinia melanocephala*, donde un solo cultivar ocupaba el 40% del área de caña sembrada y que resultó en pérdidas de US\$500 millones (FAO 1998). La mancha foliar por *Helminthosporium* (causada por *Cochliobolus carbonum*) destruyó cultivos de maíz valorados en mil millones de dólares en los Estados Unidos en la década de 1970 (Ullstrup 1972). La susceptibilidad de los cinco principales cultivares comerciales de banano a la enfermedad fúngica conocida como sigatoka negra (causada por *Mycosphaerella fijiensis*) significó pérdidas de casi el 47% en el rendimiento del banano en América Central (FAO 1998). Aunque existen las medidas para controlar la enfermedad, el costo para América Central, Colombia y México fue de US\$350 millones en el curso de 8 años además de los serios problemas de salud humana que se presentaron por la exposición a plaguicidas. El virus del mosaico de la yuca ocasiona pérdidas de rendimiento de hasta 40% en algunas partes de África, donde muchos dependen de la yuca como fuente nutricional importante (Otim-Nape y Thresh 1998). La mayoría de los clones de caucho cultivados en todo el mundo provienen de cruces de materiales con una base genética con muy poca variabilidad (Oldfield 1989). El mal suramericano de la hoja del árbol del caucho, causado por *Microcyclus ulei*, tiene una larga historia de devastación de las plantaciones de caucho en América del Sur y sigue siendo el principal obstáculo para el desarrollo del caucho en esta región, debido a la alta variabilidad del mal de la hoja (Rivano 1997). La verdadera amenaza del mal de la hoja del árbol del caucho está en Asia, donde se produce el 90% del caucho. Actualmente

**Recuadro 11.1** Utilización de nuevas variedades resistentes y cambios en la patogenicidad en Ecuador

Se ha hecho un seguimiento detallado de la evolución en Ecuador de los patógenos de la roya amarilla del trigo, del mildiu veloso de la quinua, de la roya y de la antracnosis del frijol. La estructura de la población del patógeno de la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) era muy simple a principios de la década de 1970, incluyendo una fracción no virulenta en todos los cultivares diferenciadores utilizados para la caracterización de la raza (INIAP 1974). En una encuesta en 1991, Ochoa et al. (1998) identificaron virulencia a los genes de resistencia a la roya amarilla (Yr1, Yr2, Yr3, Yr6, Yr7, YrA). Desde entonces se ha identificado virulencia al gen Yr9 y a otros genes en la población ecuatoriana. Actualmente, los patógenos han superado todos los genes importantes de resistencia, disponibles para los fitomejoradores.

El mejoramiento de la quinua basado en la selección de líneas se inició a principios de la década de 1980 y continuó hasta principios de la década de 1990. El germoplasma local y el introducido de Perú y Bolivia se evaluó en diferentes localidades y se liberaron cuatro cultivares: Cochasqui, Imbaya, Tunkahuan e Ingapirca. Uno de los principales criterios de selección en este programa fue la resistencia al mildiu veloso causado por *Peronospora farinosa* f. sp. *chenopodii*. En el estudio de la estructura de la población de *P. farinosa*, realizado de 1994 a 1995 utilizando el método de pasos sucesivos, se encontraron cuatro grupos de patotipos aparentemente diferentes en virulencia. El aislado no virulento (grupo V1) se encontró solamente una vez en una raza nativa local de Otavalo. Estos aislados no virulentos probablemente fueron más comunes cuando la quinua se cultivaba en sistemas de subsistencia antes de que se iniciara el fitomejoramiento. Aparentemente, el cultivar Imbaya es portador de resistencia al factor R1, el cultivar Ingapirca al factor R2 (de origen peruano y boliviano) y el cultivar Tunkahuan, recientemente liberado, carece de resistencia a todos los factores. El factor de resistencia R1 es común en las razas nativas y el factor R3 es más común en las líneas avanzadas. Hasta ahora no ha tenido éxito la selección del germoplasma con base en su resistencia a los aislados del patógeno en el grupo V4 (Ochoa et al., 1999).

Durante este breve período de fitomejoramiento se ha dado un proceso evolutivo rápido en el sistema patogénico de la quinua y el mildiu veloso. Se dice que los aislados de baja virulencia, que parecen ser menos agresivos y menos complejos, eran comunes en los agroecosistemas tradicionales, mientras que los aislados virulentos son más comunes en los cultivos modernos de quinua, posiblemente debido a niveles más altos de agresividad. Al parecer, la adaptación del patógeno del mildiu veloso en la quinua se da tan rápida y eficientemente como la de otros especialistas biotróficos.

La roya del frijol (*Uromyces appendiculatus*) y la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) son limitantes serios en el cultivo del frijol arbustivo en Ecuador. En el caso de las dos enfermedades, se ha estudiado la estructura

*El Recuadro 11.1, continúa en la página siguiente*

*Recuadro 11.1, continuación*

del patógeno y la resistencia del hospedero. Entre 21 aislados seleccionados por su variabilidad, se identificaron 17 patotipos diferentes de roya, resultando susceptibles 14 de los 20 diferenciadores. Sin embargo, los cultivares locales y las razas nativas son más útiles para discriminar entre patotipos, lo cual indica que existe coevolución tanto en la planta hospedera como en el patógeno. La mayoría de los cultivares comerciales modernos resultaron susceptibles a la roya (Ochoa et al., 2002).

Similar a lo encontrado para la roya, los diferenciadores formales en el caso de la antracnosis fueron menos eficientes en su capacidad de discriminar entre los patotipos. Utilizando el juego de diferenciadores se encontraron seis razas pero, cuando se incluyeron los cultivares locales y las razas nativas, se discriminaron 12 patrones diferentes. Al igual que con la roya del frijol, se encontró que la mayoría de los cultivares comerciales eran susceptibles (Falconi et al., 2003).

Aunque la resistencia a la roya y a la antracnosis es un objetivo importante de un programa de fitomejoramiento de frijol, la calidad del grano es el objetivo predominante al momento de la liberación. La variedad más extendida (Paragachi) es muy susceptible tanto a la roya como a la antracnosis. El cultivar Gema, resistente a la roya, no se adapta bien en los valles bajos donde la roya es una limitante, pero se cultiva en áreas propensas a la antracnosis, a la cual es susceptible. Esta aparente contradicción sucede porque el mejoramiento y la selección por resistencia se han hecho fuera del país, y sólo se evaluó la adaptación y el potencial de rendimiento antes de la liberación del cultivar. Lo que se necesita son programas de fitomejoramiento que desarrollen resistencia múltiple en variedades apropiadas a las condiciones locales.

esta región está libre de la enfermedad, pero se considera que los clones cultivados son susceptibles (Compagnon 1998; Kennedy y Lucks 1999).

Gran parte del daño es el resultado de la evolución de nuevas razas de plagas y patógenos que superan los genes de resistencia actualmente en uso en áreas extensas. Cuando se producen nuevos cultivares, portadores de nuevos genes de resistencia, estas resistencias pueden proteger el cultivo durante sólo unos pocos ciclos mientras que emergen nuevos patotipos. Sin embargo, la selección de fuentes genéticas de resistencia también puede aumentar la complejidad del patógeno. Por ejemplo, en un escenario más sugestivo de la hipótesis de riesgo de la diversidad, algunas razas nativas de quinua en Ecuador presentaron resistencia a aislados de poca virulencia de oídio o mildiu vellosa que eran comunes antes de usar las fuentes de resistencia genética. Sin embargo, con el aumento de la siembra de razas nativas resistentes, los patógenos desarrollaron cepas virulentas a todas

las resistencias hipersensibles utilizadas (Ochoa et al. 1999; Recuadro 11.1). Las verdaderas consecuencias epidemiológicas de esta interferencia son difíciles de establecer porque se desconoce hasta qué punto se están cultivando razas nativas resistentes.

### Adaptación de las razas nativas al ambiente del patógeno

Al parecer, diferentes tipos de resistencia se han dispersado en los cultivos nativos de los cultivos (Teshome et al. 2001), hecho que se atribuye a la coevolución a largo plazo entre las especies de plagas y hospederos en los centros primarios y secundarios de diversidad. En el caso de muchas especies, es probable que coincidan los centros de diversidad genética del cultivo y los de la diversidad de las plagas o los patógenos (Leppik 1970; Allen et al. 1999).

A medida que los seres humanos se han desplazado con sus cultivos alrededor del mundo, también lo ha hecho el germoplasma resistente y las razas virulentas de los patógenos. Los genes de resistencia evolucionan en respuesta a nuevos patógenos, pero puede que también haya restos de resistencia ya presentes en una región si los cultivos han estado en contacto con la enfermedad en algún momento de su historia. Este fenómeno ha dado como resultado la presencia de resistencia fuera del centro primario de diversidad —como en el caso de la resistencia a la mancha chocolate (causada por *Botrytis fabae*) en el haba (*Vicia faba*) de los Andes (Hannounik y Robertson 1987). Este cultivo, cuyo centro de diversidad es la Media Luna Fértil, llegó a América hace cientos de años.

Lo marcado en los patrones geográficos de resistencia de los hospederos a la presencia de plagas y enfermedades puede sugerir que ha habido coevolución. En una selección de colecciones de cebada de todo el mundo, Qualset (1975) encontró que la resistencia al virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) estaba principalmente localizada en Etiopía, un centro de diversidad. Qualset concluyó que la mutación de la resistencia al BYDV sucedió en Etiopía y que la presencia de la enfermedad es la razón para creer que la selección natural favoreció las cebadas resistentes. Subrahmanyam et al. (1989) seleccionaron una colección mundial de maní por su resistencia a la roya causada por *Puccinia arachnidas* y a la mancha de la hoja causada por *Phaeoisariopsis personata*, y encontraron que el 75% de las accesiones resistentes provenían de la región de Tarapoto en Perú, un centro secundario de diversidad del maní, que se desarrolló a partir del centro primario de domesticación en el sur de Bolivia.

Existe evidencia que indica que las razas nativas se adaptan a su ambiente biótico, el cual incluye plagas y patógenos. Leppik (1970), Harlan (1977) y Buddenhagen (1983) observaron que la mayor cantidad de genes resistentes a las enfermedades generalmente vienen de las razas nativas en las cuales los hospederos y los patógenos han coexistido durante largos períodos. Aunque algunas de estas poblaciones pueden tener rendimientos bajos, la variabilidad genética en términos de resistencia dentro y entre estas poblaciones les ha brindado cierto grado de seguridad contra los riesgos de las epidemias.

Otras fuerzas selectivas se combinan con la presión de los patógenos y la importancia relativa de una enfermedad en el ambiente del hospedero para determinar la intensidad de la selección por resistencia. Por ejemplo, las epidemias ocasionales del añublo del arroz (causado por *Pyricularia grisea*) pueden ser devastadoras en las tierras altas de Bután, hasta el punto de erradicar un cultivo en su totalidad. Esto sugiere que el añublo es una presión de selección fuerte. Sin embargo, la resistencia al frío es una característica vital y de hecho puede ser la fuerza selectiva dominante en el sistema (Thinlay 1998).

El Recuadro 11.2 hace referencia a investigaciones recientes sobre variedades locales de haba en Marruecos como fuentes de resistencia a las principales enfermedades foliares de este cultivo --la mancha chocolate y la ascoquitosis. De interés clave para este trabajo es el hecho de que gran parte de la selección se realizó con aislados locales de los patógenos en condiciones tanto de laboratorio como en el campo. Los resultados indicaron que la resistencia de las poblaciones hospederas era polimórfica mientras que el análisis genético indicó que es multigénica y parcial en el caso de la mancha chocolate de las habas.

Además de los propios genes de resistencia, la respuesta de la resistencia en los cultivares nativos puede ser el resultado de diferencias morfológicas, características correlacionadas o efectos indirectos. Por ejemplo, los tipos de tallo sólido de los cultivares nativos de trigo de Turquía resultaron resistentes a los céfidis, no así los tipos con el tallo hueco (Damania et al., 1997). En África Oriental, la respuesta a la selección de tolerancia a las lluvias intensas se correlacionó con la resistencia a la antracnosis (Trutmann et al., 1993).

Las cruza compuestas o las poblaciones masales que tienen una alta variabilidad genética son sistemas experimentales interesantes que pueden ilustrar cómo evolucionan las poblaciones de hospederos para enfrentar las presiones de diversas poblaciones de patógenos (Brown 1999). Allard (1990) analizó las tendencias temporales de la resistencia a la escaldadura

### Recuadro 11.2 Variedades locales de Marruecos como fuentes de resistencia multigenética

La mancha chocolate causada por el hongo *Botrytis fabae* es la enfermedad foliar más destructiva de los cultivos de haba (*Vicia faba* L.) en Marruecos. En condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad, este patógeno puede reducir los rendimientos anuales hasta en un 80%. Bouhassan et al. (2003a) identificaron y reportaron fuentes de resistencia en el germoplasma local discriminando entre 136 accesiones locales de haba para la resistencia a *B. fabae*. Utilizando inoculación artificial con una cepa local de *Botrytis*, se evaluó la respuesta en condiciones de campo y en las hojas desprendidas. En ambas pruebas se encontraron diferencias significativas entre los genotipos en cuanto a su reacción a la enfermedad. Nueve accesiones resultaron evidentemente resistentes tanto en el campo como in vitro, y 2 altamente resistentes. Sin embargo, no se observó resistencia total, y los autores concluyeron que estos genotipos tienen resistencia parcial, aparentemente controlada por múltiples genes.

Bouhassan et al. (2003b) analizaron los componentes epidemiológicos de esta resistencia parcial a la mancha chocolate usando cinco líneas diferentes desarrolladas a partir de cinco variedades locales diferentes de haba, las cuales presentaron diferentes niveles de susceptibilidad en campo a la enfermedad. Encontraron que los componentes como diámetro de la lesión, período de latencia y número de esporas por folíolo estaban significativamente involucrados en la caracterización de la resistencia parcial. El período de incubación pareció no desempeñar ningún papel. El trabajo se basó en aislados locales del hongo.

La ascoquitosis, causada por *Ascochyta fabae* Speg., es una de las principales enfermedades fúngicas de las habas a nivel mundial. El hongo puede dañar las partes aéreas de la planta y causar pérdidas severas tanto de la calidad como de la cantidad del producto cosechado. La resistencia genética es uno de los principales componentes del control integrado de la enfermedad. A través de una red de colaboración (FRYMED), se evaluó el germoplasma local de África del Norte para buscar fuentes de resistencia a este patógeno y poder desarrollar un acervo de genes resistentes (Kharrat et al. 2002). Se evaluaron 309 accesiones (de las cuales 106 se originaron en Marruecos) en el campo después de haber sido inoculadas con un aislado local del patógeno (FRY AFT04). Las líneas más resistentes se volvieron a evaluar para confirmar su desempeño en el campo y en cámaras de crecimiento en condiciones artificiales contra dos aislados virulentos (FRY AFT04 y FRY AFT37). Estas pruebas resultaron en la identificación de 18 accesiones de haba resistentes. Algunas accesiones mostraron mejor resistencia en los tallos que en las hojas y se conservaron para mantener la base genética de resistencia tan amplia como fuera posible. Casi todas las accesiones identificadas como resistentes o parcialmente resistentes pertenecen a los tipos de semilla pequeña y mediana, pero presentan mucha variabilidad en cuanto a la duración del ciclo de cultivo y otras características morfológicas. Estos genotipos resistentes se introdujeron a la colección del Acervo de Genes Específicos a la Ascoquitosis, administrada por el Instituto IAV Hassan II, en Rabat, Marruecos.

(causada por *Rhynchosporium secalis*) en cruces compuestas de cebada y dedujo que no todos los alelos resistentes son útiles y que algunos van en detrimento del rendimiento, y de la capacidad para reproducirse y adaptarse. También concluyó que los patotipos difieren en su capacidad para superar diversos alelos de resistencia para poder infectar y dañar al hospedero. Diversos aspectos del patosistema se interrelacionan de manera que afectan la dinámica de las poblaciones de hospederos y de patógenos, incluyendo las frecuencias de los alelos resistentes en la población del hospedero y los alelos de virulencia en la población del patógeno.

Diversos mecanismos pueden contribuir a los cambios en la incidencia o la severidad de la enfermedad (generalmente una reducción) en las poblaciones de hospederos con diversos grados de resistencia (Wolfey y Finckh 1997). Mencionamos aquí siete de estos mecanismos. Los primeros cuatro aplican a todas las mezclas y variaciones de las poblaciones, independientemente de si hay especialización del patógeno al hospedero en cuestión. Los últimos tres aplican a los sistemas entre hospedero y patógeno con grados específicos de resistencia.

- Una *mayor distancia* entre plantas de los genotipos más susceptibles en la población reduce la densidad de esporas y la probabilidad de que una espora virulenta caiga en el hospedero susceptible.
- Las plantas resistentes actúan como *barreras* a la dispersión del patógeno.
- La *selección en la población del hospedero* de genotipos más competitivos o más resistentes puede reducir la severidad general de la enfermedad.
- La *mayor diversidad en la población del patógeno* puede en algunos casos disminuir la enfermedad (Dileone y Mundt 1994).
- Cuando se presenta especialización del patógeno hacia los genotipos del hospedero, las *reacciones de resistencia* que inducen las esporas no virulentas pueden prevenir o retardar la infección por parte de las esporas virulentas adyacentes (por ejemplo, para el mildiu polvoso en las mezclas de cebada [Chin y Wolfe 1984] y para la roya amarilla del trigo [Lannou et al. 1994; Calonnet et al. 1996]).
- Las *interacciones entre razas de patógenos* (como la competencia por tejido del hospedero) puede reducir la severidad de la enfermedad.
- Los *efectos de barrera son recíprocos*, es decir, las plantas de un genotipo del hospedero actuarán como barrera para el patógeno especializado en un genotipo diferente, y las plantas de este último actuarán como barrera para el patógeno especializado en el primer genotipo.

Estos mecanismos se aplican a enfermedades transmitidas por el aire o por las salpicaduras de la lluvia, y también algunas transmitidas por el suelo. Por tanto las mezclas de genotipos de hospederos que varían en su respuesta a un rango de enfermedades de las plantas en general tienden a mostrar una respuesta a esas enfermedades, que está correlacionada con los niveles de la enfermedad en los componentes más resistentes de la población. Adicionalmente, cuando la enfermedad afecta determinados genotipos, el rendimiento de los individuos más resistentes generalmente compensa las pérdidas de los no resistentes.

### Manejo de la evolución del patógeno en respuesta a la resistencia del hospedero

Existe una diferencia de grados entre el ambiente biótico de los cultivares nativos y el ambiente abiótico en por lo menos dos aspectos. Primero, el ambiente biótico es un objetivo receptivo en movimiento, capaz de cambiar para enfrentar las nuevas oportunidades evolutivas y estar a la par de los cambios en el hospedero. Segundo, el componente del patógeno está parcialmente oculto en el sentido de que las posibles enfermedades, actualmente bajo control en las poblaciones, pueden no ser evidentes como amenazas. En consecuencia, la presencia de un patógeno peligroso requiere que sea evidente la enfermedad que se ha desarrollado en determinadas plantas hospederas, mientras que los estreses edáficos o climáticos son aparentes en un área a partir de sólo datos físicos o biológicos.

Una preocupación grave es el potencial que tienen las poblaciones hospederas genéticamente heterogéneas de ser selectivas en cuanto a su resistencia a las razas superiores, lo cual podría llevar a la pérdida simultánea de toda resistencia. Sin embargo, el predominio de una raza de patógenos capaz de atacar todos los genotipos disminuye a medida que aumenta la complejidad de las poblaciones hospederas porque la ventaja selectiva, consistente en poder atacar a uno o más hospederos disminuye a medida que aumenta la cantidad de genotipos diferentes (Wolfe y Finckh 1997). Por otro lado, desde el punto de vista del agricultor, el aumento de la diversidad de las respuestas de resistencia puede disminuir la adaptación, o el uso o el valor de la población de un cultivo. Por tanto, es probable que haya un grado óptimo en la complejidad del hospedero.

Existen otras estrategias para retardar la evolución de las razas superiores de patógenos. Por ejemplo, algunos investigadores sugieren que dentro de las poblaciones locales, la estrategia evolutiva óptima puede ser el

desarrollo de patrones complementarios de variabilidad en los genes de resistencia del hospedero y de virulencia en el patógeno (McDonald et al., 1989). Hay una cantidad sustancial de literatura teórica y empírica sobre dichas estrategias para lograr mezclas deliberadas; se sabe mucho menos al respecto de los cultivares nativos tradicionales.

Se ha debatido ampliamente acerca de los efectos a largo plazo del uso de los genes de resistencia en la estructura genética de las poblaciones del patógeno. Muchos estudios dirigidos hacia los modelos coevolutivos en los sistemas agrícolas han enfatizado la importancia de los costos de adaptación asociados con la resistencia y la virulencia. Sin embargo, estos costos son difíciles de documentar. Si la virulencia efectivamente implica un costo de adaptación para el patógeno, entonces las mezclas que portan diferentes genes de resistencia disminuirán la velocidad de la evolución del patógeno, y las razas simples dominarán la población del patógeno. Sin embargo, los modelos recientes indican que otros mecanismos diferentes al costo de la virulencia podrían entrar en juego, con el mismo efecto (Lanou y Mundt 1996; Finckh et al., 1998).

¿Cómo han respondido los patógenos a la manera en la que los agricultores han manipulado genéticamente sus cultivos? Esta importante pregunta probablemente haya tenido tantas respuestas como sistemas de cultivo existen, pero lo más común es que una generalización atropellada provoque cambios evolutivos en el patógeno. El Recuadro 11.1 presenta algunos ejemplos de investigaciones recientes en Ecuador que enfatizan la complejidad de las situaciones que surgen en la utilización de genes de resistencia. El uso no óptimo de variedades resistentes puede causar cambios adversos y no intencionados en la virulencia del patógeno, la cual hay que enfrentar con el uso de aún más fuentes de resistencia.

### Uso de la diversidad genética en el manejo de las enfermedades

Tanto los agricultores como los fitomejoradores han hecho selección para obtener genotipos resistentes a las plagas y patógenos que afectan sus cultivos, y han hecho uso de ellos. Igualmente han desarrollado sistemas de cultivo que reducen el daño que causan estas plagas y patógenos (Frankel et al., 1995; Finckh y Wolfe 1997; Thinlay et al., 2000a). Aquí discutiremos tres maneras de usar los genotipos: el uso directo por parte de los agricultores, el uso de resistencia en las mezclas y el uso en los programas de fitomejoramiento.

### *Uso directo por parte de los agricultores*

Los agricultores tradicionales generalmente son conscientes y explotan las diferencias entre variedades en términos de su susceptibilidad a los principales patógenos. El Recuadro 11.3 presenta un ejemplo del uso que los agricultores hacen de la diversidad genotípica para lidiar con el paquete de enfermedades y plagas que afectan el cultivo de banano en Uganda. La susceptibilidad a la enfermedad generalmente se une a una lista compleja de criterios que determinan la selección de semilla que hacen los agricultores. La selección refleja un compromiso entre criterios opuestos, o los agricultores pueden seleccionar diversas variedades para suplir diferentes necesidades.

### *Multilíneas y mezclas para el control de enfermedades*

En muchas regiones del mundo, los agricultores tienen preferencias locales para la siembra de mezclas de cultivares que les brindan resistencia a las plagas y enfermedades locales, y aumentan la estabilidad de los rendimientos (Trutmann et al., 1993). Por tanto, la diversidad dentro de un cultivo (lograda mediante mezclas de variedades, las multilíneas o el uso planificado de diferentes variedades en el mismo ambiente de producción) puede reducir el daño ocasionado por plagas y enfermedades (Recuadro 11.4).

Otra estrategia disponible para los agricultores es usar mezclas de variedades tradicionales y variedades modernas resistentes para disminuir el daño causado por plagas y enfermedades y así retener y utilizar las variedades tradicionales en sus fincas (Zhu et al., 2000; capítulo 12). Pyndji y Trutmann (1992) y Trutmann y Pyndji (1994) mostraron que la inclusión, durante tres ciclos de cultivo, de un 25 a 50% de una variedad resistente en una mezcla de frijoles susceptibles a la mancha angular de la hoja (MAH, causada por *Colletotrichum lindemuthianum*) servía para dos propósitos: proteger los componentes susceptibles de la mezcla local y aumentar significativamente los rendimientos, por encima de lo esperado.

Sin embargo, no aparece ningún beneficio en los rendimientos sin la presión de las enfermedades. La mancha angular de la hoja es un factor importante que limita el rendimiento, y nuevas fuentes de resistencia pueden tener un impacto importante en los rendimientos de las mezclas tradicionales. Estas nuevas fuentes de resistencia y su uso en las mezclas pueden ayudar a conservar las variedades tradicionales y a disminuir su desplazamiento por los monocultivos.

**Recuadro 11.3** Manejo de la enfermedad de la mancha foliar en los sistemas de producción de banano en las tierras altas de África Oriental

Se estima que en la región de los Grandes Lagos de África Oriental se utilizan entre 100 y 150 cultivares diferentes de banano (Karamura y Karamura 1995). El cultivo de banano está tan entrelazado a la construcción del entramado sociocultural de las comunidades que cada parte de la planta es utilizada en los hogares; diferentes cultivares se usan como medicinas y en actividades culturales como nacimientos, muertes y matrimonios. En un estudio etnobotánico, Karamura et al. (2003) reportó siete criterios que los agricultores usan en su fitomejoramiento, y cinco de estos estaban relacionados con las plagas y las enfermedades. Adicionalmente, algunas prácticas de cultivo como el deshije, la siembra profunda, y la remoción de los tocones poscosecha se utilizan para manejar plagas y enfermedades en el cultivo de banano en los sistemas de subsistencia.

Los bananos de las montañas de África Oriental, del tipo AAA-EAHB (Karamura 1999), conforman un grupo único en la región de los Grandes Lagos en África Oriental, que se considera actualmente el centro secundario de diversidad del banano (Karamura et al. 1999). Aunque este grupo domina el cultivo en la región (78%), otros grupos de banano, incluyendo los cerveceros bluggoes (ABB), los bananos para postre (AAA-Gros Michel), los AB (Sukali Ndiizi) y los plátanos (AAB-Gonja) se cultivan en mezclas con el AAA-EAHB; estas mezclas incluyen de 30 a 40 cultivares diferentes por finca.

En esta región, una gran cantidad de enfermedades virales, fúngicas y bacterianas y de plagas atacan el cultivo, provocando diversas respuestas en el cultivo. Los principales estreses los genera un complejo de manchas foliares que incluye la sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet; el moteado tropical, causado por *Cladosporium musae* Mason; y la sigatoka amarilla, causada por *Mycosphaerella musicola* Leach. Ocasionalmente, en áreas cálidas y húmedas, la mancha irregular oscura de la hoja (causada por *Drechslera* sp.) puede afectar el cultivo.

Tushemereirwe (1996) estudió la incidencia y distribución de las enfermedades de la mancha de la hoja en la región de los Grandes Lagos, particularmente en los cultivos de banano de montañas. Sus resultados mostraron un rango de respuestas entre poblaciones de este cultivo a diferentes enfermedades de la mancha foliar. El Cuadro 11.3 de este Recuadro resume las enfermedades causadas por *M. musicola*, para las cuales las variedades AAA-EAHB del ensayo (Entundu, Mbwazirume y Nakitembe) presentaron la menor incidencia, mientras que el banano cervecero, cultivar Kayinja, presentó la mayor incidencia. En una finca promedio en las áreas donde prevalece la enfermedad, este cultivar normalmente constituye menos del 5% del lote (Karamura y Karamura 1995), lo cual puede ayudar a mantener bajo el inóculo de la enfermedad en el huerto y minimizar las pérdidas para el agricultor. La respuesta a la sigatoka negra (*M. fijiensis*) contrasta con la respuesta a la sigatoka amarilla. Los cultivares ABB presentan un alto grado de resistencia, mientras que los AA-EAHB parecen ser muy susceptibles.

Los resultados aquí descritos implican que la diversidad dentro de la especie puede contribuir al manejo de las enfermedades de la mancha foliar en el bana-

CUADRO EN EL RECUADRO 11.3. Incidencia de la sigatoka amarilla en genomas de banano y reacción de éstos a la sigatoka negra.

Cultivar	Genoma	<i>M. musicola</i>	Incidencia	Sigatoka Negra	Respuesta *
Kayinja	ABB	72%	Susceptible	7.1 ± 0.1	Resistente
Gros Michel	AAA	19%		5.2 ± 0.3	
3 cultivares	AAA-EAHB	7%	Resistente	—	
Muchos cultivares	AAA-EAHB	—		4.7 ± 0.0	Susceptible
Sukali Ndiizi	AB	—		5.4 ± 0.1	
Plátano	ABB	—		4.8 ± 0.2	

Fuente: Tushemereirwe (1996).

\* Respuesta medida como la hoja más joven manchada (± error estándar de la media), asignándole el valor de cero a la última hoja embudo u hoja sin expandir. En los cultivares susceptibles, los síntomas aparecen temprano en las hojas más jóvenes, mientras que en los cultivares resistentes sólo las hojas más viejas presentan síntomas.

Recuadro 11.3, continuación

no. Al sembrar diversos cultivares, los agricultores se protegen contra pérdidas totales de su producción que podrían resultar de la variabilidad o de cambios en la población del patógeno, asegurando así la seguridad alimentaria y el ingreso del hogar. En la región de los Grandes Lagos, los agricultores enfrentan el problema de las enfermedades a dos niveles. Primero, sacan ventaja de la variación entre genomas. Los cultivares ABB son susceptibles a la sigatoka amarilla pero resistentes a la sigatoka negra. Lo contrario pasa con los bananos de las montañas de África Oriental. La temperatura también modifica los rangos de las dos enfermedades, con una alta infestación de sigatoka amarilla en las montañas más frescas y de sigatoka negra en las llanuras más calientes.

Segundo, los agricultores pueden usar la variación dentro del subgrupo, tal como Lujugira-Mutika, en el cual los materiales más susceptibles son también los que alcanzan la madurez fisiológica más temprano (de 9 a 12 meses), mientras que los más resistentes tienden a producir racimos grandes y a tener una maduración tardía (de 12 a 15 meses). Los cultivares precoces evitarán por lo menos una estación húmeda durante la cual tienden a proliferar las manchas foliares, y los rendimientos son superiores a lo esperado. A nivel del sistema de cultivo, los agricultores de las tierras altas tienden a sembrar cultivares susceptibles pero precoces, mientras que los agricultores de las tierras bajas siembran en su mayoría cultivares resistentes o tolerantes.

La historia es más compleja. Durante los ensayos en múltiples localidades, el aumento en el rendimiento debido a las nuevas mezclas resistentes no fue tan evidente como lo habían indicado las clasificaciones de severidad. En estos sitios el factor que probablemente interactuó fue otra enfermedad, la mancha harinosa (causada por *Ramularia phaseoli*), a la cual era susceptible la variedad resistente a la mancha angular de la hoja. Estos resultados enfatizan las dificultades comunes que los fitomejoradores encuentran al tener que seleccionar por resistencia a múltiples enfermedades, entre otras características. Wolfe (1985) propuso que las mezclas de cultivares podrían ayudarle a alcanzar esta meta de manera más eficiente porque bastaría con que diferentes componentes de la mezcla fueran resistentes a diferentes enfermedades.

Las multilíneas son mezclas de líneas o variedades genéticamente similares que difieren sólo en sus niveles de resistencia a diferentes patotipos. Se utilizan en el cultivo de cereales en los Estados Unidos (Finckh y Wolfe 1997) y de café (*Coffea arabica*) en Colombia. En este último caso, la variedad Colombia es una multilínea de líneas de café diferencialmente

**Recuadro 11.4** Agricultores de África Oriental usan la diversidad genética del frijol común para reducir las enfermedades

La región de los Grandes Lagos en África es un centro secundario de diversidad de uno de los principales cultivos alimenticios locales --el frijol común (*Phaseolus vulgaris*). El frijol se cultiva en mezclas genéticas, preferidas por los agricultores por su mayor rendimiento y estabilidad en la producción (Voss 1992). Los agricultores desempeñan un papel clave en el desarrollo y la manipulación de la diversidad genética disponible para optimizar la producción en ambientes muy diferentes. Tradicionalmente, se selecciona y se mantiene separada una mezcla para cada parcela, teniendo en cuenta diversos factores como la pendiente, la exposición al sol y la exposición del suelo a la lluvia. Inicialmente, cuando los agricultores colonizan un área o cultivan una nueva parcela, desarrollan una mezcla sembrando tantas fuentes diferentes de semilla como sea posible en cada lote, cosechando los sobrevivientes y repitiendo el proceso durante varios ciclos y años. Eventualmente se incluyen otros criterios de selección para satisfacer otras metas, como las preferencias de la familia en cuanto a sabor, color y cocción. Las nuevas variedades se adicionan a las mezclas de manera selectiva en una etapa posterior, y solamente después de que se las ha evaluado por separado. Sin la selección de los agricultores, la composición de las mezclas cambia rápidamente. Por tanto, la composición de las mezclas de los agricultores es en parte el resultado de la selección natural y en parte del manejo del agricultor. Estas mezclas, inherentemente poseen niveles sustanciales de resistencia a los patógenos locales, y el nivel de resistencia aumenta en las zonas más favorables a los patógenos (Trutmann et al., 1993). En especial, en condiciones controladas, las variedades tienen resistencia a las razas locales de *Colletotrichum lindemuthianum*, el agente causal de la antracnosis, una enfermedad frecuentemente letal. Sin embargo y dependiendo de la zona, las mezclas de los agricultores varían tanto en la cantidad de diferentes tipos de semillas (la riqueza de la diversidad de la mezcla) como en el porcentaje de los tipos que la componen (la uniformidad de la diversidad). La resistencia a los patotipos locales de *C. lindemuthianum* de las variedades de zonas con condiciones más favorables a la antracnosis aumenta con la altitud, de la misma manera que aumenta la cantidad de variedades con altos niveles de resistencia. Otras maneras en las que los agricultores manejan la resistencia a las enfermedades incluyen el uso de la arquitectura de la planta, la remoción de semilla manchada durante la selección y la variación en el uso de la diversidad genética en contextos temporales y espaciales.

Las variedades tienen que soportar la lluvia. La resistencia a la lluvia y el rendimiento son los criterios más importantes de los agricultores para la selección varietal. Aunque generalmente no se reconocen las diferentes enfermedades, se las relaciona con la lluvia. Los agricultores asocian la lluvia con la pudrición de hojas y raíces, y piensan que hace que las flores aborten (Trutmann et al., 1996). Prefieren una arquitectura de planta que le permita escapar los efectos de la lluvia, y dependiendo de las condiciones, se seleccionan ciertos

*El Recuadro 11.4, continúa en la página siguiente*

Recuadro 11.4, continuación

tipos de vigor de la planta. Los agricultores también usan su diversidad genética, utilizando diferentes mezclas en la primera y segunda estación lluviosa. Generalmente se guarda semilla de cada parcela para cada estación, estrategia que se combina con las rotaciones. Adicionalmente, las parcelas se mantienen pequeñas, y frecuentemente se intercala el frijol con otros cultivos como banana, batata y maíz.

El efecto general es que la variación en la ubicación, la frecuencia o densidad, y la sincronización temporal mejoran el manejo de enfermedades a través de la variabilidad genética. De estas maneras, los agricultores locales promueven el uso de la diversidad genética disponible más allá de la utilización dentro del cultivo de genes que confieren resistencia directamente a los patógenos locales.

resistentes a la roya (causada por *Hemilera vastatrix*) y cultivada en más de 360,000 ha (Moreno- Ruiz y Castillo- Zapata 1990; Browning 1997).

Los estudios epidemiológicos de las poblaciones del patógeno en mezclas varietales experimentales y en multilíneas son una prueba empírica para determinar si la heterogeneidad en la resistencia de una población de cultivares nativos podría también reducir la dispersión de la enfermedad. Wolfe (1985) revisó más de 100 observaciones de esta evidencia experimental y encontró que la tasa de infección en el componente más susceptible de mezclas binarias era de sólo 25% de la tasa de infección en los lotes puros. La tasa general de infección en las mezclas varietales se aproximó a la tasa del componente de resistencia del monocultivo. Igualmente encontró que generalmente las mezclas son más efectivas que las multilíneas debido a su mayor nivel de heterogeneidad genética.

Otro argumento que apoya las propiedades adaptativas de la resistencia múltiple es su prevalencia en las poblaciones de plantas silvestres. Burdon (1987) revisó la evidencia de ocho especies herbáceas y arbóreas de bosque, así como los géneros *Avena*, *Glycine* y *Trifolium*, y encontró que las poblaciones de plantas no cultivadas generalmente son polimórficas en su respuesta a los patógenos. En un sistema silvestre de *Linum marginale* y *Melampsora lini*, las poblaciones de plantas naturales más resistentes albergan las poblaciones de roya más virulentas (Thrall y Burdon 2003). Sin embargo, en este sistema generalmente la enfermedad prevalece menos en las poblaciones hospederas con mayor diversidad genética de la resistencia. Thinlay et al., 2000b hicieron observaciones muy similares para los cultivares nativos de arroz y la pircularia.

La competencia y la compensación son las interacciones más importantes que ocurren entre los genotipos de poblaciones de plantas, y ambas influyen en el rendimiento y en la estabilidad del rendimiento. Cuando la enfermedad está ausente, las mezclas tienden a tener rendimientos cercanos a la media de sus componentes y en general sus promedios son un poco más altos que la media (Finckh y Wolfe 1997). El aumento en el rendimiento de las mezclas de genotipos puede surgir en parte de la diferenciación de nichos entre sus componentes (Finckh y Mundt 1992). La alelopatía y los sinergismos de origen desconocido también podrían estar desempeñando un papel.

Los niveles de enfermedad en las mezclas casi siempre son más bajos que el nivel promedio de sus componentes (Burdon 1987; Burdon y Jarosz 1989). Cuando la enfermedad está presente, las mezclas de cultivares generalmente tienen un rendimiento mayor que la media de los componentes cultivados solos (Finckh y Wolfe 1997). Aunque en los monocultivos es clara la correlación entre la severidad de la enfermedad y el rendimiento, no siempre lo es en las mezclas (Finckh et al. 1999). Esto se explica porque la correlación entre la severidad de la enfermedad y el rendimiento de las plantas individuales que componen la mezcla generalmente es baja. Una razón importante para esta poca correlación es el efecto de la enfermedad en las interacciones competitivas entre cultivares (Finckh y Mundt 1992; Finckh et al. 1999).

### *Fitomejoramiento*

Debido al valor que tienen los genes de resistencia para un programa de fitomejoramiento, muchos investigadores han revisado las muestras de los bancos de germoplasma de cultivares nativos y parientes silvestres, así como de muestras recién colectadas en el campo. Al interpretar los resultados de estos estudios, es importante tener en cuenta cuando se colectaron originalmente las muestras y que patotipos se utilizaron para evaluar la resistencia (Teshome et al. 2001). El factor temporal es importante porque las poblaciones del patógeno y del hospedero cambian en el campo a través del tiempo. La comparación entre colecciones hechas en diferentes momentos puede arrojar una diversidad en la respuesta engañosa acerca del nivel de diversidad que pudiera haber en cualquier momento. Aunque el uso de patotipos no locales es relevante para determinadas metas del fitomejoramiento cuando se evalúa la respuesta de resistencia en los cultivares nativos, la información de este tipo puede no ser útil para el estudio de los procesos coevolutivos en condiciones in situ.

Puesto que las razas nativas generalmente son diversas en términos de resistencia, también es importante usar muestras lo suficientemente grandes para seleccionar contra múltiples razas de patógenos. Frecuentemente, sólo una determinada fracción de la raza nativa es portadora de resistencia genética (Thinlay et al.. 2000b). Además, aún en los cultivos predominantemente autógamos se presentan ciertos grados de exogamia cuando se les mantiene como diversos cultivares nativos y por tanto pueden estar segregando y presentar cambios en la resistencia a través del tiempo (Finckh 2003).

El uso de los mejoradores de la resistencia en los cultivares nativos generalmente empieza con la selección del germoplasma. Por ejemplo, Negassa (1987) evaluó la respuesta de las razas nativas etíopes de trigo a la roya anaranjada o de la hoja (causada por *Puccinia recondita*) y encontró resistencia moderada a un aislado que era virulento en seis genes. Posteriormente Dyck y Sykes (1995) examinaron si dicha resistencia se podía transferir en un programa de fitomejoramiento de trigo. En los ensayos donde se utilizaron cruces y retrocruces, se demostró que se podía utilizar la resistencia del trigo etíope y hexaploide a la roya de la hoja y a la roya negra o del tallo (causada por *P. graminis* f. sp. *tritici*).

Alemayehu y Parlevliet (1996) encontraron en cultivares nativos de cebada de Etiopía una ausencia casi total de resistencia importante, específica rasadle cultivar, y una alta frecuencia de niveles moderados de resistencia parcial a *Puccinia hordei*. La obtención de resistencias cuantitativas, parciales o de múltiples genes tiene sus dificultades para los programas modernos de fitomejoramiento, los cuales a veces se apoyan en marcadores ligados a los genes. Alternativamente, son alentadores los esfuerzos dispersos en esquemas participativos con agricultores realizando selección en sus campos, como se reporta en el Recuadro 11.5.

Cuando la base genética de la resistencia es compleja, esta se puede manejar de maneras diferentes al fitomejoramiento del pedigrí. Desde que se reconoció que los patógenos eran “enemigos cambiantes” (Stakman 1947), muchos fitomejoradores han abogado por el uso de la diversidad genética de la resistencia para enfrentar, si no prevenir, las poblaciones de patógenos en evolución (por ejemplo, el enfoque de “fitomejoramiento evolutivo” de Suneson 1956; Le Boulc’h et al.. 1994). Entre otros conceptos del fitomejoramiento, la selección de poblaciones, los cruces compuestos, los top crosses y la multilíneas todos hacen uso de la diversidad dentro del cultivo (Finckh y Wolfe 1997).

**Recuadro 11.5** Respuesta de las variedades locales a la selección participativa recurrente en Marruecos

En Marruecos, el mejoramiento del germoplasma con base en la selección recurrente ha resultado ser un enfoque eficiente para mejorar las poblaciones de habas, especialmente en sus características (Sadiki et al., 2000). Esta estrategia es interesante como método de fitomejoramiento participativo del germoplasma local de haba. Se completaron tres ciclos de selección de diversas características de una familia de medios hermanos, entre ellas los componentes de rendimiento y de resistencia a *Botrytis fabae* en una amplia población de base desarrollada a partir de variedades locales, que había sido infestada por vía natural (Sadiki et al., 2000). La evaluación de la respuesta a la selección mostró que se lograron ganancias significativas en términos de rendimiento y que la resistencia a *Botrytis* mejoró en un 54%. El primer ciclo obtuvo la mayor respuesta a la selección en todas las características. Este enfoque demuestra que los agricultores locales pueden mejorar sus variedades localmente al aumentar la frecuencia de los genotipos resistentes a la enfermedad que combinan genes de resistencia. No obstante, las poblaciones mejoradas aún son bastante diversas en cuanto a las características visibles y a la reacción a la enfermedad. Las poblaciones mejoradas se seleccionan bajo la presión de las poblaciones locales del patógeno.

### Papel de los agricultores en la coevolución de la diversidad genética

Los agricultores manipulan la composición genética de sus cultivos y el ambiente biótico y abiótico dentro y alrededor de sus campos de cultivo, creando presiones específicas de selección en los sistemas agrícolas. Sobresalen cuatro tipos de manejo genético.

#### *Selección de la diversidad genética de los cultivos*

La selección que hacen los agricultores de su material de siembra tiene un efecto importante en las poblaciones de patógenos. Los cultivos difieren dependiendo del grado en que los criterios de selección de la semilla por parte de los agricultores incluyan explícita o eficazmente la anulación del daño por patógenos. Para muchos cultivos (como el de haba por ejemplo, Recuadro 11.2; el banano, Recuadro 11.3; el frijol común, Recuadro 11.4), los criterios de respuesta a las enfermedades clasifican entre los más importantes en las decisiones de los agricultores. En otros cultivos que no presentan síntomas obvios de enfermedad, la selección de resistencia es indirecta, a través de la selección pragmática de rendimiento.

Los efectos de la selección de semilla que hacen los agricultores dependen del acceso que tengan a las fuentes genéticas y de contar con un historial de cultivo en la región. La siembra de cultivares nativos en regiones donde la especie fue domesticada le permite interactuar con sus progenitores y parientes silvestres, junto con las malezas y las plagas, patógenos y organismos benéficos compartidos.

Por otro lado, los cultivos que han atravesado continentes y han sido separados de su lugar de origen pueden retener menos diversidad genética y mostrar una variedad de relaciones con sus plagas. Los resultados de cualquier situación en particular son difíciles de predecir. Con la excepción de las limitaciones impuestas por las plagas con las que han coevolucionado, la mayoría de los cultivos logra prosperar. En algunos casos, los cultivos han desarrollado resistencia fuera de su centro de domesticación (como *Vicia faba*), supuestamente con la participación de los agricultores en la selección.

#### *Tamaño y ubicación de la parcela*

La ubicación de la parcela afecta la interacción entre las especies cultivadas con las poblaciones de las parcelas de otros agricultores y con los huéspedes alternativos silvestres en la vegetación circundante. Las parcelas pequeñas y aisladas tienen más probabilidad de divergir una de otra que las parcelas más grandes, de tal manera que en muchos sistemas tradicionales, las parcelas pequeñas se convierten en mosaicos de diversidad que pueden reducir las probabilidades de una epidemia a gran escala. El flujo de genes entre poblaciones tanto de hospederos como de patógenos hacia las parcelas circundantes es más factible. Las poblaciones naturales de parientes silvestres pueden apoyar la evolución de los patógenos y el potencial de los patógenos de superar la resistencia (Allen et al., 1999). Un ejemplo extremo es el movimiento de cepas virulentas de roya desde los parientes silvestres del trigo en los Himalayas hacia el trigo cultivado en India y Pakistán, provocando epidemias en estos cultivos (Joshi 1986).

#### *Distribución espacial dentro de la parcela de la diversidad genética del cultivo*

Los agricultores pueden sembrar sus cultivos como monocultivos varietales o como mezclas de una especie y también pueden usar diversos patrones de cultivos asociados. Cada una de estas estrategias afecta la distribu-

ción y el nivel de las interacciones entre hospederos y patógenos, como se discutió anteriormente.

### *Variables temporales*

La temperatura y la pluviosidad en relación con las estaciones para la siembra y la cosecha afectan las interacciones entre las plantas y los patógenos. Las prácticas de los agricultores como el barbecho, la rotación, el ajuste de la fecha de siembra, el uso de cultivares de diferente duración, el uso de cultivos trampa y el uso temporal de determinadas resistencias pueden sacar provecho de las estaciones para el manejo de las plagas (Thurston 1992).

La rotación de cultivos es fundamental para mejorar la salud del cultivo de muchas maneras (Finckh 2003). Estas se pueden dividir en efectos de tiempo para sobrevivir los propágulos de los patógenos residuales en el suelo o en los residuos de la cosecha, los efectos indirectos a través de la actividad microbiana del suelo y los efectos directos de supresión que ejercen determinados cultivos en ciertos patógenos. Aunque se requiere la presencia de un patógeno para causar una enfermedad, no se requiere necesariamente la ausencia de un patógeno para tener un cultivo saludable. De hecho, el equilibrio entre organismos benéficos y perjudiciales generalmente determina el resultado.

No obstante, como lo ha demostrado este capítulo, es indispensable complementar y extender dichas estrategias integradas de manejo de plagas, como las rotaciones, usando y manejando la diversidad intraespecífica (cultivares) de los cultivos locales como una fuente clave. Para los agricultores de escasos recursos en los países en desarrollo, la diversidad local del cultivo y su manejo puede ser uno de los pocos recursos y opciones disponibles para combatir la presión por plagas y enfermedades. Por tanto los beneficios de la biodiversidad que se acumularán con la aplicación de este enfoque, además de la conservación de la agrobiodiversidad, incluirán un menor daño al medio ambiente, y la conservación de los insectos, los hongos, los microorganismos del suelo y la biodiversidad acuática de los ecosistemas adyacentes.

### Discusión y desafíos para la investigación

Aunque se sabe que la diversidad genética de los cultivos se puede usar para reducir la presión de las plagas y enfermedades, también se sabe que

este enfoque no es apropiado en todas las circunstancias. El reto es desarrollar criterios que determinen cuando y donde puede la diversidad desempeñar un papel o cuando y donde lo está desempeñando en el manejo de las presiones por plagas y enfermedades. Estos criterios serán la base de las herramientas y los procedimientos para la toma de decisiones por parte de agricultores y extensionistas para la adopción apropiada de estrategias que enriquezcan la diversidad en el manejo de las plagas y las enfermedades.

Las preguntas clave para que la investigación produzca estas directrices en el uso de la diversidad genética de los cultivos son las siguientes:

- Diversidad en la resistencia del hospedero: entre y dentro de los cultivares tradicionales de los cultivos ¿qué variación genética de resistencia existe contra las poblaciones de patógenos que albergan?
- Diversidad y resistencia en el campo: la diversidad en la resistencia de un cultivo ¿reduce efectivamente la presión de y la vulnerabilidad a las plagas y enfermedades, por lo menos a corto plazo?
- Diversidad de biotipos: ¿Cómo varía la estructura de la población de los patógenos a través de los sistemas y en el espacio?

Las respuestas a estas preguntas se basarán en los datos colectados para caracterizar huéspedes, plagas, patógenos y ambientes circundantes a partir de mediciones realizadas directamente en el campo, junto con la información proporcionada por los agricultores.

En general, el desarrollo de la enfermedad en las poblaciones de plantas y la coevolución de la resistencia y la virulencia es el resultado de la interacción entre tres factores: el hospedante, la plaga o patógeno y el ambiente, lo cual se ha representado como el triángulo de la enfermedad (Burdon 1987). La coevolución del hospedero y el patógeno en los sistemas de cultivo tradicionales también se puede visualizar como un triángulo en común con las comunidades naturales o los cruces compuestos. Sin embargo, para las razas nativas en los sistemas tradicionales, es importante incluir a los agricultores en este modelo por su papel crucial en la selección (Finckh y Wolfe 1997).

## Conclusiones

La comprensión de las fuerzas interconectadas existentes entre agricultores, sus cultivos, el medio ambiente y las especies de hospederos y plagas en los agroecosistemas es la clave para desarrollar mecanismos efectivos

para combatir las enfermedades con base en el mantenimiento y el manejo óptimos de la diversidad genética de los cultivos en ambientes altamente variables. Los agricultores de escasos recursos dependen de la diversidad de los cultivares de los cultivos locales para manejar todos los factores que reducen el rendimiento. El desarrollo de estrategias alternativas para suplir sus necesidades, como las variedades homogéneas avanzadas que combinan diferentes resistencias (“fitomejoramiento piramidal”), es costoso. Es poco probable que se adapten a ambientes marginales o muy variables. Inevitablemente, será necesario reemplazar estas variedades a medida que surjan nuevas enfermedades o patotipos para atacarlas. La mayoría de los países en desarrollo no pueden financiar dicho fitomejoramiento de mantenimiento continuo. El sector público se está reduciendo, los ambientes son muy variables y el clima es óptimo para la mayoría de los patógenos. Por tanto, es esencial mantener y usar de manera óptima en fincas la diversidad de la resistencia para garantizar la producción actual y las futuras opciones para los agricultores.

Los casos de uso inapropiado no descartan este principio fundamental. La diversidad no es un riesgo en sí misma, tampoco es un beneficio por definición. Por el contrario, la tarea es determinar los parámetros genéticos, ambientales y agronómicos claves que determinarán si los agricultores se beneficiarán del uso de la diversidad y si se reducirá la vulnerabilidad de sus cultivos a las plagas y las enfermedades.

## Agradecimientos

Los autores quisieran agradecer al Fondo Mundial para el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, y a los gobiernos de Suiza (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación) y Alemania (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit/Agencia Alemana para la Cooperación Técnica) por su apoyo económico para realizar algunos de los estudios descritos en este capítulo.

## Notas

1. Por simplicidad, no hemos incluido las especies múltiples como una estrategia estricta de diversidad porque una especie que sea parte de un sistema de múltiples cultivos puede ser genéticamente homogénea y ser hospedera de una enfermedad completamente diferente y sin embargo ser inmune a otras que afectan a otro de los com-

ponentes. Los beneficios de la resistencia de este tipo de estrategia surgen de los efectos físicos (como por ejemplo, el atrapar esporas, la densidad del hospedero) y no de los efectos genéticos (como por ejemplo, la resistencia diferencial).

2. El término *monocultivo* generalmente se refiere al uso continuo de una sola especie de cultivo en un área grande. Para el patólogo, sin embargo, el término *monocultivo* por sí solo es inadecuado porque puede hacer referencia a nivel de la especie, la variedad o el gen. Si todas las variedades disponibles dentro de una especie poseen el mismo gen de resistencia, entonces el sistema es efectivamente un monocultivo del gen de resistencia (Finckh y Wolfe 1997).

3. La vulnerabilidad genética se define como “la condición resultante cuando un cultivo ampliamente sembrado es uniformemente susceptible al riesgo generado por una plaga, un patógeno o una situación ambiental como resultado de su constitución genética, generando así el potencial de que se presenten grandes pérdidas” (FAO 1998). Esta vulnerabilidad refleja el potencial de daño y no el daño real.

## Referencias

- Alemayehu, F. y J. E. Parlevliet. 1996. Variation for resistance to *Puccinia hordei* in Ethiopian barley landraces. *Euphytica* 90:365-370.
- Allard, R. W. 1990. The genetics of host-pathogen coevolution: Implications for genetic resource conservation. *Journal of Heredity* 81:1-6.
- Allen, D. J., J. M. Lenne y J. M. Walker. 1999. Pathogen biodiversity: Its nature, characterization and consequences. En D. Wood y J. Lenne, eds., *Agrobiodiversity. Characterization, Utilization and Management*, 123-153. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Bouhassan, A., M. Sadiki y B. Tivoli. 2003a. Evaluation of a collection of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes originating from the Maghreb for resistance to chocolate spot (*Botrytis fabae*) by assessment in the field and laboratory. *Euphytica* 135:55-62.
- Bouhassan, A., M. Sadiki, B. Tivoli y N. El Khiati. 2003b. Analysis by detached leaf assay of components of partial resistance of faba bean (*Vicia faba* L.) to chocolate spot caused by *Botrytis fabae* Sard. *Phytopathologia Mediterranea* 42:183-190.
- Brown, A. H. D. 1999. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farm. En S. Brush, ed., *Genes in the Field: On Farm Conservation of Crop Diversity*, 29-48. Boca Ratón, FL: Lewis Publishers.
- Browning, J. A. 1997. A unifying theory of the genetic protection of crop plant populations from diseases. En I. Wahl, G. Fischbeck y J. A. Browning, eds., *Disease Resistance from Crop Progenitors and Other Wild Relatives*. Berlin: Springer Verlag.
- Buddenhagen, I. W. 1983. Breeding strategies for stress and disease resistance in developing countries. *Annual Review of Phytopathology* 21:385-409.
- Burdon, J. J. 1987. *Diseases and Plant Population Biology*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

- Burdon, J. J. y A. M. Jarosz. 1989. Disease in mixed cultivars, composites, and natural plant populations: Some epidemiological and evolutionary consequences. En A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kahler y B. S. Weir, eds., *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, 215–228. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Calonnec, A., H. Goyeau y C. de Vallavieille-Pope. 1996. Effects of induced resistance on infection efficiency and sporulation of *Puccinia striiformis* on seedlings in varietal mixtures and on field epidemics in pure stands. *European Journal of Plant Pathology* 102:733–741.
- Chin, K. M. y M. S. Wolfe. 1984. The spread of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* in mixtures of barley varieties. *Plant Pathology* 33:89–100.
- Compagnon, P. 1998. *El caucho natural*, *Biología-Cultivo-Producción*, 142–1559. París: Consejo Mexicano del Hule, CIRAD.
- Damania, A., B. L. Pecetti, C. O. Qualset y B. O. Humeid. 1997. Diversity and geographic distribution of stem solidness and environmental stress tolerance in a collection of durum wheat landraces from Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44:101–108.
- Dileone, J. A. y C. C. Mundt. 1994. Effect of wheat cultivar mixtures on populations of *Puccinia striiformis* races. *Plant Pathology* 43:917–930.
- Dyck, P. L. y E. E. Sykes. 1995. Inheritance of stem rust and leaf rust resistance in some Ethiopian wheat collections. *Euphytica* 81:291–297.
- Falconi, E., J. B. Ochoa, E. Peralta y D. Daniel. 2003. *Virulence Pattern of Colletotrichum lindemuthianum in Common Bean in Ecuador*. Bean Improvement Cooperative (BIC). East Lansing: Michigan State University.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. *The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: FAO.
- Finckh, M. R. 2003. Ecological benefits of diversification. En T. W. Mew, D. S. Brar, S. Peng, D. Dawe y B. Hardy, eds., *Rice Science: Innovations and Impact for Livelihood*, Proceedings of the International Rice Research Conference, Septiembre 16–19, 2002, 549–564. Beijing: International Rice Research Institute, Chinese Academy of Engineering and Chinese Academy of Agricultural Sciences.
- Finckh, M. R., E. S. Gacek, H. J. Czembor y M. S. Wolfe. 1999. Host frequency and density effects on disease and yield in mixtures of barley. *Plant Pathology* 48:807–816.
- Finckh, M. R., E. S. Gacek, H. J. Nadziak y M. S. Wolfe. 1998. Suitability of cereal cultivar mixtures for disease reduction and improved yield stability in sustainable agriculture. *Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry* 1:571–576.
- Finckh, M. y C. Mundt. 1992. Plant competition and disease in genetically diverse wheat populations. *Oecologia* 91:82–92.

- Finckh, M. y M. S. Wolfe. 1997. The use of biodiversity to restrict plant diseases and some consequences for farmers and society. En L. E. Jackson, ed., *Ecology in Agriculture*, 203–237. San Diego, CA: Academic Press.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown y J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Hanounik, S. B. y L. D. Robertson. 1987. New sources of resistance in *Vicia faba* L. to chocolate spot caused by *Botrytis faba*. *Plant Disease* 72:696–698.
- Harlan, J. R. 1977. Sources of genetic defense. *Annals of New York Academy of Sciences* 287:345–356.
- INIAP. 1974. *Annual Report*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito, Ecuador: Departamento de Fitopatología.
- Joshi, L. M. 1986. Perpetuation and dissemination of wheat rusts in India. En L. Joshi, D. Singh, y K. D. Srivastava, eds., *Problems and Progress of Wheat Pathology*. New Delhi: South Asia Malhorta Press.
- Karamura, D. A. 1999. *Numerical Taxonomic Studies of the East African Highland Bananas (Musa AAA–East Africa) in Uganda*. PhD thesis, University of Reading, Reino Unido.
- Karamura, D. A., S. Mgenzi, E. Karamura y S. Sharrock. 2003. Exploiting indigenous knowledge for the management and maintenance of *Musa diversity*. *African Crop Science Journal* 12:67–74.
- Karamura, E., E. Frison, D. Karamura y S. Sharrock. 1999. Banana production systems in Eastern and Southern Africa. En C. Picq, E. Foure y E. Frison, eds., *Bananas and Food Security*, 401–412. International Symposium, Noviembre 10–14, 1998, Cameroon. Montpellier, Francia: INIBAP.
- Karamura, E. B. y D. A. Karamura. 1995. Banana morphology. Part II. The aerial shoot: En S. Gowen, ed., *Bananas and Plantains*, 190–205. Londres: Chapman & Hall.
- Kennedy, D. y M. Lucks. 1999. Rubber, blight, and mosquitoes: Biogeography meets the global economy. *Environmental History* 4:369–383.
- Kharrat, M., M. Sadiki, R. Esnault, B. Tivoli, A. Porta Puglia y M. R. Hajlaoui. 2002. *Identification of Sources of Resistance to Ascochyta Blight in Faba Bean*. Grain Legumes in the Mediterranean Agriculture (Legumed). París: AEP.
- Kolmer, J. A., P. L. Dyck y A. P. Roelfs. 1991. An appraisal of stem rust resistance in North American hard red spring wheats and the probability of multiple mutations to virulence in populations of cereal rust fungi. *Phytopathology* 81:237–239.
- Lannou, C. y C. C. Mundt. 1996. Evolution of a pathogen population in host mixtures: Simple race–complex race competition. *Plant Pathology* 45:440–453.
- Lannou, C., C. de Vallavieille-Pope y H. Goyeau. 1994. Induced resistance in host mixtures and its effect on disease control in computer-simulated epidemics. *Plant Pathology* 44:478–489.

- Le Boulc'h, V., J. L. David, P. Brabant y C. de Vallavieille-Pope. 1994. Dynamic conservation of variability: Responses of wheat populations to different selective forces including powdery mildew. *Genetics Selection Evolution* 26:221-240.
- Leppik, E. E. 1970. Gene centers of plants as a source of disease resistance. *Annual Review of Phytopathology* 8:323-344.
- Marshall, D. R. 1977. The advantages and hazards of genetic homogeneity. En P. Day, ed., *The genetic basis of epidemics in agriculture. Annals of the New York Academy of Sciences* 287:1-20.
- McDonald, B. A., J. M. McDermott, S. B. Goodwin y R. W. Allard. 1989. The population biology of host-parasite interactions. *Annual Review of Plant Pathology* 27:77-94.
- Moreno-Ruiz, G. y J. Castillo-Zapata. 1990. The variety Colombia: A variety of coffee with resistance to rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), CENICAFE Chinchiná-Caldas. *Colombia Boletín Técnico* 9:1-27.
- Mundt, C. C. 1990. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids. *Phytopathology* 80:221-223.
- Mundt, C. C. 1991. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids: Further comments. *Phytopathology* 81:240-242.
- Negassa, M. 1987. Possible new genes for resistance to powdery mildew, Septoria, glume blotch and leaf rust of wheat. *Plant Breeding* 98:37-46.
- Ochoa, J., H. D. Frinking y T. H. Jacobs. 1999. Postulation of virulence groups and resistance factors in the quinoa/downy mildew pathosystem using material from Ecuador. *Plant Pathology* 48:425-430.
- Ochoa, J., J. Lowers y L. Broers. 1998. Analysis of virulence and evolution of the Ecuadorian population of stripe rust in wheat. *Fitopatología* 33:160-164.
- Ochoa, L. B., E. Cruz y D. Daniel. 2002. *Physiological Variation of Bean Rust in Ecuador*. Bean Improvement Cooperative (BIC). East Lansing: Michigan State University.
- Oerke, E. C., H. W. Dehne, F. Schönbeck y A. Weber. 1994. *Crop Production and Crop Protection, Estimated Losses in Major Food and Cash Crops*. Amsterdam: Elsevier.
- Oldfield, M. L. 1989. *The Value of Conserving Genetic Resources*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Otim-Nape, G. W. y J. M. Thresh. 1998. The current pandemic of cassava mosaic virus disease in Uganda. En D. G. Jones, ed., *The Epidemiology of Plant Diseases*, 423-443. Dordrecht, Países Bajos: Kluwer.
- Pyndji, M. M. y P. Trutmann. 1992. Managing angular leaf spot development on common bean in Africa by supplementing farmer mixtures with resistant varieties. *Plant Disease* 76:1144-1147.
- Qualset, C. O. 1975. Sampling germplasm in a center of diversity: An example of disease resistance in Ethiopian barley. En O. H. Frankel y J. G. Hawkes, eds., *Crop*

- Genetics Resources for Today and Tomorrow*, 81–96. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Rivano, F. 1997. South American leaf blight of Hevea. 1. Viability of *Microcyclus ulei* pathogenicity. *Plantations, Recherche, Développement* 4:104–114.
- Sadiki, M., L. Belqadi, S. Mehdi y A. El Alami. 2000. Sélection de la fève pour la résistance polygénique aux maladies par voies d'amélioration des populations. *Petria* 10:203–262.
- Schumann, G. L. 1991. *Plant Diseases: Their Biology and Social Impact*. St. Paul, MN: APS Press.
- Stakman, E. C. 1947. Plant diseases are shifting enemies. *American Scientist* 35:321–350.
- Subrahmanyam, P., V. Ramanatha Rao, D. McDonald, J. P. Moss y R. Gibbons. 1989. Origins of resistances to rust and late leaf spot in peanut (*Arachis hypogea*, Fabaceae). *Economic Botany* 43:444–455.
- Suneson, C. A. 1956. An evolutionary plant breeding method. *Agronomy Journal* 48:188–191.
- Teshome, A., A. H. D. Brown y T. Hodgkin. 2001. Diversity in landraces of cereals and legume crops. *Plant Breeding Reviews* 21:221–260.
- Thinlay, X. 1998. *Rice Blast, Caused by Magnaporthe grisea, in Bhutan and Development of Strategies for Resistance Breeding and Management*. Dissertation eth No. 12777. Zürich: Swiss Federal Institute of Technology.
- Thinlay, X., M. R. Finckh, A. C. Bordeos y R. S. Zeigler. 2000a. Effects and possible causes of an unprecedented rice blast epidemic on the traditional farming system of Bhutan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:237–248.
- Thinlay, X., R. S. Zeigler y M. R. Finckh. 2000b. Pathogenic variability of *Pyricularia grisea* from the high-and mid-elevation zones of Bhutan. *Phytopathology* 90:621–628.
- Thrall, P. H. y J. J. Burdon. 2003. Evolution of virulence in a plant host–pathogen metapopulation. *Science* 299:1735–1737.
- Thurston, H. D. 1992. *Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Systems*. Boulder, CO: Westview Press.
- Trutmann, P., J. Fairhead y J. Voss. 1993. Management of common bean diseases by farmers in the Central African highlands. *International Journal of Pest Management* 39:334–342.
- Trutmann, P. y M. M. Pyndji. 1994. Partial replacement of local common bean mixtures by high yielding angular leaf spot resistant varieties to conserve local genetic diversity while increasing yield. *Annals of Applied Biology* 125:45–52.
- Trutmann, P., J. Voss y J. Fairhead. 1996. Indigenous knowledge and farmer perception of common bean diseases in the central African highlands. *Agriculture and Human Values* 13:64–70.

- Tushemereirwe, W. K. 1996. *Factors Influencing the Expression of Leaf Spot Diseases of Highland Bananas in Uganda*. PhD thesis, University of Reading, Reino Unido.
- Ullstrup, A. J. 1972. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970–1971. *Annual Review of Phytopathology* 10:37–50.
- Voss, J. 1992. Conserving and increasing on-farm genetic diversity: Farmer management of varietal bean mixtures in Central Africa. En J. Lewinger Mook y R. E. Rhoades, eds., *Diversity, Farmer Knowledge, and Sustainability*, 34–51. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Wolfe, M. S. 1985. The current status and prospects of multilane and variety mixtures. *Annual Review of Phytopathology* 23:251–273.
- Wolfe, M. S. y M. R. Finckh. 1997. Diversity of host resistance within the crop: Effects on host, pathogen and disease. En H. Hartleb, R. Heitefuss y H. H. Hoppe, eds., *Plant Resistance to Fungal Diseases*, 378–400. Jena, Alemania: Fischer Verlag.
- Zhu, Y., H. Chen, J. Fan, Y. Wang, Y. Li, J. Chen, J. Fan, S. Yang, L. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. Wang y C. C. Mundt. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718–722.

## 12 Diversificación varietal de los cultivos para el control de enfermedades

---

Y. Y. ZHU, Y. Y. WANG y J. H. ZHOU

En China, las prácticas de la agricultura moderna, con un alto uso de insumos y rendimientos también altos, han desempeñado un rol de máxima importancia al aumentar la productividad del cultivo de arroz para satisfacer la creciente demanda de alimentos y han contribuido significativamente a la seguridad alimentaria del país (Lu 1996a, 1996b).

Esta intensidad agrícola, sin embargo, que normalmente utiliza unas pocas variedades de alto rendimiento en extensas áreas sembradas de arroz, y la aplicación durante muchos años de cantidades excesivas de fertilizantes y plaguicidas químicos han deteriorado severamente los sistemas ecológicos de los arrozales, resultando en ambientes de producción agrícola vulnerables. Como resultado, los brotes de enfermedades se han vuelto más comunes y la evolución de los patógenos más rápida. Los ciclos de las epidemias y los brotes de enfermedades también se han vuelto más frecuentes (Shigehisa 1982; Bonman et al. 1992; Dai et al. 1997; Zhu et al. 2000a, 2000b). Todos estos factores han resultado en una reducción significativa de los rendimientos de este cultivo.

La piricularia del arroz, causada por *Pyricularia oryzae* Sacc. (teleomorfo *Magnaporthe grisea* Barr.), es una de las enfermedades epidémicas que han reducido la producción de arroz en la Provincia de Yunnan, en el suroeste de China. El uso de altos niveles de fertilizantes y plaguicidas químicos no ha logrado controlar efectivamente la piricularia. Por el contrario, ha resultado en el deterioro de los ecosistemas de arroz y ha limitado el aumento de la productividad del cultivo. Este capítulo discute el uso de la biodiversidad para controlar la piricularia, la adopción de la práctica de sembrar diferentes variedades de arroz (Recuadro 12.1) y los estudios de

### Recuadro 12.1 Siembra de mezclas varietales en China

Cuando las variedades tradicionales de arroz glutinoso, susceptibles a la piricularia, se sembraron intercaladas con híbridos modernos y resistentes de arroz, la incidencia de la enfermedad entre las variedades susceptibles se redujo hasta en un 94%. Los rendimientos del arroz glutinoso por unidad de área en las fincas que usaban las mezclas fueron 84% más altos que los de las fincas en monocultivo, y el rendimiento del arroz híbrido en las mezclas se redujo solamente en 1% (Zhu et al. 2000a), lo cual resultó en un aumento en los ingresos de los agricultores. La simplicidad y la efectividad de este enfoque atrajeron la participación activa de los agricultores. Las hileras alternadas de variedades de arroz bajo y arroz alto se ha convertido en una característica prominente de muchos arrozales de Yunnan y de otras provincias de China, con la rápida expansión del uso de esta estrategia de diversificación. Como resultado, el paisaje rural ha cambiado bastante. Desde 1998 hasta 2002, el área sembrada con mezclas en China ha aumentado. A medida que aumentaba el área intercalada, también aumentaba la cantidad de variedades usadas en las mezclas. Los agricultores empezaron a intercalar las variedades modernas de arroz con otras tradicionales de alta calidad, pero susceptibles a la piricularia y lograron ganancias promedio de 0.5 a 1.0 ton/ha. La rápida adopción del esquema de diversificación se le puede atribuir a una campaña sistemática de extensión con la participación de empleados públicos de condados y aldeas, investigadores y extensionistas. La red de extensión aseguraba que los agricultores recibieran capacitación y que hubiera cantidades suficientes de semilla durante el ciclo de siembra. Las ganancias obtenidas (los ingresos promedio aumentaron en US\$150/ha por agricultor) y las preferencias de los agricultores por ciertas variedades de alta calidad para el consumo sostuvieron la expansión. El sistema de producción también era relevante para la conservación genética en fincas de las variedades tradicionales de alta calidad, las cuales se habían dejado de cultivar durante más de 40 años debido a su susceptibilidad a la enfermedad, pero ahora se han vuelto a sembrar.

El concepto de diversificación se ha extendido a otros cultivos importantes para el control de plagas y enfermedades en Yunnan, especialmente en trigo (*Triticum aestivum*), cebada (*Hordeum vulgare*) y haba (*Vicia faba*). En un sistema de cultivo de arroz y trigo de Yunnan, se sembró trigo y haba durante el invierno en más de 250,000 ha. La roya amarilla del trigo, causada por *Puccinia striiformis*, es una de las principales enfermedades y ocasiona pérdidas de rendimiento de hasta el 20%. El haba es un cultivo comercial importante que se siembra en la misma estación que el trigo, pero cuyo rendimiento disminuye frecuentemente debido a daños serios en hojas y tallos causados por la mosca del frijol (*Ophiomyia phaseoli*). Se intercalaron el trigo y el haba y el resultado fue una reducción del 24% en la incidencia de la roya amarilla del trigo en cinco localidades de Yunnan. El daño causado por la mosca del frijol también disminuyó. El cultivo intercalado mantuvo los mismos rendimientos del trigo en monocultivo, pero los rendimientos del haba aumentaron. A fines de 2002,

*El Recuadro 12.1, continúa en la página siguiente*

*Recuadro 12.1, continuación*

el área sembrada con mezclas de diferentes especies de cultivos (trigo y habas, cebada y habas, colza y habas, papas y maíz, y maíz y maní) en Yunnan había aumentado.

Aunque no se sabe exactamente cuáles son los mecanismos que reducen las plagas y las enfermedades en siembras de mezclas varietales, nuestros datos indican que es posible combinar las variedades modernas de arroz con las tradicionales para lograr una mayor productividad y obtener alimentos de buena calidad, al tiempo que se aumentan los ingresos de la población rural. Al reintroducir las variedades tradicionales a un ecosistema productivo pero al mismo tiempo suficientemente diverso, puede haber armonía entre la conservación in situ y los sistemas de producción. El concepto de diversificación como medio para sostener la productividad se ha difundido en otros países que cultivan arroz. En Filipinas, los ensayos de campo mostraron que las mezclas varietales podían reducir la incidencia de tungro, una enfermedad viral grave en los trópicos. También se están diseñando experimentos de diversificación para controlar la piricularia en el delta del Mekong y en el centro de Vietnam, donde los cultivos comunes ya no son resistentes a la enfermedad. Los resultados positivos de estos diferentes ecosistemas apoyarían aún más la diversificación como una estrategia importante de la agricultura moderna.

diversidad genética del hongo causante de la piricularia (Shigehisa 1982; Staskawicz et al. 1995; Baker y Staskawicz 1997).

#### Diversidad genética de las variedades de arroz en siembras mixtas

La Provincia de Yunnan, ubicada en el suroeste de China es conocida por la riqueza de su biodiversidad y ha sido reconocida como parte del centro de origen del arroz cultivado (*Oryza sativa* L.) (Cheng 1976; Oka 1988; Shi et al. 1999). Yunnan es rica en recursos genéticos de arroz y entre las variedades locales de este cultivo se han identificado nuevos genes de resistencia (Pan et al. 1998).

El análisis de secuencia de 30 genes de resistencia (R) clonados y la secuencia prevista de aminoácidos mostró que los genes R se clasifican en cinco grupos con base en sus características moleculares comunes (Baker y Staskawicz 1997). Dadas las secuencias conocidas y conservadas de los genes, se pueden diseñar los cebadores (o cebadores degenerativos) para aislar los fragmentos de ADN con las secuencias correspondientes al motivo conservado de sus genes R en diferentes especies de plantas. El análisis de

genes análogos de resistencia (RGA, de su nombre en inglés) es un método efectivo para evaluar la diversidad genética e identificar posibles genes de resistencia. El gen análogo de resistencia se ha usado como marcador para caracterizar el germoplasma y las líneas de mejoramiento de arroz (Chen et al. 1998).

Se colectaron 137 variedades de arroz de diferentes regiones ecológicas productoras de arroz en la Provincia de Yunnan. Estas incluían variedades tradicionales e híbridos de los tipos *Índica* y *Japónica*, glutinosas y no glutinosas, y variedades de arroz de secano. Los objetivos del estudio fueron:

- Evaluar la diversidad de las variedades de arroz en la Provincia de Yunnan usando la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, de su nombre en inglés) para el análisis de genes análogos de resistencia (RGA)
- Buscar los marcadores del ADN relacionados con la resistencia a la piricularia
- Proveer una base molecular para el fitomejoramiento del arroz y para el uso eficiente de las variedades locales de este cultivo en cuanto a resistencia a enfermedades.

#### *Amplificación con PCR para el análisis de genes análogos de resistencia*

En este estudio se usaron tres pares de cebadores para genes análogos de resistencia (S1/AS3, XLRRfor/XLRRrev, y Pto-kin1/Pto-kin2; Cuadro 12.1). Las secuencias de los cebadores se diseñaron con base en los motivos conservados de los genes de resistencia Xa21 (LRR), para XLRRfor/XLRRrev, la secuencia codificante de la proteína quinasa del gen Pto para Pto-kin1/Pto-kin2 y el gen N (NBS-LRR) para S1/AS3. Utilizando estos pares de cebadores es posible escanear el ADN genómico para identificar estos tres tipos de secuencias y encontrar fragmentos de genes de resistencia relacionados con los genes NBS-LRR, LRR y Pto. Los procedimientos para la amplificación con PCR, la electroforesis desnaturalizada en gel de poliacrilamida y la tinción con plata se adoptaron de Chen et al. (1998).

#### *Análisis de conglomerado*

Para determinar las relaciones genéticas entre cultivares de arroz, se trataron todas las bandas amplificadas como marcadores genéticos dominantes. Se realizó un análisis de conglomerado con base en datos binarios utilizando el promedio no ponderado del grupo de pares (UPGMA) para la medida de agrupamiento (ligamiento) y el porcentaje de diferencia para la

**Cuadro 12.1.** Polimorfismo de 137 cultivares de arroz con base en la amplificación por PCR de genes análogos de resistencia.

Cebadores	Secuencia 5'-3'	No. de Bandas Amplificadas	Bandas Polimórficas Cantidad	%
SI	GGTGGGGTTGGAAGACAACG	82	48	58.5
AS3	IAGIGCIAGIGGIAGICC			
XLRRfor	CCGTTGGACAGGAAGGAG	41	23	56
XLRRrev	CCCATAGACCGGACTGTT			
Pto- kin1	GCATTGGAACAAGGTGAA	52	28	54
Pto- kin2	AGGGGGACCACCACGTAG			
Total		175	99	57

For = forward (hacia delante)  
Rev = reverse (hacia atrás)

medida de distancia con el método de agrupamiento (dendograma o árbol jerárquico) del programa STATISTICA (versión 4.5).

#### *Polimorfismos del ADN detectados mediante el PCR del RGA*

Los patrones de bandas tipo RGA, producidos por los tres pares de cebadores, revelaron un alto grado de polimorfismo intervarietal. La cantidad total de bandas identificadas entre estas tres variedades de arroz generadas por los tres pares de cebadores varió entre 30 bp y 2 kb; en el Cuadro 12.1 se presenta el valor promedio de sus polimorfismos. Una banda de 350 bp derivada de XLRRfor/XLRRrev resultó ser específica para los cultivares *Japónica*. La diferenciación entre los RGA de los cultivares *Índica* y los *Japónica* probablemente es el resultado de una larga interacción y coevolución del patógeno del arroz en diferentes condiciones ambientales.

#### *Análisis de disimilaridad*

La distribución y evolución de los RGA en el genoma de las plantas refleja parcialmente su resistencia a las enfermedades. Se corrió un análisis de conglomerado con base en los datos de los tres pares de cebadores, utilizando el promedio no ponderado del grupo de pares para la medida de agrupamiento (ligamiento) y el porcentaje de diferencia para la medida

de distancia con el método de agrupamiento (dendograma). En general, se observó abundante polimorfismo de los RGA entre las variedades evaluadas. Se dividieron las variedades en tres progenies, con base en los datos de bandas de los RGA a una disimilitud del 96%. En el primer grupo quedaron las variedades *Japónica* y algunos cultivares nativos. La mayoría de las variedades en el segundo grupo eran *Índica*, junto con algunas variedades *Japónica*, como Xunza 29, Xunza 36, Liming 251, Jingguo 92 y Huangkeno. Se sabe que Xunza 29 y Xunza 36 son híbridos del arroz *Japónica* con el pedigrí *Índica*. La disimilitud entre las variedades tradicionales con los mismos progenitores maternos y paternos varió entre 8% y 70%. Probablemente la selección direccional y la selección estabilizadora durante el fitomejoramiento del arroz causaron esta diferenciación.

Los patrones de bandas del RGA y el dendograma del análisis de conglomerado revelaron un mayor grado de polimorfismo entre variedades de arroz *Índica* que entre los arroces *Índica* y *Japónica*, o del arroz *Japónica*. Esta puede ser una de las razones por las cuales la siembra intercalada o las rotaciones de variedades *Índica* o entre variedades *Índica* y *Japónica* fueron más eficientes en la supresión de la piricularia que entre variedades *Japónica* (Zhu et al. 1999a).

#### Diversidad genética de piricularia en las mezclas varietales

En el Condado de Shiping, en 1999 y 2000 se colectaron en el campo 251 aislados provenientes de monocultivos y de mezclas, y se evaluó su patogenicidad con base en los datos de agrupamiento de ADN (24 aislados de campos con mezclas de variedades, 28 aislados de campos de híbridos en monocultivo y 10 aislados de arroz glutinoso en monocultivo). Se utilizaron dos cebadores (pot2-1:5' CGGAAGCCCTAAAGCTGTTT3' y pot2-2:5' CCCTCATTCGTCACACGTTTC3') en los análisis de diversidad genética.

Se generaron patrones de bandas diferentes al usar los dos cebadores en combinación con condiciones de PCR que favorecían la amplificación de los fragmentos largos. La longitud de las bandas amplificadas varió de 400 bp a más de 23 kb; el 83.7% de las bandas fueron polimórficas. Se construyó un dendograma a partir de los datos de los fingerprints obtenidos mediante PCR basado en el elemento repetitivo Pot2. En 1999 se agruparon los 113 aislados en cuatro progenies genéticas (G1, G2, G3, y G4) a una distancia de 0.65 y en el año 2000 se agruparon los 138 aislados en seis progenies genéticas (G1', G2', G3', G4', G5' y G6') también a una distancia de enlace de 0.65. Cada progenie genética contenía diferentes

patrones de cultivo y de aislados. El G<sub>1</sub> (G<sub>1</sub>') incluía 134 aislados, de los cuales 95 aislados provenían de campos de híbridos en monocultivo y los otros 39 de campos de mezclas de variedades de arroz. El G<sub>2</sub> incluía 11 aislados de campos de arroz glutinoso en monocultivo y 20 aislados de mezclas. El G<sub>3</sub> (G<sub>3</sub>') incluía 25 aislados, de los cuales 7 provenían de campos de arroz glutinoso en monocultivo y 18 de campos de mezclas varietales. El G<sub>4</sub> (G<sub>4</sub>') incluía 57 aislados, de los cuales 55 provenían de monocultivos de arroz glutinoso y sólo 2 de campos intercalados. El G<sub>5</sub>' contenía 2 aislados de campos intercalados y el G<sub>6</sub>' contenía 2 aislados de arroz glutinoso en monocultivo.

Se evidenciaron menos progenies genéticas y más progenies evidentemente dominantes en los campos de monocultivo que en los de mezclas varietales. El G<sub>1</sub> (G<sub>1</sub>') fue la progenie dominante en los campos de híbridos en monocultivo y el G<sub>4</sub> (G<sub>4</sub>') fue la progenie dominante en los monocultivos de arroz glutinoso. No se presentaron cambios importantes en la composición de la progenie genética entre 1999 y 2000. La diversidad de las variedades de arroz generó un ambiente estabilizador para los patógenos.

#### Composición fisiológica de razas aisladas de piricularia de los campos en monocultivo o con mezclas varietales

La reacción de resistencia o susceptibilidad de siete variedades de arroz permitió dividir 62 aislamientos hechos en el año 2000 en razas fisiológicas diferentes. Hubo siete razas pertenecientes a seis grupos (ZB, ZC, ZD, ZE, ZF, y ZG) en campos con mezcla de variedades, cuatro razas pertenecientes a cuatro grupos (ZC, ZD, ZE y ZG) en monocultivos de arroz glutinoso, y diez razas pertenecientes a tres grupos (ZA, AB y ZC) en monocultivos de arroz híbrido. Hubo más grupos en los campos con mezclas que en los campos de monocultivo, lo cual evidencia la selección estabilizadora del patógeno. La frecuencia de la cepa (raza) dominante (ZB13) en los campos de híbridos en monocultivo fue de 50%, y la de la cepa dominante (ZG1) en campos de arroz glutinoso en monocultivo fue de 70%, lo cual resultó en una selección direccional sobre la raza virulenta. Se puede concluir que la diversidad varietal del arroz creó un ambiente que redujo la selección direccional, limitando así la capacidad de un patógeno específico de tornarse más virulento.

## Efecto sobre de la humedad relativa y de la superficie de área sembrada en el rendimiento del arroz

La pérdida de rendimiento causada por piricularia dependió de la variedad, la técnica de cultivo y las condiciones climáticas. Varios estudios sobre los factores climáticos y ecológicos que afectan la piricularia (Kong y Zhou 1989; Yu et al. 1994; He et al. 1998; Ding et al. 2002) han mostrado que la capacidad de esporulación del patógeno y la resistencia de la planta se ven enormemente afectados por factores como la temperatura, la humedad, la lluvia, la niebla, las gotas de rocío y la luz. Cuando la temperatura estuvo por encima de los 20°C, con rocío y niebla en la mañana o en la noche, la piricularia esporuló más rápido (Dong et al. 2001). Los conidios del patógeno no se produjeron a menos que la humedad relativa estuviera por encima del 93%, y entre más húmedo más abundante y rápida era la producción de conidios. El desarrollo de las esporas dependió de la presencia de gotas de agua, con una humedad relativa (HR) crítica de más del 96%. En ausencia de las gotas de agua, cuando la humedad relativa fue 100%, solamente 1,5% de los conidios germinó (Qiu 1975). Xu et al. (1979) reportaron que muchos conidios de hongos germinaban solamente cuando la humedad era cercana a la saturación, aunque ellas habrían germinado mejor en una gota de agua. Yang et al. (2000) infirieron que la capacidad de esporulación del patógeno y su prevalencia eran claramente afectadas por la humedad, y que las esporas podrían germinar fácilmente y volverse infectivas en un ambiente saturado de humedad.

Recientemente, la siembra de mezclas de variedades de arroz para controlar la piricularia se ha extendido a más de 350,000 ha, resultando en beneficios económicos, sociales y ecológicos para las provincias chinas de Yunnan, Sichuan y Hunan (Zhu et al. 2000b). Para estudiar el efecto de factores claves involucrados en el control de la piricularia en mezclas de cultivos, se determinó la humedad relativa del campo y se examinó la presencia de gotas de rocío en un montículo de arroz, lo cual podría proveer una base teórica para el control de la piricularia a través de la siembra de mezclas de variedades.

Para este estudio se aislaron una variedad híbrida de arroz glutinoso de tallo corto (Shanyou63) y dos de tallo largo (Huangkenou y Zinou) (Cuadro 12.2). Las dos variedades de tallo largo tenían fingerprints de genes de resistencia similares (similitud del 91%), aunque hubo una diferencia grande en los fingerprints de los genes de resistencia entre las variedades de arroz glutinoso y los híbridos (similitud del 59%) (Zhu et al. 1999b).

Cuadro 12.2. Variedades de arroz y sus características agronómicas.

Variedad	Tipo	Resistencia a pircularia	Momento de Cosecha (días desde la siembra)	Altura (cm)	Peso de 1,000 semillas (g)	Granos por panícula	Rendimiento (kg/ha)
Shanyou63	Índica	Resistente	158	120	30.3	143	10,250
Huangke-nuo	Glutinoso	Susceptible	168	160	30	205	3,975
Zinuo	Glutinoso	Susceptible	165	155	28	198	3,675

Cuando las variedades de tallo largo de arroz glutinoso crecieron alternadamente con las de tallo corto de arroz híbrido, el área superficial cubierta con gotas de agua en el montículo de arroz fue mucho más pequeña. En el año 2000, en los monocultivos de arroz glutinoso de tallo largo, el área superficial promedio del montículo de arroz cubierto con gotas de agua fue más del doble de la correspondiente a las mezclas. Se obtuvieron resultados similares en el año 2001.

Cuando las variedades glutinosas de tallo largo se mezclaron con los híbridos de tallo corto, la humedad relativa microambiental del campo fue sustancialmente menor tanto en el 2000 como en el 2001 (Cuadro 12.3).

El índice de incidencia y severidad del hongo en las variedades glutinosas disminuyó en los lotes con mezclas de variedades, sin diferencias significativas entre patrones de cultivo (monocultivo o mezclas) para el arroz híbrido Shanyou63 en cuanto al control de la pircularia.

### Contenido de silicio en variedades de arroz

El arroz es un ejemplo típico de las plantas que contienen ácido silícico. El silicio es el mineral más abundante en el arroz, en contenido total y en porcentaje (Chen et al. 1998; Chen 1990). El silicio es importante en las células porque las endurece y dificulta que los patógenos las puedan penetrar. La falta de silicio hace a la planta de arroz más susceptible a insectos y enfermedades tales como la pircularia del cuello, la mancha parda, o la pudrición del tallo (causada por *Sclerotium oryzae* y *S. oryzae* var. *irregular*), barrenadores del tallo e insectos chupadores del tallo. Además, las hojas de la parte inferior de la planta se ven afectadas y se vuelven blandas perdiendo su forma erecta, sintomatología que se expande gradualmente

Cuadro 12.3. Humedad relativa en mezclas y monocultivos.

Año	Tipo	Variedad	Rango de Humedad Relativa (días)			
			100%	95-100%	90-95%	<90%
2000	Monocultivo	H	24	11	11	12
	Mezcla	H/S	2	14	22	20
	Monocultivo	Z	19	13	6	20
	Mezcla	Z/S	6	17	12	23
2001	Monocultivo	H	19	12	7	20
	Mezcla	H/S	0	9	21	28
	Monocultivo	Z	18	7	8	25
	Mezcla	Z/S	1	12	16	29

H=Huangkenuo en monocultivo; H/S=Huangkenuo con Shanyou63; Z=Zinuo en monocultivo; Z/S=Zinuo con Shanyou63.

hacia la parte superior de la planta; la floración se retrasa de 2 a 3 días. El manchado y la piricularia del cuello afectan fácilmente los granos también. Los tallos son débiles y presentan volcamiento afectando el rendimiento por hectárea (Shui et al. 1999; Hu et al. 2001; Chen et al. 2002). El silicio aumenta la resistencia a la piricularia (Qin 1979), y cuando está depositado en el tejido epidérmico del arroz forma células “silíceas” y una capa bi-silica queratinizada que actúa como una barrera mecánica para prevenir la infección y extensión del patógeno (Yoshida y Kitagishi 1962; Nanda y Gangopadhyay 1984). El contenido de silicio en el arroz afecta directamente la resistencia a enfermedades, a los insectos y al volcamiento; más aun, puede mejorar la estructura de la planta e incrementar el rendimiento (Hu et al. 2001). Se han realizado varios estudios sobre nutrientes de silicio presentes en el suelo para los cultivos, incluyendo los efectos que tiene la aplicación de fertilizantes con silicio sobre la resistencia a enfermedades y el rendimiento (Ye 1992; Hu et al. 2001).

Debido a que se ha demostrado que la diversificación varietal en los campos de arroz puede ser efectiva para controlar la piricularia (Zhu et al. 2000a), la práctica de sembrar mezclas en gran escala se ha extendido a 10 provincias de China, incluyendo Yunnan. La tolerancia a la enfermedad en variedades susceptibles de alta calidad se aumenta en los campos con mezclas de variedades, lo cual viene acompañado por una reducción en la aplicación de fungicidas, en el volcamiento de variedades altas, y

por un incremento en el rendimiento de arroz glutinoso de alta calidad. Simultáneamente, se alcanzan beneficios económicos, sociales y medioambientales (Zhu et al. 2000a).

Para entender el mecanismo de diversificación varietal para el manejo de la piricularia y el volcamiento, se escogieron dos variedades tradicionales para siembra extensiva (y una variedad híbrida de tallo corto) con el fin de investigar el contenido de silicio cuando se sembraban en mezcla o en monocultivo. Los resultados podrían proveer las bases científicas de la combinación de variedades que son efectivas en experimentos de diversificación varietal para el manejo de la piricularia y el volcamiento.

Las dos variedades tradicionales fueron una de tallo alto, glutinosa, y una variedad de arroz de secano, de tallo alto, de alta calidad, pero susceptible a la piricularia y al volcamiento. Se incluyó también un híbrido de tallo corto, de alto rendimiento y resistente a la piricularia. Se escogió un suelo de fertilidad media para los experimentos en la villa Donghong, del condado de Mile en la provincia de Yunnan. El diseño experimental y el de las parcelas se reportó en Zhu et al. (2000b). Todas las parcelas fueron manejadas por los investigadores, y fueron tratadas de la misma manera que las parcelas circundantes con mezcla de variedades, sin aplicación de fungicidas.

Se tomaron muestras para el análisis con microscopía electrónica (SEM, de su nombre en inglés) para determinar la forma y la cantidad de células silicosas; se colectaron otras muestras para medir el contenido de silicio. La presencia de piricularia del cuello se estableció siete días después de la cosecha. Personal experimentado examinó visualmente cada panícula muestreada para estimar el porcentaje de ramificaciones necróticas debidas a la infección con *Magnaporthe grisea*, dándole a cada panícula una calificación de 0 a 5, donde 0 indicaba ausencia de la enfermedad y 5 indicaba que el 100% de las ramificaciones eran necróticas. La severidad de la enfermedad se resumió como  $as \{[(N_1 \times 1) + (N_2 \times 2) + (N_3 \times 3) + (N_4 \times 4) + (N_5 \times 5)] / \sum N_0 \dots N_5\} \times 100$ , donde  $N_0 \dots N_5$  fue la cantidad de culmos en cada categoría de la respectiva enfermedad.

Se pulverizaron tallos limpios de arroz para analizar el contenido de silicio. El contenido promedio de silicio de las variedades tradicionales en las mezclas fue mayor que en el monocultivo (Cuadro 12.4). La diferencia en el contenido de silicio entre las mezclas y el monocultivo fue significativa, con la excepción de Milexianggu en estado de maduración.

Para el análisis con SEM, se prepararon las muestras de observación (Revel et al. 1983), y se examinaron en un KYK-1000B SEM (poder de

**Cuadro 12.4.** Contenido de sílice en tallos de arroz (%).

Variedad	Estado de crecimiento	Tipo	1 <sup>a</sup> , repetición	2 <sup>a</sup> , repetición	3 <sup>a</sup> , repetición	Media	Tasa de incremento	Prueba T ( $t_{0.05} = 2,78$ )
Huangkenou	Panoja llena	Monocultivo	8.11	7.57	7.11	7.63	14.68	3.89
		Mezcla	8.64	8.61	8.99	8.75		
Milixianggu	Panoja llena	Monocultivo	7.52	7.51	8.05	7.69	11.83	3.14
		Mezcla	8.28	8.48	9.04	8.60		
Milixianggu	Panoja llena	Monocultivo	6.4	6.37	6.89	6.55	14.81	3.13
		Mezcla	7.03	7.91	7.63	7.52		
Milixianggu	Maduración	Monocultivo	6.63	5.48	5.55	5.89	16.47	1.89
		Mezcla	6.28	6.8	7.51	6.86		

amplificación 800, voltaje de aceleración de 18 kV) para observar la forma y la cantidad de células silicosas.

Hubo efectos importantes en la cantidad y forma de las células cuticulares silicosas en los campos con mezclas. El SEM (800) mostró que la forma y la cantidad de células silicosas de las variedades tradicionales cultivadas en mezclas varietales fueron muy distintas a aquellas de las variedades en monocultivo. Las células silicosas de las variedades tradicionales de mezclas varietales fueron más grandes, y su cantidad fue también mayor que la de las variedades en monocultivo.

### Piricularia, volcamiento y rendimiento en campos con mezclas

Una mezcla de variedades modernas y tradicionales puede ser efectiva para controlar la piricularia. La incidencia, el índice de severidad para la piricularia del cuello y la tasa de volcamiento de las variedades tradicionales fueron significativamente menores (Cuadro 12.5). Los resultados de inspecciones hechas en 1998-2002 revelaron que la incidencia de la enfermedad para las variedades en monocultivo fue de 5.73-100%, y el índice de enfermedad fue de 0.011-0.804, mientras que para aquellas plantadas en mezclas fueron sólo de 1.14-58.79% y 0.0024-0.328, respectivamente. Para las variedades modernas, la incidencia de la enfermedad en monocultivo fue de 1.3-81.9%, y el índice de enfermedad de 0.0026-0.486, mientras que para aquellas plantadas en mezclas los índices fueron de 1.27-65.1% y 0.0045-0.297, con descensos de 36.75% y 39.82%, respectivamente.

Debido a diferencias ecológicas en las regiones de siembra, y a la diferencia varietal en la resistencia al patógeno, se detectaron grandes diferencias entre las regiones y las combinaciones varietales en lo referente al control de la piricularia. Sin embargo, las siembras de mezclas siempre tuvieron menor incidencia de piricularia que los monocultivos.

En el sistema de siembra de mezcla de variedades, el rendimiento fue de 8577.9 kg/ha, incluyendo el rendimiento promedio de variedades modernas y tradicionales, que fue de 8044 kg/ha y 533.9 kg/ha, respectivamente. En el sistema de monocultivo, el rendimiento promedio de las variedades modernas fue de 8060.5 kg/ha, y el de las tradicionales de 3663 kg/ha. Así, el rendimiento en el sistema de siembra con mezclas de ambas variedades (modernas y tradicionales) fue mayor que en el sistema de siembra en monocultivo de cualquiera de las dos.

Cuadro 12.5. Piricularia y volcamiento del arroz.

Variedad	Tipo	Volcamiento		Piricularia del cuello			
		Proporción (%)	Resistencia (%)	Incidencia (%)	Tasa de Decrecimiento (%)	Índice de Severidad	Tasa de Decrecimiento (%)
Huangkenou	Monocultivo	99.38	0.62	56.02**	77.26	43.61**	82.69
	Mezcla	0	100	12.74**		7.55**	
Milexianggu	Monocultivo	97.68	2.32	66.2**	80.80	42.7**	81.01
	Mezcla	0	100	12.71**		8.11**	

(\*\*) Diferencia significativa al nivel de 0,01

**Cuadro 12.6.** Cantidad de variedades utilizadas para sembrar mezclas en la provincia de Yunnan.

Variedades	1998	1999	2000	2001	2002
Tradicional	2	4	40	62	94
Moderna	2	3	12	15	20
Mezcla	4	8	65	121	173

### Expansión de la escala de siembra de mezclas varietales

Desde 1998 se viene haciendo expansión a gran escala de plantaciones con mezcla de variedades, y cada vez se seleccionan más variedades para hacer combinaciones (Cuadro 12.6). En 1998, la expansión de plantaciones de mezclas de arroz para controlar la piricularia se hizo en Baxing, Maohe, Baoxiu, Yafangzi y Taochun en el condado Shiping, en un área de 812 ha. En 1999 las plantaciones con mezclas de variedades se hicieron en seis condados, incluyendo Shiping, Jianshui y la prefectura de Honghe, en un área de 3534 ha. El área sembrada aumentó a 34,740 ha en 40 condados en el año 2000, 84,467 ha en el año 2001 y 136,189 ha en el año 2002. El área total en 15 prefecturas de la provincia de Yunnan aumentó a 259,742 ha entre 1998 y 2002.

### *Combinaciones de variedades*

La combinación de variedades se basó en un análisis cuidadoso de su resistencia genética, caracteres agronómicos, valor económico, condiciones locales de cultivo y hábitos de siembra de los agricultores. El estándar de selección para la resistencia se basó en que la similitud entre variedades no debía ser superior al 70%, usando el análisis de RGA. Las variedades altas se combinaron con las bajas, con base en el prerrequisito de que la diferencia en altura debía ser mayor de 30 cm, y la diferencia en tiempo de maduración no debería superar los 10 días. Para estimular la participación de los agricultores, las mezclas de variedades deberían proveer un efecto económico complementario y satisfacer las demandas de alto rendimiento y calidad. Se seleccionaron variedades tradicionales en mezclas con variedades modernas, con base en condiciones locales del cultivo como riego, fertilidad y productividad del suelo, y elevación. Igualmente, las variedades favorecidas por los agricultores se escogieron para siembra en mezclas que se adaptaran a los hábitos locales de siembra.

### *Procedimientos de cultivo*

Para facilitar la cosecha, se decidió que las variedades se cosecharan al mismo tiempo. Así, la siembra de la semilla se ajustó al tiempo de desarrollo de cada variedad. Por ejemplo, las semillas de las variedades Nuodao, Xiangdao, Zidao y Ruanzhimi, que son variedades altas, tradicionales y de alta calidad, se sembraron diez días antes que las de las variedades híbridas, modernas y de alto rendimiento. Las plántulas se trasplantaron desde el vivero al campo en abril y mayo. Los lotes para el muestreo se seleccionaron al azar para registrar la presencia de piricularia y el rendimiento en cada área. Se utilizó el sistema de calificación para piricularia descrito en el estándar nacional chino (anónimo 1996), y los rendimientos se calcularon con base en la producción efectiva.

### *Capacitación*

Puesto que los agricultores fueron los principales implementadores de las siembras de mezclas varietales, fue importante concientizarlos para que adoptaran las técnicas relevantes de siembra.

Para ganar su apoyo, se brindó capacitación a los líderes de las aldeas sobre los efectos ecológicos y sociales de sembrar mezclas varietales, en reuniones agrícolas llevadas a cabo en distintos niveles gubernamentales. Al mismo tiempo se introdujeron los métodos, procedimientos y puntos esenciales de la tecnología de siembra, y las medidas clave de expansión para permitirles convertirse en supervisores técnicos. Los técnicos agrícolas fueron los principales agentes de la difusión de la tecnología, convirtiéndose consecuentemente en el foco principal de la capacitación técnica.

Se establecieron 93 estaciones de entrenamiento para técnicos agrícolas en quince prefecturas de la provincia de Yunnan. Estos agro-técnicos entrenados organizaron a los agricultores de una aldea para entrenarles a su vez a través de escuelas de agricultores, durante las noches o en cualquier otro tiempo libre. Durante el período de vivero y trasplante, se hizo una demostración de la operación real de las técnicas en el campo para las autoridades de las aldeas y para los agricultores más representativos. Los agricultores más experimentados asumieron el liderazgo para desarrollar el trabajo. Se usaron transmisiones radiales y televisivas, y afiches para diseminar la tecnología. En 2002 se establecieron 33 estaciones de demostración, 3 estaciones de televisión y 29 estaciones de video (CD) en Dali, Kunming, Dehong, Lijiang, Linchang, Simao, Zhaotong, Chuxiong, Luxi, Xiangyun y Binchuan. Asimismo, se imprimieron 382,000 copias de

materiales de capacitación; se emitieron 836 programas de televisión y se hicieron presentaciones en PowerPoint®; se organizaron 5871 cursos de capacitación en la provincia de Yunnan; y se capacitaron 929,000 agricultores.

Los campos de demostración fueron muy importantes para el proceso de difusión. Entre 1998 y 2002, 64,133 ha de dichos campos se establecieron en 90 condados de 15 prefecturas. En los condados de Mile, Jianshui y Tengchong se construyeron 6667 ha continuas de campos de demostración, lo que impulsó poderosamente la expansión.

## Conclusiones

Estos resultados nos permiten concluir que la diversificación varietal es una solución efectiva contra la vulnerabilidad de los monocultivos a las enfermedades. La teoría y la observación indican que la heterogeneidad genética provee una mayor supresión de las enfermedades cuando se usa en áreas extensas. Nuestros resultados apoyan el punto de vista que sostiene que la diversificación varietal brinda un enfoque ecológico que puede contribuir a la sostenibilidad de la producción de cultivos mientras se reduce la aplicación de fungicidas. Nuestros resultados también demuestran que los esfuerzos colectivos de grupos de científicos, instituciones y agricultores son vitales para el desarrollo y la disseminación de la tecnología efectiva de la diversificación. La adopción amplia de la tecnología de diversificación depende de la simplicidad, efectividad y habilidad de lograr evidentes beneficios económicos para el agricultor.

Por otro lado, la diversificación varietal no podría proporcionar todas las respuestas a los problemas del control de enfermedades y de rendimientos estables en la agricultura moderna. Se necesita más investigación para encontrar las mejores mezclas para diferentes propósitos, y para el fitomejoramiento de variedades con roles específicos en las mezclas.

## Referencias

- Anonymous. 1996. *Rules for Investigation and Forecast of the Rice Blast*. The State Standard of the People's Republic of China, No. Gb/t 15790-1995, 1-13. Beijing: China Standard Press.
- Baker, J. y Z. J. Staskawicz. 1997. Signaling in plant-microbe interactions. *Science* 276:726-733.

- Bonman, J. M., G. S. Khush y R. J. Nelson. 1992. Breeding rice for resistance to pests. *Annual Review of Phytopathology* 30:507-528.
- Chen, J., G. Mao, G. P. Zhang y H. D. Guo. 2002. Effects of silicon on dry matter and nutrient accumulation and grain yield in modern Japonica rice (*Oryza sativa* L). *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)* 28(1):22-26.
- Chen, X. M., R. F. Line y H. Leung. 1998. Genome scanning for resistance-gene analogs in rice, barley and wheat by high-resolution electrophoresis. *Theoretical and Applied Genetics* 97:345-355.
- Chen Y. Q. 1990. Characteristics of silicon uptaking and accumulation in rice. *Journal of Guizhou Agricultural Sciences* 6:37-40.
- Cheng, T. T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rice. *Euphytica* 5:425-441.
- Dai, S. F., Z. H. Ye, Y. Z. Cao y Y. Y. Guo. 1997. Disaster-causing characters and disaster-reducing strategies of crop pests in China. *Chinese Journal of Applied Ecology* 10:119-122. [en Chino]
- Ding, K., G. Tan, Z. Gao y B. Ji. 2002. Effects of ecological factors on infection process of *Pyricularia grisea*. *Chinese Journal of Applied Ecology* 13(6): 698-700.
- Dong, J., H. L. Li, J. M. Wang, A. Y. Ding, J. Chen, J. H. Zhu, W. Wang, B. D. Li y Y. Q. He. 2001. *Agricultural Plant Pathology* (northern edition), 2-7. Beijing: China Agricultural Press.
- He, M., D. Lu y J. Mao. 1998. The effect of key ecological factors on rice blast disaster. *Journal of Southwest Agricultural University* 20(5):392-395.
- Hu, R., S. Fang y G. Q. Chen. 2001. Effects of silicon ion the physiological targets and yield of modern rice. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)* 27(5):335-338.
- Kong, P. y R. Zhou. 1989. The multi-effect and modeling of dew temperature and time and nitrogen application on infection on *Pyricularia grisea*. *Acta Phytopathologica Sinica* 19(4):223-227.
- Lu, L. S. 1996a. Agriculture and agricultural science and technology in the 21st century. *Science and Technology Review* 12:1-8. [en Chino]
- Lu, L. S. 1996b. The current status, perspectives and strategy of modern agriculture development. *Science and Technology Review* 2:41-44. [en Chino]
- Nanda, H. P. y S. Gangopadhyay. 1984. Role of silicated cells in rice leaves on brown spot disease. *International Journal of Tropical Plant Disease* 2:89-98.
- Oka, H. I. 1988. *Origin of Cultivated Rice*. Tokyo: Japan Scientific Societies Press.
- Pan, Q. H., L. Wang, T. Tanisaka y H. Ikehashi. 1998. Allelism of rice blast resistance genes in two Chinese rice varieties and identification of two new resistance genes. *Plant Pathology* 47:165-170.
- Qin, S. 1979. The analysis about the effects of rice resistance diseases and increasing yield using silicon fertilizer. *Zhejiang Agricultural Sciences* 5:12-15.

- Qiu, W. 1975. *Agricultural Plant Pathology*, 1-11. Beijing: Agricultural Press.
- Revel, J. P., T. Bernard, G. H. Haggis y S. A. Bhatt. 1983. Science of biological specimen preparation for microscopy and microanalysis. En *Proceedings of the 2nd Pfefferkorn Conference*. O'Hare, IL: SEM Inc.
- Shi, Z. M., S. C. Qin y S. H. Jiang. 1999. *Famous Flowers from Yunnan*. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press. [en Chino]
- Shigehisa, K. 1982. Genetics and epidemiological modeling of breakdown of plant disease resistance. *Annual Review of Phytopathology* 20:507-528.
- Shui, M., D. Chen, S. C. Qin y S. H. Jiang. 1999. The silicification of young tissues of rice and relationship with its resistance to blast of rice. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 5(4):352-58.
- Staskawicz, B. J., F. M. Ausubel, J. Baker, J. G. Ellis y J. D. G. Jones. 1995. Molecular genetics of plant disease resistance. *Science* 268:661-667.
- Xu, Z. G., X. B. Zhen, H. F. Li, H. S. Shang y W. Z. Liu. 1979. *Common Plant Pathology*, 2nd ed., 2-7. Beijing: China Agricultural Press.
- Yang, X. M., G. Q. Li, X. Li, J. G. Wang y L. Li. 2000. *Plant Ecological Phytopathology*, 51-52. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press.
- Ye, C. 1992. The relationship between soluble-silicon in soil, yield grain and rice physiology. *Journal of Agricultural Science Translation Series* (1):24-27.
- Yoshida, S. y K. Kitagishi. 1962. Histochemistry of silicon in rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition* 8(1):30-41.
- Yu, L., J. Y. Zhang y W. J. Fan. 1994. The effect and forecast of weather factors on rice blast. *Heilongjiang Weather* (2):35-36.
- Zhu, Y. Y., J. X. Fan, Y. H. Wang y S. F. Yu. 1999a. Demonstration trial of mixture variety culture for rice blast management. En S. Yu, ed., *Symposium of the Key Laboratory for Plant Pathology of Yunnan Province*, Vol. 2, 93-100. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press. [en Chino]
- Zhu, Y. Y., Y. Y. Wang, H. R. Chen, J. H. Fan, J. B. Chen y Y. Li. 1999b. Exploiting crop genetic diversity for disease control: A large-scale field test. En *Articles Collection of Key Laboratory for Plant Pathology of Yunnan Province*, 75-80. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, J. X. Fan, S. S. Yang, L. P. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. H. Wang y C. C. Mundt. 2000a. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, Z. S. Li, J. Y. Zhou, J. X. Fan, S. S. Yang, M. G. Liang, L. P. Hu, C. C. Mundt, E. Borromeo, H. Leung y T. W. Mew. 2000b. Current status and prospects of mixture planting for the control of rice blast in Yunnan [A]. En T. W. Mew, E. Borromeo y B. Hardy, eds., *Impact Symposium on Exploiting Biodiversity for Sustainable Pest Management*, 21-23. Kunming, Yunnan, China: International Rice Research Institute.

## 13 Manejo de la biodiversidad en paisajes agrícolas espacial y temporalmente complejos

---

H. BROOKFIELD Y C. PADOCH

Los agricultores manejan la biodiversidad. En un extremo, pueden minimizarla al sembrar miles de hectáreas con el mismo cultivo, químicamente mejorado y protegido; en el otro extremo, pueden crear un paisaje diverso de parches de múltiples cultivos, árboles esparcidos por los bordes y arboledas. Este capítulo se diferencia de los temas de los capítulos precedentes. Hace referencia al manejo de la biodiversidad a la escala de fincas completas y regiones agrícolas, incluyendo no sólo la agrobiodiversidad sino también la biodiversidad natural y otra biodiversidad manejada.

Este capítulo también considera la biodiversidad en los paisajes agrícolas a una escala temporal bastante más amplia. Al hacer rotación de cultivos, modificar y manejar la renovación natural después del cultivo, los agricultores aseguran la producción continua de sus cultivos. También aprovechan los cambios estacionales en la disponibilidad de agua y en las condiciones edáficas para introducir o promover complejos de plantas que puedan sobrevivir y prosperar en diferentes estaciones. Algunos enfrentan dificultades al cambiar las prácticas de manejo para compensar la degradación del suelo, la salinidad y el anegamiento, creando así mosaicos de uso de la tierra mejor adaptados a la dinámica ambiental. Todas estas modificaciones afectan la biodiversidad a la escala del paisaje. El propósito de este capítulo es evaluar estos grandes cambios y discutir algunos de los esfuerzos científicos por entenderlos y medirlos.

## Paisaje agrícola

Gran parte del trabajo reciente sobre biodiversidad se ha enfocado en parcelas pequeñas y en análisis detallados. El trabajo de reconocimiento para efectos de conservación frecuentemente se ha llevado a cabo en grandes áreas consideradas de especial valor y para las cuales se han propuesto o aplicado regímenes de protección. En un estudio más especializado de la biodiversidad agrícola (agrobiodiversidad), la selección realizada por los agricultores, deliberada o involuntariamente, es un elemento importante. Por tanto, las fincas y sus campos, huertos, jardines, barbechos y pasturas se convierten en unidades significativas para el muestreo y la investigación. Además, los agricultores también son un grupo bien diverso de personas.

La biodiversidad se une en los parches, los campos se unen en las fincas y las fincas se unen para formar comunidades rurales. Si nos interesa el mantenimiento de la biodiversidad en fincas, necesitamos analizar las áreas, dentro de las cuales las metapoblaciones —interconectadas por el flujo de genes, sujetas al cambio y a ser reemplazadas— tienen significado. Todo se une entonces a un nivel ubicado entre el parche o el campo y una región más grande. Es allí donde se expresa la estructura de la diversidad, donde operan sus procesos de generación y donde se pueden observar y comprender las interrelaciones. Este es el paisaje, pero debemos tratar de definirlo en términos más positivos antes de comenzar.

El término *paisaje* como ente científico, es difícil de definir, a diferencia de su definición cualitativa de ser una extensión de terreno vista desde un ángulo en particular. El término comenzó a usarse en la ciencia anglófona a partir de la geografía alemana de finales del siglo XIX, en el que se analizaron el paisaje natural (*Naturlandschaft*) y el paisaje cultural (*Kulturlandschaft*) de regiones específicas, a veces de manera integrada. Anteriormente, el análisis dependía de los mapas; hoy en día de los sensores remotos, pero la definición sigue estando ligada a lo que es visible por encima del suelo, y por tanto las unidades de paisaje se definen dentro de un rango de escalas topográficas. Estas han adquirido importancia para la ecología desde la década de 1970 a través de la evolución de la noción de parches y mosaicos de parches, y Forman (1995) ha formulado una definición útil de los paisajes como áreas en las cuales se repite de manera similar una mezcla de ecosistemas y usos de las tierras locales en un área extensa. En la evidencia empírica de artículos sobre ecología y cobertura del suelo, las áreas del paisaje pueden ir desde unos pocos hasta cientos de kilómetros cuadrados, o aún más en áreas de escasa población con una historia del paisaje poco descrita. Aún las áreas más pequeñas pueden con-

tener diversidad microambiental, a veces dinámica. Varios sistemas de manejo, adaptados a esta diversidad, generan los patrones de uso de la tierra.

Haciendo a un lado la ciencia pura, el propósito más común del análisis de la biodiversidad a escala del paisaje es medir o estimar los cambios resultantes del uso por parte de los seres humanos y los cambios que se presenten en ese uso. Este se ha vuelto particularmente importante debido a los grandes cambios que han ocurrido desde el siglo XIX y especialmente desde 1950. El crecimiento de la población ha sido la fuerza motriz del cambio, con incrementos en los totales mundiales desde 1.25 mil millones a más de 6 mil millones a partir de 1850. Desde 1950 han ocurrido cambios inmensos en la tecnología agrícola, para mencionar sólo este campo, que han permitido grandes incrementos en la producción pero también han tenido serias consecuencias ecológicas. Es de conocimiento general que ha habido grandes pérdidas de especies y de diversidad genética, en áreas con y sin tecnología agrícola moderna.

Tomó menos de 30 años de lo que ya se denomina tecnología agrícola convencional para que se convirtieran en preocupación, entre los encargados de formular las políticas y una minoría de agricultores, sus consecuencias en términos de contaminación, pérdida y deterioro del suelo, deforestación y homogenización del paisaje, erosión genética, el empobrecimiento de áreas no apropiadas para la mecanización y la aplicación de insumos químicos. En las regiones más alteradas por las nuevas tecnologías, estas preocupaciones han superado las preocupaciones anteriores y que aún son comunes, simplemente debido a la intensificación de las actividades humanas.

En Europa, donde sólo un 3% del paisaje tiene lo que todavía se puede llamar vegetación natural y donde el 44% del paisaje se maneja en fincas, la degradación del suelo y otros cambios se volvieron un asunto de preocupación pública desde 1980. En la década de 1990, estas preocupaciones condujeron a la iniciación de lo que hoy en día se está convirtiendo en los cambios principales en la política agraria común en la Unión Europea. Estos cambios incluyen estándares básicos de manejo ambiental, los cuales se van a aplicar en todas las fincas que reciban subsidios, y programas agroambientales específicamente financiados, que están en uso actualmente en todos los países miembros, aunque con muy diferentes grados de participación (Piorr 2003). Aproximadamente una de siete fincas y el 17% de las tierras agrícolas de la Unión Europea antes de 2004 están involucradas en algún tipo de programa agroambiental (Bureau 2003). Si casi todo el territorio europeo está sujeto al uso antropogénico de la tierra, las soluciones se tienen que encontrar en el manejo del uso de la tierra. Mien-

tras que algunos programas agroambientales involucran sólo la reducción de la densidad ganadera, otros son más constructivos y algunos buscan establecer o re-establecer setos vivos y arboledas buscando un vínculo con las áreas de especies leñosas que aún existen y separarlas de las que se encuentran totalmente deforestadas, las cuales han crecido mucho desde 1950. El objetivo es restaurar una medida de diversidad en un mosaico de parches de hábitats apropiados a escala del paisaje.

### Caracterización de la biodiversidad a escala del paisaje en Europa y en los países en desarrollo

Aunque es infrecuente que se dispute el hecho de que la diversidad está desapareciendo, el monitoreo preciso del cambio sigue siendo un reto para los investigadores. Los europeos están dispuestos a destinar parte de sus impuestos a restaurar el ambiente agrícola, y los agricultores que participan en los programas agroambientales reciben una remuneración. Esto genera la necesidad de monitorear, y durante varios años se ha dado un esfuerzo cada vez mayor para caracterizar y monitorear los cambios en la biodiversidad a nivel del paisaje. Aunque Europa es muy diferente a los países en desarrollo, que son el tema principal de esta obra, el mosaico relativamente intrincado de usos de la tierra que aún caracteriza una gran parte del continente lo hace más similar al de los países en desarrollo que los extensos paisajes de América del Norte, por ejemplo. Por tanto vale la pena examinar parte de este trabajo, la mayor parte del cual se ha desarrollado en Alemania.

Se han investigado una serie de métodos. Algunos se han concentrado en inventarios de la biodiversidad de las plantas en tierras que están actualmente bajo diferentes regímenes de uso; no sorprende que uno de estos estudios en un área donde se ha ido acabando la actividad agrícola desde la década de 1950 encontrara que la biodiversidad había aumentado a medida que aumentó el número de años desde que se suspendió el cultivo de la tierra (Waldhardt y Otte 2003). Para evitar el gran gasto en términos de tiempo y dinero implicado en estos inventarios estándar, se ha dedicado bastante esfuerzo en la búsqueda de especies indicadoras que se puedan identificar y usar fácilmente para monitorear el cambio. Se le ha dado especial atención a la fauna de insectos, como los escarabajos, que son fáciles de atrapar (Duelli 1997; Büchs 2003). El muestreo es uno de los principales problemas y algunos enfoques se han centrado específicamente en la subclasificación del paisaje en áreas de tipos de hábitats. La

estructura del paisaje, incluyendo la naturaleza y la escala del mosaico, puede ser en sí misma un indicador sustituto valioso, pues tiene en cuenta la influencia de la matriz que rodea los sitios manejados sobre la riqueza de las especies (Dauber et al. 2003).

Un estudio usó una combinación de imágenes Landsat y un levantamiento cartográfico detallado de biotipos, realizado algunos años antes, para desarrollar una muestra estratificada (Osinski 2003). Un proyecto de muestreo de áreas ecológicas usó datos de cobertura del suelo tomados a través de satélites para desarrollar la clasificación inicial de 28 clases de suelo en Alemania, a partir de los cuales se tomaron muestras de 1 km<sup>2</sup> sólo de tierras agrícolas para un análisis detallado de su contenido de biotipos (Hoffmann-Kroll et al. 2003). Este trabajo se realizó a mediados de la década de 1990, casi al mismo tiempo que se realizaba la encuesta a gran escala de las zonas rurales de Gran Bretaña, que utilizaba un enfoque similar al de la búsqueda de información a escala nacional con base en sitios representativos (Haines-Young et al. 2000). Opperman (2003) propuso un método aún más indirecto pero mucho más participativo, que evaluaba el manejo ecológico de determinadas fincas con base en la presencia de algunas pocas especies indicadoras —tanto de flora como de fauna—pero principalmente por las características físicas del espacio de la finca y de su manejo.

En una revisión comparativa del trabajo reciente, principalmente en Alemania y Suiza, Waldhardt (2003) y Waldhardt et al. (2003) se concentraron en el valor de combinar indicadores de los organismos y de los paisajes, que podría ser el enfoque apropiado. Sin embargo, la búsqueda de indicadores genera muchos problemas, y los métodos de muestreo y de evaluación propuestos tienen altos costos. Tanto los grupos de especies y las áreas de referencia considerados en la mayor parte de este trabajo son pequeños, y la búsqueda de especies indicadoras que se puedan usar ampliamente para monitorear el progreso en un estudio agroambiental tiene aún mucho camino por recorrer. Todo el esfuerzo europeo, a pesar de su nivel regionalmente denso de trabajos científicos, todavía está en su etapa temprana aunque se ha recolectado una enorme cantidad de información valiosa. La meta a largo plazo de desarrollar una serie de indicadores para los paisajes agrícolas que tengan validez internacional como lo propone la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD 1997) sigue estando tan lejos como cuando fue propuesta por primera vez.

Sería difícil imaginar el uso de indicadores suplentes en los países en desarrollo debido al amplio rango de sistemas agrícolas, climas, y condiciones bióticas y abióticas. Aunque la diversidad y el patrón de los hábi-

tats son potencialmente importantes, su interpretación mediante sensores remotos y la respectiva confirmación en el campo requieren habilidades y recursos disponibles en sólo algunos de estos países. Las mediciones del área de muestreo en tierra aún deben proporcionar la mayor parte de la información. A pesar de su limitado poder de explicación, las 50 o más medidas cuantitativas de la biodiversidad que se encuentran en la literatura, la mayoría de las cuales fueron desarrolladas hace varios años, siguen siendo las únicas herramientas disponibles para clasificar la diversidad biológica, tanto en áreas agrícolas como no intervenidas (Whittaker 1972; Magurran 1988).

El proyecto Pueblos, Manejo de la Tierra y Cambio Ambiental (PLEC; People, Land Management and Environmental Change), que incluye 12 países, partió de la hipótesis de que el manejo agrícola usando estrategias de diversidad puede sostener e incluso mejorar la biodiversidad. Este punto de vista ha ido ganando apoyo en Europa, donde el efecto de 1000 años de agricultura (hasta el desarrollo de la tecnología moderna en la década de 1950) fue crear mosaicos de hábitats o parches ecotópicos dinámicos que mejoraron no sólo la diversidad de las especies sino también la diversidad estructural y funcional, y probablemente también hasta la diversidad genética, entre plantas y animales (Waldhardt et al. 2003). El proyecto PLEC tenía como mandato preparar inventarios de biodiversidad; para ello fue necesario registrar la diversidad en todas sus áreas con sitios demostrativos. En 1999 se estableció un esquema de muestreo (Zarin et al. 2002), seguido por el diseño de una base de datos (Coffey 2000) y directrices detalladas para el cálculo de los índices más relevantes de diversidad  $\alpha$  (y la sumatoria de su área  $\gamma$ ) y de diversidad  $\beta$  (Coffey 2002). El PLEC tuvo en cuenta solamente la diversidad de las plantas vasculares, no de la fauna a ningún nivel.

Aún más que en Europa, fue logísticamente imposible realizar un muestreo aleatorio estratificado completo; por tanto nuestro procedimiento de muestreo fue más intencionado que al azar. Atravesó tres etapas. En cada uno de los 12 países, se escogieron de una a siete áreas de paisaje (las áreas con los sitios de demostración) para representar los territorios de aldeas o de grupos de agricultores específicos con los cuales se había establecido contacto y donde se invitó a trabajar al proyecto. Estas áreas oscilaron entre menos de 10 km<sup>2</sup> a un máximo nominal de 100 km<sup>2</sup> (que nunca se logró), pero que generalmente estaban ubicadas dentro de transectos en bandas en los cuales se había hecho trabajo de reconocimiento antes de la selección final. Dentro de estos paisajes primero se identificaron clases amplias de uso de la tierra con base en la cobertura superficial general del

suelo. Puesto que estábamos trabajando principalmente en áreas donde se habían utilizado, así fuera recientemente, prácticas de rotación en el uso de la tierra y para enfatizar la transitoriedad de la cobertura del suelo, las denominamos etapas en el uso de la tierra. Se identificaron 27 de estas etapas en los 12 países, que se redujeron a siete categorías principales, incluyendo los bordes, para efectos de comparación (Pinedo-Vásquez et al. 2003a).

Dentro de estas clases más grandes, buscamos tipos o ensamblajes característicos de hábitats o biotopos. Debido al énfasis en definirlos de acuerdo con las prácticas de manejo de los agricultores, los llamamos tipos de campo, aunque también incluían diferentes etapas de manejo o de barbecho sin manejo, o de bosque. Luego se seleccionaron áreas de muestreo reales dentro de estos tipos de campo; la selección se realizó de manera sesgada, enfatizando la mayor diversidad aparente o en tierras trabajadas por determinados hogares de donde se había colectado otra información (Guo et al. 2002). Dentro de éstas, se marcaron cuadrantes de muestreo para enumerar las especies. Se colectaron al mismo tiempo detalles sobre las prácticas de manejo en todo el campo de muestreo alrededor de los cuadrantes de enumeración de la biodiversidad (Brookfield et al. 2002). Se hizo un muestreo separado de los huertos caseros y de los bordes entre campos, y se los trató de maneras diferentes (Zarin et al. 2002).

El proyecto PLEC evaluó la biodiversidad en el campo, en ocasiones con ayuda parcial de fotografías aéreas o de imágenes de sensores remotos. El sistema se diseñó de forma que hiciera el mejor uso de los limitados recursos humanos y económicos. El propósito del proyecto PLEC fue estudiar el manejo que realizan los agricultores y sus efectos. Este tipo de trabajo se tiene que realizar en estrecha colaboración con los agricultores. El Recuadro 13.1 presenta un resumen del nivel de detalle encontrado por Kaihura et al. (2002) en un área pequeña de unos pocos kilómetros cuadrados en la parte alta de las laderas del Monte Meru en Tanzania. El autor observó que la composición de los campos puede cambiar en el lapso de unos pocos meses puesto que en esta zona se siembra tres veces al año. La composición del cultivo fue un criterio importante para distinguir entre tipos de campo; también se registró mucha otra información, incluyendo tenencia de la tierra; edad y recursos económicos del agricultor; pendiente del terreno; grado de fertilidad del suelo; evidencia de deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio; tipo de arado y herramientas usadas para arar; cría de ganado; métodos usados para el control de plagas y malezas; y métodos usados para manejar la erosión, la humedad del suelo y el drenaje. En una finca se realizó una encuesta más profunda y en 1999 se encontra-

ron 12 tipos de campo que revelaron la existencia de 10 cultivos diferentes alimenticios y comerciales, 6 tipos de árboles, más de 10 plantas medicinales usadas para curar más de 30 enfermedades, 17 tipos de semilleros para la propagación y la venta, 6 hortalizas cultivadas, 18 árboles frutales y 7 especies de plantas ornamentales (Kaihura 2002). Es así como el manejo de la diversidad le proporciona el contexto a la agrobiodiversidad.

La escala es una consideración importante. Puede ser difícil diferenciar los tipos de hábitat o los tipos de campo de las etapas en el uso de la tierra cuando estos se repiten a través de áreas extensas. Aunque también se les puede distinguir con base en la diferencia en la composición de su flora, las diferencias en el manejo que le dan los agricultores son determinantes. En gran parte del sureste de Asia, los campos inundados por el riego, los campos secos alternando cultivo y barbecho, las parcelas sembradas y manejadas para la agrosilvicultura o silvicultura, y los huertos caseros manejados de manera intensiva constituyen sólo cuatro clases principales de tipos de campo y cada uno constituye una etapa del uso de la tierra; pero cada una también se puede subdividir en términos del (o los) cultivo(s) y del manejo. De manera similar, en la Futa Djallon de Guinea, en África Occidental, se puede clasificar toda la tierra a excepción de áreas pequeñas de bosque y de desperdicios no cultivables en tres grandes usos de la tierra: los campos internos cultivados intensivamente durante todo el año y cada año, los campos externos más grandes y el barbecho asociado, y las áreas pequeñas sembradas y manejadas para la agrosilvicultura. A nivel de una aldea individual en Futa Djallon, estas áreas se podrían subdividir en una cantidad mayor de tipos de campo, junto con los bordes entre ellos. Ambos niveles de clasificación son válidos, y ambos se relacionan al paisaje en su totalidad. Cual seleccionar dependerá de los propósitos de la caracterización.

### Agricultores y otros usuarios de la biodiversidad

Bien sea que el paisaje sea una región grande o el territorio de una sola comunidad, las fincas son las unidades mediante las cuales se maneja la mayoría de su diversidad para la producción. Generalmente, los agricultores manejan más de un tipo de campo e incluso más de una etapa de uso de la tierra; con frecuencia incluyen áreas de bosque nativo, arboledas sembradas y espejos de agua además de la tierra cultivada, las pasturas y los bordes entre estos tipos de campo. Es factible que las tierras de barbecho sean manejadas o no, y con frecuencia proveen recursos que son cosechados. El tenente de la tierra debe estar de acuerdo con la medición

**Recuadro 13.1** Descripción de las etapas de uso de la tierra y de tipos de campo en Olgilai/Ng'iresi, Arumeru, Tanzania.

CUADRO EN EL RECUADRO 13.1

Etapa del uso de la tierra	Tipo de campo	Descripción del tipo de campo
Bosque natural	Menos perturbado	Montañas altas del Monte Meru; inasequibles debido a su pendiente entrecortada por valles profundos. Pendientes entre el 85% y el 50%; clima tropical húmedo; algunos animales salvajes; área oficialmente nombrada.
	Ligeramente perturbada	Colinas altas del Monte Meru; usadas para cosechar madera, leña y plantas medicinales; la lejanía de las aldeas y las pendientes limitan su uso. Pendientes entre 35% y 15%; clima tropical húmedo con pocos animales salvajes; área oficialmente nombrada.
	Muy perturbada	Colinas en forma de cono, a veces usadas para la recreación; utilizadas como madera, leña y plantas medicinales. La tala de árboles está controlada por la aldea, pero la mayoría de los árboles y arbustos de mayor valor económico ya han sido talados.
Bosque sembrado	<i>Pinus</i> con cultivos temporales	Árboles de <i>Pinus</i> sembrados después de talar el bosque natural; cultivos de maíz y frijol generalmente en rotación con col y papa; las combinaciones y secuencias de los cultivos difieren entre agricultores y estaciones. Pendientes entre 20% y 10%.
	Cipreses con cultivos temporales	Siembra de cipreses; sistema de cultivo similar al de las plantaciones de <i>Pinus</i> .
	Plantación de eucaliptos	Bosque natural talado y sembrado sólo con eucaliptos.

*El Recuadro 13.1, continúa en la página siguiente*

Recuadro 13.1, continuación

Etapa del uso de la tierra	Tipo de campo	Descripción del tipo de campo
Agrosilvicultura	Cultivos y árboles	Mezclas complejas de cultivos y árboles, dependiendo del tamaño de la finca, la estación y las preferencias del agricultor; normalmente, café, banano y árboles, con maíz y frijol. Diferentes grados de pendiente.
	Maíz y frijol con árboles	Maíz y frijol, intercalados con árboles como setos en las curvas de nivel y en los límites; los cultivos comerciales ocupan la mayor área.
	Papa en rotación con hortalizas	Papa como cultivo comercial durante la primera estación, seguida de col y barbecho en la tercera estación del año.
	Maíz	Maíz en monocultivo.
	Papa	Papa como monocultivo comercial.
	Límites de la finca	Árboles, arbustos y trepadores utilizados como cercas para demarcar límites y divisiones. Las especies tienen diversos usos, pero la mayoría tienen espinas para evitar el acceso a intrusos.
	Límites de las parcelas	Estructuras que separan los tipos de campos dentro de las fincas, incluyendo residuos de cosecha y montones de malezas a lo largo de los límites, plantas rastreras y arbustos de valor comercial. A veces se cortan para incorporarlos al suelo y mejorar la fertilidad.
	Huertos caseros	Ubicados cerca de la casa, sembrados con hortalizas locales e introducidas. Cultivados con riego principalmente en áreas planas o pendientes ligeras.
Fuente de agua	Microcuencas	Parches delimitados de menos de 30m <sup>2</sup> protegiendo los nacimientos de agua; áreas cultivadas con árboles perennes y banano. Tala de árboles prohibida; acceso limitado sólo para recoger agua; propiedad comunal.

Recuadro 13.1, continuación

Etapa del uso de la tierra	Tipo de campo	Descripción del tipo de campo
Barbechos	Barbechos en recuperación	Parcelas comunales o privadas, temporalmente sin cultivar para recuperar la fertilidad del suelo. Pendientes altas a moderadamente altas.
	Pasturas, recreación o barbecho	Tierras en barbecho o zonas de recreación de la familia; pastoreo de caprinos permitido.
	Campos para el manejo de animales o para pasto de corte	Potreros donde se ata el ganado para el pastoreo o el servicio (caso de los toros); las gramíneas también se pueden cortar y usar como forraje.

Fuente: Kaihura et al. (2002:155).

y el registro de la diversidad a escala del paisaje; además se requiere su cooperación activa. Aún en tierras comunitarias, hay mucho que aprender de los usuarios de los recursos.

En el PLEC usamos ampliamente el concepto de agrobiodiversidad, originalmente propuesto por Brookfield y Padoch (1994), yendo más allá de la división natural hacia la división cultural de la mayoría de los estudios del paisaje para poder interrelacionar la agrobiodiversidad, la diversidad en el manejo y la diversidad biofísica y ponerlas en el contexto de una cuarta dimensión: la que hemos llamado diversidad organizacional (Brookfield 2001; Brookfield et al. 2002). Este último término requiere una explicación. Bien sea que una finca se establezca para generar o no dinero, ella constituye una empresa de trabajo con una serie definida de relaciones con empresas paralelas; con niveles superiores de la comunidad, las autoridades; y con las economías regionales, nacionales y mundiales. Al igual que cualquier otra empresa, es un sistema social y económico enmarcado dentro de sistemas sociales y económicos más grandes. Los operadores de la finca son administradores de la tierra en el sentido usado por Blaikie y Brookfield (1987). Aún si tienen que operar dentro de un sistema que impone los cultivos y el ganado que se han de producir, los agricultores o los hogares de los agricultores tienen que tomar decisiones a diario, men-

sualmente y anualmente para lograr esa producción. Las fincas difieren mucho unas de otras, y los recursos y habilidades de los agricultores que las manejan también son muy diferentes.

Esta es la parte central de la diversidad. Incluye la diversidad en la tenencia de la finca y en la manera en que es administrada, y en el uso que se hace de la dotación de recursos y en la fuerza de trabajo en la finca. Algunos elementos incluyen la mano de obra, el tamaño del hogar, los diferentes recursos económicos de esos hogares, y su dependencia de mano de obra contratada. Incluye también las relaciones de género y de grupos de edad en el trabajo de la finca, la dependencia en los recursos de la finca y no en apoyo externo, la distribución espacial de la finca, la cantidad de ayuda mutua entre fincas vecinas, y las diferencias en el acceso al recurso tierra. La tenencia de recursos, las condiciones para acceder a estos recursos, y los que Leach et al. (1999) describen como los derechos ambientales son fundamentalmente importantes. La diversidad organizacional está involucrada en todo el concepto del manejo de recursos, incluyendo la tierra, los cultivos, la mano de obra, el capital y los demás insumos.

Cualesquiera que sean las condiciones de la tenencia, la literatura general sobre desarrollo agrícola subvaloran las habilidades requeridas en la simple organización de la fuerza laboral en períodos de máxima demanda. El cambio de un solo cultivo por dos o tres al año, facilitado por las innovaciones de la Revolución Verde, demandó muchas de estas habilidades. Sin embargo, los agricultores recibieron pocas directrices e instrucciones acerca de cómo manejar sus recursos y su fuerza de trabajo en estas épocas. Tuvieron que aprenderlo solos. La diversidad organizacional es muy dinámica. Los agricultores cambian la organización de la mano de obra y de los recursos dependiendo de las circunstancias, a veces en un lapso de tiempo corto, y responden rápidamente cuando perciben señales que exigen nuevas maneras de combinar los factores de la producción.

Los agricultores expertos en esta habilidad generalmente no son los líderes políticos o sociales de sus comunidades. El PLEC encontró en China un ejemplo sobresaliente de un experto innovador, el señor Li Dayi, quien antes viviera de la caza y la agricultura migratoria. En la década de 1980 se interesó en la domesticación de especies maderables raras pero valiosas (*Phoebe puwenensis*) que crecían en el bosque. Aunque no se habían establecido los medios botánicos, en dos años logró establecer plántulas viables. Entonces convirtió 0.13 ha de tierra antes cultivada con maíz en una plantación de una mezcla de árboles; la tierra se le había asignado en la privatización de tierras colectivas en 1983. Con el apoyo del PLEC ha extendido su tecnología a 95 agricultores de la aldea (Dao et al. 2003).

En los últimos años, los agricultores de una aldea remota en Papúa Nueva Guinea han modificado su sistema de agricultura de subsistencia para incorporar cultivos comerciales. Varios de ellos están sembrando plántulas de cacao o de café en el huerto durante el primer y el segundo año de cultivo del ñame. Hasta aproximadamente 1990, el único cultivo comercial en el área era el café robusta, introducido por el servicio de extensión en la década de 1960 y cultivado en pequeñas parcelas que en promedio tenían 150 plantas por parcela, bajo la sombra de árboles de *Leucaena* y rodeadas de bosque secundario. Se sembró muy poco café adicional después del entusiasmo inicial de la década de 1960 cuando todas las familias sembraron por lo menos una parcela y algunas veces dos. Sin embargo, entre 1990 y 2001, se sembraron más de 70,000 árboles de cacao. En este caso el sistema de agricultura migratoria se está modificando como respuesta a las nuevas condiciones. En la etapa final de un ciclo de cultivo de tres años, las parcelas eran invadidas por malezas; actualmente se han controlado las malezas con la introducción del camote, el cual cubre el suelo como un manto. Ya se han eliminado las especies de árboles y de gramíneas altas prevalecientes en las áreas de barbecho y se siembra *Gliricidia* bajo la sombra del cacao. De esta manera el huerto de subsistencia se ha convertido en un huerto comercial. Los agricultores aseguran que en 20 años volverán a limpiar el cacao y a sembrar alimentos nuevamente. Ellos saben que una tierra que ha estado previamente sembrada con cacao y *Gliricidia* puede producir alimentos tan bien como un barbecho que ha tenido árboles durante 20 años. Por tanto, las consecuencias de esta práctica no serán una disminución de la producción de alimentos. En el curso de 20 años, esta práctica lo que va a implicar es una pérdida significativa de las especies naturales de sucesión del barbecho, muchas de las cuales tienen diversos usos para las personas que las colectan. Los agricultores reconocen este problema pero piensan que la pérdida no será tan grave porque no todas las parcelas que se han despejado para cultivar alimentos serán convertidas al cultivo de cacao o café. No contarán con la mano de obra para cosechar y procesar esa cantidad de cacao o café (Sowei y Allen 2003).

Se podrían citar muchos otros ejemplos de este tipo. En la historia moderna, el caso más famoso es la creación de una gran industria de exportación en el sur de Gana, África Occidental, en la que los agricultores migratorios se convirtieron en empresarios, establecieron grandes áreas de cacao entre el bosque secundario de ese país, entre 1890 y 1920, y desarrollaron nuevos sistemas de tenencia de la tierra para poder facilitar la colonización de tierras compradas a otros (Hill 1963). Posteriormente

**Recuadro 13.2** Agrobiodiversidad y estrategias de supervivencia de los más pobres en la zona rural de Bangladesh

En las aldeas rurales de Bangladesh se sabe que las personas pobres dependen de alimentos no cultivados para su supervivencia y medios de vida. Pero ¿cuál es la naturaleza de esta dependencia? Nuestro estudio explora el uso que le dan las personas muy pobres a los alimentos y plantas que recogen en las tierras, cuerpos de agua y bosques donde viven. Cuando les preguntamos a los aldeanos “¿Dónde están los pobres?” la respuesta fue “Chak”, queriendo decir en los campos cultivados de otros o en las orillas de los caminos. Desde el mes Bhadra y hasta Kartik están ocupados en los campos de caña de azúcar cosechando para los dueños de la finca. En los meses de Agarhayan, Poush y Magh están ocupados cosechando papas y preparando las plántulas para el trasplante de arroz en los campos de los agricultores. Pueden recibir algo de dinero a cambio de su mano de obra, el que utilizan para comprar aceite y sal, y para pagar colegios y deudas. Pero también aceptan papas como parte de su pago y colectan la paja que ya no se necesita para cubrir la tierra en los campos de papa; esta paja la usan en sus hogares como combustible. Cosechan las hojas de yute en los campos de los agricultores y colectan las hortalizas de hoja en los bordes de los campos de arroz como alimento; también comercializan parte de las hortalizas. Venden huevos de sus gallinas de patio para comprar arroz y capturan peces en los cuerpos de agua como alimento diario. Estos son sus medios de sustento.

¿Cuál es una respuesta apropiada al reto de asegurar que estas personas sigan teniendo acceso a estas fuentes de alimento? El desarrollo agrícola basado en unos pocos cultivos no puede compensar adecuadamente a los menos favorecidos por la pérdida de acceso a las fuentes de alimentos no cultivadas, generada por determinadas prácticas agrícolas como el uso extensivo de plaguicidas y el monocultivo. Tampoco puede compensar por la erosión de los regímenes de propiedad común y las normas sociales que les permiten a las personas usar estas fuentes de alimento. El análisis de la contribución de los alimentos no cultivados a la seguridad alimentaria en Bangladesh sugiere que el nivel apropiado para promover el acceso a estas fuentes de alimentos es el paisaje comunitario, no las especies de plantas específicas, ni las fincas ni los huertos. La simple promoción de los sistemas agrícolas basados en la biodiversidad, la protección de las tierras de la aldea contra el uso de plaguicidas y el cercado de tierras comunes son medidas que garantizan también el enorme recurso que representan los alimentos no cultivados. Esta estrategia se puede denominar “cultivo del paisaje”, para contrastarla con definiciones más limitadas de la agricultura basada en plantas cultivadas en campos de cultivo. Los progresos en la agricultura se deben buscar en el contexto de una estrategia más amplia para aumentar la capacidad de las comunidades de crear y mantener las condiciones necesarias para el sostenimiento de sistemas alimentarios biodiversos. En última instancia, la biodiversidad no se cultiva sino que se nutre en agroecosistemas biodiversos.

*Fuente:* Farida Ahkter, Centre for Policy Research for Development Alternatives, Bangladesh.

en este capítulo describiremos cómo los agricultores del Amazonas brasileño están respondiendo al alza en los precios, convirtiendo un sistema de cultivo de alimentos en un sistema agroforestal. Este tipo de actividades transforma la biodiversidad de paisajes enteros.

Además de los agricultores, hay otros usuarios de la biodiversidad. Los pastores trashumantes pueden usar diferentes paisajes durante diferentes épocas del año, y algunos de ellos establecen acuerdos contractuales con los agricultores para pastorear su ganado en tierras de barbecho. Esta práctica es común en las sabanas de África occidental. Toulmin (1992) mostró que los hogares de una aldea de los Bambara en el norte de Malí cavaban aljibes manualmente en la década de 1970 y 1980 para atraer a los pastores Fulani migratorios, cuyo ganado se acorralaba entonces en los campos de los propietarios de los aljibes como fuente de estiércol y así permitir la expansión de sus cultivos. Los aldeanos se aseguran de que los pastores sigan siendo sus clientes y si los Fulani se establecen en la vecindad entonces no les permiten adquirir tierra en la cual cavar sus propios aljibes. Se requiere mucha organización entre los Bambara para asegurar el acceso a este recurso.

En cualquier población residente, hay algunos desposeídos o que tienen muy poca tierra. Pueden depender de los recursos de las tierras comunitarias o de cualquier lugar del paisaje. Puede que los alimentos que consuman no sean cultivados. El Recuadro 13.2, tomado de un resumen de un artículo presentado en Montreal por Farida Ahkter del Centro para la Investigación en Políticas para Alternativas de Desarrollo (Centre for Policy Research for Development Alternatives) en Bangladesh describe gráficamente cómo los más pobres de los pobres dependen de la diversidad del paisaje.

### Dimensión temporal

Bien sea que la biodiversidad se encuentre en los agroecosistemas o fuera de ellos, está en permanente estado de cambio. Las variaciones estacionales de las zonas templadas, su ordenada rotación de cultivos, y las secuencias a corto plazo entre cultivo y barbecho pueden ser tipos familiares de la variación temporal en la agricultura de los países del norte. Pero las complejidades temporales de los sistemas de los pequeños agricultores en el trópico son poco conocidas, mal entendidas por los científicos y muchas veces ignoradas o condenadas por los gobiernos.

Entre los patrones de los pequeños agricultores comúnmente estudiados, los cuales generalmente involucran tanto cambios temporales complejos en el manejo como altos niveles de diversidad biológica, figuran los sistemas de tala y quema o de agricultura migratoria. Estas formas pantropicales —o tal vez casi que globales— de agricultura a pequeña escala son muy variadas, pero generalmente involucran la limpieza de campos mediante la tala y quema seguida de una fase breve pero intensiva de cultivo y luego años de barbecho con árboles o arbustos. Hasta hace poco, se pensaba que la fase de los sistemas de tala y quema caracterizada por un manejo de los cultivos menos intensivo —o la fase de barbecho— era un abandono temporal. Se suponía que durante esta parte del ciclo, cuando se había terminado gran parte de la siembra, limpieza de malezas y cosecha, cesaba todo el manejo activo de plantas y animales, y que los beneficios económicos directos derivados de esta parcela eran insignificantes. De hecho, generalmente parece que los campos en barbecho se han revertido a una vegetación completamente natural.

Investigaciones llevadas a cabo durante las últimas décadas, especialmente en América del Sur y en el Sureste de Asia, han demostrado lo contrario. Una cantidad cada vez mayor de estudios han demostrado que muchos de los sistemas de agricultura migratoria se pueden describir con más precisión como silvicultura cíclica y, aunque el manejo de la tala y quema puede cambiar dramáticamente con el transcurrir del tiempo, muchas parcelas realmente nunca han sido abandonadas. Aún cuando una parte sustancial de la vegetación parezca ser silvestre y espontánea, es posible que se le esté dando un manejo activo y hábil, aunque sutil, que determina las especies y las frecuencias de determinadas plantas y animales en un sitio. Entre las plantas de una parcela en etapa de barbecho, muchas veces es difícil o imposible determinar cuál ha sido efectivamente cultivada y cuál no. Y aunque no cambien las especies de la muestra, la proporción entre especies silvestres y especies cultivadas puede cambiar a medida que la regeneración natural y las plantas voluntarias se unen o remplazan las plantas cultivadas con el pasar de los meses o los años durante los cuales se maneja el barbecho de manera sutil.

Las presiones económicas van en aumento y las poblaciones rurales están aumentando en toda la parte tropical de Asia y de otros países en los cuales la tala y quema ha constituido una manera común de sostenerse. El manejo de áreas taladas y quemadas, que luego se dejan en barbecho, está cambiando dramáticamente como respuesta a estos cambios. El manejo de todas las fases del ciclo es cada vez más intensivo y visible, y las especies comerciales figuran cada vez más. Siguen siendo diversas las formas que

adquieren estos sistemas de tala y quema seguidos de barbecho, donde el caucho, los árboles frutales, o los árboles maderables de crecimiento rápido son dominantes en la agrosilvicultura. Otros sistemas más intensivos —pero aún así complejos y cíclicos— incluyen los barbechos donde dominan los arbustos de valor económico o incluso las leguminosas herbáceas (Cairns 2006).

¿Cómo medir la biodiversidad con precisión en sistemas como los de agrosilvicultura de tala y quema seguida de barbecho, los cuales están cambiando continuamente? Al considerar el paisaje más amplio como la unidad de investigación e incluir los campos y los barbechos de diferentes niveles de manejo y edades ayuda a los investigadores a capturar una gran cantidad de riqueza y complejidad en estos patrones agrícolas. Es deseable volver a tomar muestras a través del tiempo para detectar las variaciones estacionales y otras variaciones. El proyecto PLEC encontró que los investigadores deben ser flexibles en sus métodos en cada región, variándolos para adaptarse a las condiciones locales. Y deben comprender las limitaciones de sus datos cuando no es posible hacer investigación a largo plazo o volver a tomar muestras.

La complejidad temporal adquiere muchas formas y por tanto presenta muchas dificultades para el investigador. En la planicie aluvial del Río Amazonas, donde el PLEC tiene varios sitios de investigación, las parcelas anualmente atraviesan una fase acuática y una terrestre. Cada año, durante la inundación, las parcelas de los agricultores desaparecen debajo de las aguas del río, que alcanzan una profundidad de 10 metros en la parte alta del río en Perú. Varios meses después, cuando retroceden las aguas, las parcelas han cambiado no sólo de cobertura vegetal sino de tamaño, tipo de suelo y otras cualidades que determinan su uso agrícola presente y futuro. Cuando una parcela está bajo el agua y su biodiversidad cambia dramáticamente, generalmente sigue siendo productiva, sólo que está pasando por la fase acuática; situación que complica las cosas para el investigador. Muchos agricultores de la planicie aluvial en el sitio del PLEC en Muyuy en Perú, por ejemplo, manejan la vegetación de las orillas de los ríos y los lagos, incluyendo los árboles frutales, no sólo para producir frutas para el consumo humano en la fase terrestre, sino también para atraer los peces durante la estación inundada (Pinedo-Vásquez et al. 2003b). Es difícil que los investigadores agrícolas vean el manejo multipropósito de las fases acuática y terrestre desarrollado por los agricultores del Amazonas; es aún más difícil que lo valoren. Los componentes de su biodiversidad son bastante difíciles de medir.

La multifuncionalidad y el manejo simultáneo de recursos agrícolas, agrosilviculturales y silviculturales en un mismo campo son conceptos comunes para las pequeñas agroempresas del trópico. A pesar de ser dominantes, la literatura científica rara vez menciona estos enfoques y parece que fuesen invisibles para la mayoría de los investigadores. Muchos agricultores manejan cultivos anuales en sus campos para ser cosechados en unos pocos meses, al mismo tiempo que cuidan plántulas de árboles intercalados que alcanzarán la madurez para la tala en unos 30 años. Los semilleros de árboles pueden nacer espontáneamente o haber sido sembrados o trasplantados desde bosques o huertos cercanos. En las etapas de siembra, limpieza de malezas y cosecha de los cultivos, los semilleros pueden recibir poca atención, excepto por una limpieza superficial y una poda ocasional. Esta diversidad es posible gracias a que la mayor parte de las fincas pequeñas en el trópico se siguen manejando de manera no mecanizada. El conocimiento que los agricultores locales tienen de las características de crecimiento de muchos organismos y sus combinaciones, así como de las capacidades y limitaciones específicas de cada rincón de sus fincas hace que este manejo complejo sea rentable. El Recuadro 13.3 muestra cuál es el resultado final de este proceso de manejo en la planicie aluvial del Amazonas, que comienza con la etapa de tala y quema, y siembra o cuidado de los semilleros de árboles valiosos, y atraviesa la etapa de barbecho hasta la incorporación final como bosque desarrollado.

El dinamismo puede ser fácil de malinterpretar, especialmente en sistemas que son ricos en diversidad y que están manejados por agricultores o comunidades políticamente marginadas o culturalmente diferentes. El trabajo de los antropólogos Fairhead y Leach (1996) en Guinea, el cual se ha convertido en un caso famoso, ilustra este concepto. Ellos describen una situación en la que las tierras agrícolas, los bosques y los pastizales de la Provincia de Kissidougou están ahora en permanente cambio y lo han estado por mucho tiempo. Sin embargo, la comprensión oficial y la local de la dirección de esos cambios y de la naturaleza de las interacciones entre el ser humano y el bosque en Kissidougou están en completo desacuerdo. Si se acepta la opinión local —que sostiene que la mayoría de las islas de bosques, grandes y diversos, que salpican el paisaje son principalmente creaciones del ser humano—, entonces las mediciones de la agrobiodiversidad regional y las nociones de manipulación humana del paisaje local están en total desacuerdo con las que sugieren, si se acepta la tesis opuesta, que la deforestación está progresando en la región. Fairhead y Leach confirmaron las interpretaciones locales, basándose en evidencia

**Recuadro 13.3 Biodiversidad en la etapa de bosque en dos sitios del Bajo Amazonas en Brasil**

En dos sitios encontramos que las áreas de bosque que hacen parte de las propiedades de pequeños productores son el resultado de operaciones sucesivas de manejo que empezaron en la etapa de campo y continuaron con las etapas de barbecho y de bosque. Los inventarios llevados a cabo en una muestra de 10 ha (5 ha en Mazagão y 5 ha en Ipixuna) muestran una gran diversidad de especies (Cuadro en el Recuadro 13.3).

En ambos sitios los bosques tienen un alto nivel de riqueza y uniformidad de especies. Sin embargo, el número promedio de especies encontrado en los bosques de Mazagão (51) es un poco mayor que el promedio encontrado en Ipixuna (36). Contrastando con lo anterior, los bosques de Ipixuna incluidos en la muestra tienen más árboles (1117 en promedio) que los de la muestra en Mazagão (1041 en promedio). Estos resultados reflejan la historia del manejo y de la extracción de recursos aplicado por los pequeños productores en ambos sitios. En Mazagão, las personas se dedican más a las actividades forestales y tienden a enriquecer continuamente sus bosques con frutales y especies maderables y medicinales. Los agricultores de Ipixuna están más dedicados a la agrosilvicultura y a la recolección de frutos y productos medicinales que a la extracción de madera.

A pesar de las diferencias en los usos y el manejo del bosque practicado por los habitantes de Mazagão e Ipixuna, los bosques en ambos sitios presentan una muy alta diversidad o índice de Shannon. Con base en los índices de diversidad estimados, los bosques de Mazagão tienen valores más altos ( $H' = 2.59$  en promedios) que los bosques de Ipixuna ( $H' = 1.77$  en promedio). Estos resultados son muy similares a los índices de Shannon estimados y reportados para las áreas de bosque en otras regiones de las várseas de la planicie inundada (Anderson y Loris 1992).

CUADRO EN EL RECUADRO 13.3 Diversidad en las muestras de bosque comparando la cantidad de especies, la cantidad de individuos y el índice de Shannon (H):

Parcela de la muestra	Mazagão			Parcela de la muestra	Ipixuna		
	Cantidad de especies	Cantidad de individuos	H		Cantidad de especies	Cantidad de individuos	H
1	48	892	2.96	6	26	623	1.66
2	55	1,096	2.66	7	41	1,032	1.91
3	54	1,118	2.43	8	38	1,610	1.68
4	45	778	2.66	9	43	1,696	1.80
5	55	1,322	2.26	10	34	923	1.80

*El Recuadro 13.3, continúa en la página siguiente*

Recuadro 13.3, continuación

Aunque los bosques de Mazagão tienen una mayor riqueza de especies que los de Ipixuna, las dos especies comerciales más valoradas (*Euterpe oleraceae* y *Calycophyllum spruceanum*) están entre las más dominantes y abundantes en ambos sitios. Esto indica que los habitantes están promoviendo el establecimiento y cultivo de estas y otras especies valiosas en sus bosques. De manera similar, la presencia de gran cantidad de frutales y especies maderables y medicinales indica la intensidad y la frecuencia del manejo por parte de la población local en ambos sitios. Los datos del inventario también muestran que las personas mantienen unos pocos individuos de diversas especies no comerciales. Entre estas especies figuran algunas especies pioneras, como *Cecropia palmata* y *Croton* sp., las cuales desempeñan un rol importante al atraer animales.

El índice de importancia estimado muestra que 8 de las 10 especies más importantes encontradas en los bosques de Mazagão e Ipixuna generan productos comerciales. Como en el caso del manejo de barbechos, las personas también están adaptando y desarrollando nuevas tecnologías de manejo que corresponden a condiciones ambientales y económicas específicas. Los pequeños productores se encargan de mantener la abundancia y el predominio de las especies económicamente importantes mediante la aplicación de prácticas de manejo que promueven la regeneración de las especies en diferentes condiciones ambientales y de iluminación. Por ejemplo, la mayoría de los agricultores realizan una cosecha previa para evitar dañar los bosques de manera excesiva y así optimizar la producción. Entre las operaciones de cosecha previa más recientes e innovadoras está la del voleo de semilla o la siembra de semilleros de especies valiosas antes de cortar los árboles maderables. La mayoría de los semilleros se colectan en otras partes del bosque; sin embargo, los semilleros de andiroba (*Carapa guianensis*) se producen principalmente en huertos caseros.

Fuente: Pinedo-Vásquez et al. (2003c).

proporcionada por técnicas modernas de fotografía aérea y teledetección, así como en descripciones previas.

En otra parte del mundo, Yin (2001) demostró cómo los agricultores de tala y quema que quedan en Yunnan, China, han modificado drásticamente sus sistemas —unos recientemente, otros hace bastante tiempo. Los cultivos y los métodos de cultivo han cambiado, se han reducido las rotaciones y se han encontrado las medidas para sostener la fertilidad dentro de estas rotaciones más cortas, se han introducido cultivos comerciales o se han encontrado usos comerciales para plantas que antes se usaban sólo para el consumo de subsistencia, e incluso se ha incorporado la técnica de terrazas para el cultivo. Sin embargo, a pesar de las adaptaciones altamen-

te calificadas que se han hecho y se siguen haciendo, muchos funcionarios y algunos científicos siguen pensando que todas las prácticas de los agricultores de tala y quema son primitivas y deben ser rápidamente reemplazadas. Solo una mirada moderna que valora las ventajas ecológicas de la agrosilvicultura ha permitido que se dé una nueva comprensión, tardía, de las habilidades tradicionales.

El cambio en los agroecosistemas de los pequeños agricultores generalmente se presenta en pasos, que van incrementando, y que aparentan no tener conexión entre ellos (Doolittle 1984; Padoch et al. 1998), que nuevamente añaden su dosis de complejidad y ambigüedad. Las limitaciones de mano de obra y otros recursos disponibles a los hogares campesinos para generar alteraciones ambientales exigen enfoques a largo plazo pero pueden solucionar las dificultades a medida que se presenten. En los ambientes marginales desde el punto de vista agrícola, la sola creación de tierras cultivables puede tomar años y muchas operaciones intensivas de mano de obra. Por ejemplo, la conversión de los pantanos de turba en huertos productivos de palma de coco o de rambután en las costas de la Provincia de Kalimantan Occidental en Indonesia es el producto de años de cavar cunetas, drenar, crear y luego destruir diversas formas de cultivos de arroz antes de poder establecer un huerto rentable. Un paisaje común en dicha región puede incluir una multitud de parches de diversos usos, manejos y diversidad. Todos los componentes de este mosaico de paisajes son parte de un sistema diverso, complejo y dinámico de la silvicultura a pequeña escala.

Tierra adentro de los pantanos de turba de Kalimantan, se está dando el cambio de un sistema a otro en un proceso también discontinuo, incremental y visualmente confuso. Padoch y otros han documentado cómo los aldeanos de Dayak están cambiando de la agricultura de tala y quema de arroz de secano al cultivo de arroz de riego (Padoch et al. 1998). El proceso de cambio crea múltiples etapas intermedias, muchas de ellas diversas y todas diferentes en productividad y apariencia. El estudio de la agrobiodiversidad en estos sistemas dinámicos plantea un reto a los científicos que quieran representar su riqueza de manera precisa.

## Conclusiones

La biodiversidad a escala del paisaje presenta una serie de retos tanto en su medición como en su interpretación. Puesto que un estudio exhaustivo es lógicamente imposible a esta escala, la naturaleza del marco de mues-

treo es críticamente importante y genera una serie de dificultades, especialmente en la definición de las muestras establecidas. Casi siempre se introduce un fuerte elemento útil. En el proyecto PLEC, seleccionamos campos dentro de tipos de campo y tomamos muestras exhaustivamente de cuadrantes dentro de estos, así como de huertos caseros enteros. En el trabajo europeo, se han hecho esfuerzos para encontrar indicadores que superen el problema de escala cuando se toman muestras a nivel del paisaje, pero no se puede aplicar universalmente ninguno de ellos. Puesto que la intención es evaluar el éxito de mejoras en el manejo, una combinación de indicadores bióticos seleccionados con aspectos estructurales de la matriz agrícola y aún de características específicas de manejo parece ser la mejor manera de proceder. Este enfoque, modificado, se podría aplicar en los países en desarrollo. Independientemente de cuán difícil sea medir de una manera científica válida, es necesario valorar la biodiversidad agrícola a escala del paisaje para poder entender muchas de las fortalezas de la agricultura de los pequeños productores, especialmente en los países en desarrollo. Gran parte de la diversidad manejada —si no directamente sembrada— de estos sistemas se encuentra en los márgenes de los campos, a lo largo de los caminos, entre las casas y en las orillas de las corrientes de agua. Estos parches de vegetación se cosechan regularmente y se consumen, venden o usan sus frutos para suplir cientos de necesidades económicas. Cuando se les quitan estos recursos invisibles a los agricultores, se desmejoran sus dietas e ingresos y muchas veces se pierde su capacidad para enfrentar las perturbaciones climáticas o económicas.

El elemento temporal del manejo de la biodiversidad por parte de los agricultores genera preguntas mayores. Se ha discutido en detalle la alternación de las fases acuática y terrestre en las planicies aluviales inundadas, pero el asunto más importante es el manejo útil del suelo en una etapa de uso de la tierra para crear una biodiversidad modificada en una etapa de uso de la tierra posterior, o, dicho de otra manera, la biodiversidad diferente que resulta de los cambios deliberados en el uso de la tierra. Estas secuencias son clave para entender el manejo en la escala del paisaje y revelan cuán grande puede ser el efecto del manejo en la biodiversidad. Este capítulo ha discutido la modificación de la biodiversidad mediante el manejo, tanto deliberadamente para afectar la biodiversidad como indirectamente mediante cambios determinados solamente por las necesidades de la producción. El flujo constante de la biodiversidad emerge como la conclusión central, y es el que cuestiona todas las nociones de la conservación “estática” de las condiciones en las plantas, los ensambles de plantas y los paisajes manejados.

## Nota

1. La diversidad alfa es la diversidad dentro de un sitio o un cuadrante (es decir, la diversidad local); la diversidad beta es el cambio en la composición de las especies entre un sitio y otro (es decir, la rotación de especies); y la diversidad gama es la diversidad de un paisaje o de todos los sitios combinados (es decir, la diversidad regional).

## Referencias

- Anderson, A. y E. Loris. 1992. The logic of extraction: Resource management and resource generation by extractive producers in the estuary. En K. Redford y C. Padoch, eds., *Conservation of Neotropical Forests*, 175–199. Nueva York: Columbia University Press.
- Blaikie, P. M. y H. Brookfield. 1987. *Land Degradation and Society*. Londres: Routledge.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. Nueva York: Columbia University Press.
- Brookfield, H. y C. Padoch. 1994. Appreciating agrodiversity: A look at the dynamism and diversity of indigenous farming practices. *Environment* 36(5):6–11, 37–45.
- Brookfield, H., M. Stocking y M. Brookfield. 2002. Guidelines on agrodiversity assessment. En H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 41–56. Londres: ITDG Publishing.
- Büchs, W. 2003. Biotic indicators for biodiversity and sustainable agriculture: Introduction and background. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:1–16.
- Bureau, J. C. 2003. *Enlargement and Reform of the EU Common Agriculture Policy: Background Paper* [mimeo]. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Cairns, M. 2006. *Voices from the Forest: Farmer Solutions Towards Improved Fallow Husbandry in Southeast Asia*. Washington, DC: Resources for the Future Press.
- Coffey, K. 2000. *PLEC Agrodiversity Database Manual*. Nueva York: New York Botanical Garden for the United Nations University.
- Coffey, K. 2002. Quantitative methods for the analysis of agrodiversity. En H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 78–95. Londres: ITDG Publishing.
- Dao, Z., H. Guo, A. Chen y Y. Fu. 2003. China. En H. Brookfield, H. Parsons y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195–211. Tokyo: United Nations University Press.
- Dauber, J., M. Hirsch, D. Simmering, R. Waldhardt, A. Otte y V. Wolters. 2003. Landscape structure as an indicator of biodiversity: Matrix effects on species richness. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:321–329.

- Doolittle, W. E. 1984. Agricultural change as an incremental process. *Annals of the Association of American Geographers* 82:369–385.
- Duelli, P. 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 62:81–91.
- Fairhead, J. y M. Leach. 1996. *Misreading the African Landscape: Society and Ecology in a Forest–Savanna Mosaic*. Oxford, Reino Unido: Clarendon Press.
- Forman, R. T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Guo, H., C. Padoch, Y. Fu, Z. Dao y K. Coffey. 2002. House hold-level biodiversity assessment. En H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 70–125. Londres: ITDG Publishing.
- Haines-Young, R. H., C. Barr, H. Black, D. Briggs, R. Bunce, R. Clarke, A. Cooper, F. Dawson, L. Firbank, R. Fuller, M. Furse, M. Gillespie, R. Hill, M. Hornung, D. Howard, T. McCann, M. Morecroft, S. Petit, A. Sier, S. Smart, G. Smith, A. S. Stott, R. Stuart y J. Watkins. 2000. *Accounting for Nature: Assessing Habitats in the U.K. Countryside*. Londres: Department of Environment, Transport and Regions.
- Hill, P. 1963. *The Migrant Cocoa-Farmers of Southern Ghana: A Study in Rural Capitalism*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Hoffmann-Kroll, R., D. Schäfer y S. Seibel. 2003. Landscape indicators from ecological area sampling in Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:363–370.
- Kaihura, F. B. S. 2002. Working with expert farmers is not simple: The case of plec Tanzania. En H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 132–144. Londres: ITDG Publishing.
- Kaihura, F. B. S., P. Ndoni y E. Kemikimba. 2002. Agrodiversity assessment and analysis in diverse and dynamic small-scale farms in Arumeru, Arusha, Tanzania. En H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 153–166. Londres: ITDGPublishing.
- Leach, M., R. Mearns y I. Scoones. 1999. Environmental entitlements: Dynamics and institutions in community-based natural resource management. *World Development* 27:225–247.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- OECD. 1997. *Environmental Indicators for Agriculture*, Vol. 1, *Concepts and Framework*. París: Organisation for Economic Cooperation and Development Publications Service.
- Opperman, R. 2003. Nature balance for farms: Evaluation of the ecological situation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:463–475.

- Osinski, E. 2003. Operationalisation of a landscape-oriented indicator. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:371-386.
- Padoch, C., E. Harwell y A. Susanto. 1998. Swidden, sawah and in-between: Agricultural transformation in Borneo. *Human Ecology* 26:3-20.
- Pinedo-Vásquez, M., K. Coffey, L. Enu-Kwesi y E. Gyasi. 2003a. Synthesizing and evaluating plec work on biodiversity. *PLEC News and Views NS* 2:3-8.
- Pinedo-Vásquez, M., P. P. del Aguila, R. Romero, M. Ríos y M. Pinedo-Panduro. 2003b. Peru. En H. Brookfield, H. Parsons y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 232-248. Tokyo: United Nations University Press.
- Pinedo-Vásquez, M., D. G. McGrath y T. Ximenes. 2003c. Brazil (Amazonia). En H. Brookfield, H. Parsons y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 43-78. Tokyo: United Nations University Press.
- Pierr, H. P. 2003. Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:17-33.
- Sowei, J. y B. Allen. 2003. Papua New Guinea. En H. Brookfield, H. Parsons y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 212-231. Tokyo: United Nations University Press.
- Toulmin, C. 1992. *Cattle, Women and Wells: Managing House hold Survival in the Sabel*. Oxford, Reino Unido: Clarendon Press.
- Waldhardt, R. 2003. Biodiversity and landscape: Summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:305-309.
- Waldhardt, R. y A. Otte. 2003. Indicators of plant species and community diversity in grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:339-351.
- Waldhardt, R., D. Swimmering y H. Albrecht. 2003. Floristic diversity at the habitat scale in agricultural landscapes of central Europe: Summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:79-85.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21:213-251.
- Yin, S. 2001. *People and Forests: Yunnan Swidden Agriculture in Human-Ecological Perspective*. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Education Publishing House.
- Zarin, D. J., H. Guo y L. Enu-Kwesi. 2002. Guidelines for the assessment of plant species diversity in agricultural landscapes. En H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 57-69. Londres: ITDG Publishing.

## 14 Diversidad e innovación en los sistemas de los pequeños agricultores en respuesta a cambios ambientales y económicos

---

K. RERKASEM Y M. PINEDO-VÁSQUEZ

En un mundo donde la mayoría de los productos agrícolas se producen industrialmente, los pequeños agricultores de los trópicos están entre los pocos grupos que todavía siembran y manejan una gran diversidad de cultivos y otros recursos biológicos en sus tierras. Los expertos han identificado las especies y variedades de cultivos más raras en los campos de pequeños agricultores y han hecho un llamado para su conservación. Los peligros que corre la agricultura mundial debido a la pérdida de la diversidad de los cultivos y de la flexibilidad que ella ofrece son bien conocidos y se han establecido programas para conservar in situ y ex situ estos invaluable recursos. Sin embargo, sobre la base de la experiencia del proyecto Pueblos, Tierra, Manejo y Cambio Ambiental (PLEC, de su nombre en inglés), argumentamos que las contribuciones importantes de los pequeños agricultores no son solamente la selección de cultivos y variedades raras presentes en sus parcelas. Los pequeños agricultores también han creado y continúan desarrollando una gran abundancia de complejos y diversos sistemas de uso de recursos que también son recursos importantes y amenazados. La biodiversidad significativa de estos sistemas de producción refleja e integra recursos tanto biológicos como tecnológicos. La conservación de la agrobiodiversidad avanzaría mucho si se documentaran, evaluaran, mejoraran y promocionaran estos sistemas de uso de los recursos tan diligentemente como los productos que de ellos se derivan.

En este capítulo analizamos estos sistemas de uso de los recursos y cómo los pequeños agricultores constantemente los generan y los cambian. Nos enfocamos particularmente en las tecnologías de producción y manejo del pequeño agricultor, que están fuera de las categorías absolutas

de indígena o no indígena, y tradicional o moderna. La experiencia de campo muestra que un espectro amplio de pequeños agricultores mantiene sistemas de gran valor en términos de biodiversidad, y que generalmente es imposible o improductivo separar las tecnologías de los pequeños agricultores en esas categorías. El repertorio, complejo y diverso, de tecnologías de uso de los recursos y de prácticas de conservación al que nos referimos, genera y mantiene ambientes que son la base de una gran diversidad de cultivos y otros organismos cultivados o manejados. Sabemos que los altos niveles de agrobiodiversidad y otras formas de diversidad biológica manejada por los pequeños agricultores son uno de los más importantes activos económicos de los pequeños agricultores del mundo. Sugerimos que la agrobiodiversidad de los pequeños agricultores también refleja y apoya su capacidad de responder tecnológicamente y económicamente, y de adaptarse a una gran cantidad de procesos ecológicos y sociales que caracterizan sus ambientes y sociedades rápidamente cambiantes.

Para apoyar nuestras generalizaciones, presentamos, analizamos y discutimos algunos datos empíricos sobre agricultura dinámica, agrosilvicultura y tecnología de manejo forestal, como también sobre prácticas de conservación, provenientes de sitios de demostración del proyecto PLEC en los trópicos. El proyecto PLEC se está desarrollando en las parcelas de los pequeños agricultores de China, Papúa Nueva Guinea, Tanzania, Kenia, Uganda, Ghana, Guinea, México, Jamaica, Perú y Brasil (ver también capítulo 13). La propuesta del PLEC enfoca la diversidad y el dinamismo de las estrategias de los agricultores y la agrobiodiversidad resultante, y los trata no sólo como productos tradicionales de largas historias de experiencias de la comunidad, sino también como el resultado de la creatividad y las decisiones individuales ante los inexorables cambios ambientales, sociopolíticos y económicos. Los cambios que discutimos aquí provienen de una gran variedad de causas —a menudo un complejo de causas— y varían en su duración, severidad y configuración. Nos enfocamos en cambios y respuestas a nivel local; es decir, no revisamos las respuestas a los grandes desastres que han recibido la atención mundial, ni tampoco generalizamos acerca de la reacción de los pequeños agricultores a generalizaciones como la “globalización”, aunque algunos de nuestros ejemplos presentan lo que se podría calificar como un “desastre”, es decir “uno o varios eventos perjudiciales repentinos que causan gran daño, pérdida o destrucción” (Diccionario Electrónico Merriam-Webster), y la mayoría de los ejemplos describen cambios en los precios y mercados con nexos globales. El colapso de varias aldeas en las aguas arremolinadas del Amazonas parece un desastre, como lo es la llegada de una nueva enfermedad

que aniquila la principal fuente de ingreso de la comunidad, o la caída en picada de los precios de una importante cosecha de café. Sin embargo, los casos de estudio que discutimos aquí, que sí presentan eventos abruptos y catastróficos, se analizan a una escala local y se describen atendiendo no sólo lo general, sino también lo específico. La “invisibilidad” de las calamidades que incluimos refleja no solamente su pequeña escala y ubicación rural sino también la flexibilidad y diversidad esencial que los pequeños agricultores han mostrado al sobreponerse exitosamente a dichos eventos.

Los sistemas de los pequeños agricultores pueden ser flexibles, idiosincráticos y específicos a un sitio. Sin embargo, enfatizamos que esos sistemas usualmente integran, en lugar de separar, muchos tipos de tecnologías de uso de recursos y prácticas de conservación. Se sigue despreciando la variedad de tecnologías que apuntan no sólo a explotar sino también a conservar los recursos entre los pequeños agricultores. Concluimos haciendo unas pocas observaciones y recomendaciones generales sobre estrategias de investigación y desarrollo. Creemos firmemente que si nos proponemos ayudar a los países pobres a usar su diversidad biológica de manera sostenible y a mejorar la situación de algunos de sus agricultores más pobres, necesitamos valorar e incorporar los recursos tecnológicos y las prácticas de conservación que fundamentan los altos niveles de agrobiodiversidad encontrada en los paisajes de producción que los pequeños agricultores han diseñado y manejado durante siglos y hasta el presente.

### Procesos y productos de la agrobiodiversidad

El enfatizar los productos más que los procesos indudablemente ha ayudado a oscurecer el dinamismo de los sistemas desarrollados por los pequeños agricultores. Igualmente, el énfasis que muchos investigadores — irónicamente incluyendo algunos de los que más valoran a los pequeños agricultores— le dan a la persistencia y adaptación a largo plazo, implica que estos sistemas nunca cambiarán. Ciertamente reconocemos la importancia de la visión a largo plazo de muchos aldeanos y el establecimiento de experiencias a largo plazo que caracterizan la producción de los pequeños agricultores. Sin embargo, también afirmamos que la capacidad de los pequeños agricultores de generar tecnologías y estrategias innovadoras puede ser la cualidad más importante que tienen para enfrentar los problemas y las oportunidades generadas por los cambios ambientales y económicos. La diversidad, tanto biológica como tecnológica, frecuentemente es la clave de la adaptabilidad. Las muchas “formas [integradas]

en las que los agricultores usan la diversidad natural del ambiente para la producción, incluyendo su selección de cultivos y manejo de la tierra, del agua y de la biota como un todo” o “la agrobiodiversidad” (Brookfield y Padoch 1994:8) son esenciales para permitir a los pequeños agricultores enfrentar los cambios, tanto positivos como negativos, en sus ambientes sociales y naturales.

Los investigadores han estudiado durante mucho tiempo la adaptación e innovación tecnológica de los sistemas de producción de las sociedades de los pequeños agricultores en respuesta al cambio (Feder y O'Mara 1981). Por ejemplo, tal vez el trabajo más influyente de las últimas cuatro décadas en este campo es el de Boserup titulado *Conditions of Agricultural Growth* (Condiciones para el Crecimiento de la Agricultura), el cual establece una relación entre la intensificación del uso de la tierra y el crecimiento de la población (Brookfield 2001). Sin embargo, con algunas notables excepciones (Richards 1993; Scoones y Thompson 1994), la mayoría de los investigadores han considerado que el cambio tecnológico entre los pequeños agricultores es representativo de un cambio evolutivo a largo plazo, o alternativamente, el abandono abrupto y forzado, o la degradación o el colapso del sistema. Nosotros, en cambio, nos enfocamos en la transformación y la adaptación que han sido y deben ser una constante en la producción de los pequeños agricultores, si esperan persistir, y en la agrobiodiversidad que ha sido la herramienta adaptable y esencial de los agricultores.

Los investigadores del PLEC han recolectado datos muy valiosos sobre agrobiodiversidad durante varios años, los que muestran que los agricultores continuamente están innovando y adaptando tecnologías para aprovechar las oportunidades y resolver los problemas que se les presentan (consultar a Brookfield et al. 2002, 2003 donde se presenta una muestra más amplia de estos datos). Vamos a realizar un bosquejo con varios ejemplos para ilustrar la gran variedad de sistemas utilizados y las dificultades superadas. Por ejemplo, los agricultores de la Amazonía brasileña han desarrollado un sistema agroforestal llamado *banano emcapoeirada* que les permite producir banano a pesar de la infestación de una enfermedad bacteriana que había eliminado otras plantaciones de banano sembradas en sistemas de monocultivo (Pinedo-Vásquez et al. 2002b). Un incremento en la demanda del mercado de hortalizas silvestres y los cambios en las políticas de la tierra han motivado a los agricultores pobres de Tailandia a desarrollar un sistema de agricultura marginal (Rerkasem et al. 2002). En Kenia, la disminución de los precios del café ha hecho que los agricultores desarrollen un sistema de aglomerado para sembrar varias especies y variedades

de cultivos anuales y semi perennes, al tiempo que mantienen los lotes de café de tamaños adecuados (Kang'ara et al. 2003). Los agricultores peruanos han desarrollado una “tradicción de cambio” para producir cultivos y manejar su dinámico entorno económico y biofísico, y hacer frente al desastre potencial de la erosión de las riveras de los ríos (Pinedo-Vásquez et al. 2002a).

### Agrodiversidad y variación en las respuestas de los agricultores al cambio

Hace aproximadamente dos décadas, los incendios de matorrales en un año de El Niño dañaron severamente el cacao y otras especies de frutas sembradas en los campos de los pequeños agricultores de Ghana. Este evento sucedió en un contexto económico en el que el cacao era ya un cultivo en decadencia: el precio de los granos de cacao era bajo y la mayoría de los agricultores de Ghana ya estaba experimentando una rápida transición del auge a la quiebra en la economía del cacao. A principios de 1990, los científicos del PLEC empezaron a evaluar algunas aldeas de Ghana y encontraron que la mayoría de los agricultores había preservado la diversidad necesaria para cambiar su sistema de producción a una rotación que incluía el maíz y la yuca (Gyasi et al. 2003). Grandes franjas rurales de Ghana cambiaron de un paisaje dominado por las plantaciones de cacao a un mosaico de fincas pequeñas donde se siembra una gran diversidad de cultivos. Los agricultores continuaron añadiendo productos a este paisaje de producción, incluyendo pollos e incluso caracoles. También se restauró una gran diversidad de ñames que habían prácticamente desaparecido como resultado del auge del cacao (Recuadro 14.1). El cambio de los agricultores de Ghana del monocultivo a la “agrodiversidad” resultó ser económicamente importante para muchos cuando cayeron los precios del grano de cacao y la serie de incendios en el año de El Niño destruyeron las plantaciones de cacao (Gyasi y Uitto 1997). El paisaje de una diversa producción resultante tiene también otras funciones importantes: ayuda a los agricultores a reducir el riesgo de incendios, y restablece y mantiene la cubierta vegetal, lo que a su vez restaura una variedad de servicios del ecosistema que habían sido severamente afectados por las extensas plantaciones de cacao.

Los cambios de productos y de sistemas de producción, como estrategia para superar la pérdida de los mercados de cultivos comerciales y de productos forestales, que hicieron las comunidades Hmong en las tierras altas de Tailandia, es otro ejemplo de cómo los agricultores confían en

#### Recuadro 14.1 Sistemas de rotación de cultivos en Ghana

Los sistemas de rotación de cultivos están ayudando a los agricultores a sembrar más especies y variedades de cultivos en sus campos agrícolas y agroforestales (Cuadro en el Recuadro 14.1) Actualmente los agricultores están sembrando y conservando en sus parcelas un promedio de 13 variedades de yuca y 140 cul-

CUADRO EN EL RECUADRO 14.1. Sistemas de rotación de cultivos y sus beneficios.

Prácticas o Régimen	Principales Características y Ventajas
Rotación de matorral–barbecho, utilizando fuego para limpiar la parcela	Forma de regenerar la fertilidad del suelo y conservar las plantas en condiciones silvestres
Labranza mínima y uso controlado del fuego para limpiar la vegetación	Perturbación mínima del suelo y la biota
Siembra de cultivos intercalados, rotación de cultivos y agricultura mixta	Maximiza el uso de los nutrientes del suelo; mantiene la biodiversidad de los cultivos; dispersa el riesgo de pérdida total del cultivo; aumenta la diversidad de tipos de alimentos y de nutrientes; favorece la regeneración del suelo
Agrosilvicultura mezclada: siembra de cultivos entre los árboles dejados <i>in situ</i>	Conserva los árboles; regenera la fertilidad del suelo mediante los desechos de la biomasa. Algunos árboles aumentan la capacidad productiva del suelo al fijar nitrógeno
<i>Oprowka</i> , practica agrícola que no utiliza la quema y forma una capa de hojarasca con los restos de la vegetación que se ha cortado para su descomposición <i>in situ</i>	Mantiene la fertilidad del suelo en tanto conserva y estimula los microbios y agrega humus mediante la descomposición de la vegetación; conserva los propágulos de las plantas, incluyendo los que están en el suelo, pues evita el uso del fuego
Uso de basura doméstica y estiércol en los huertos caseros	Mantiene la productividad del suelo

*El Recuadro 14.1, continúa en la página siguiente*

Recuadro 14.1, continuación

Prácticas o Régimen	Principales Características y Ventajas
Uso del akoko ( <i>Neubouldia laevis</i> ) como estaca viva para el ñame	El sistema de enraizamiento casi vertical del akoko favorece la expansión de tubérculos del ñame, y la canopea provee sombra, hojarasca y humus. Se cree que el akoko también fija nitrógeno
Cosecha escalonada de cultivos	Asegura la disponibilidad de alimentos a largo plazo
Almacenamiento de cultivos en el suelo, principalmente de especies de ñame, para futuras cosechas	Aumenta la seguridad alimentaria y garantiza una fuente de semilla
Conservación del bosque en el patio trasero	Conserva las especies forestales; fuente rápida de plantas medicinales; favorece la apicultura, la cría de caracoles y la producción de cultivos de sombra como el ñame

Fuente: Gyasi et al. (2003).

tivares de ñame. Los complejos sistemas de rotación también están ayudando a los agricultores a intercalar diversas variedades de hortalizas fijadoras de nitrógeno como el caupí, el maíz, el ají y las leguminosas con especies de frutales tales como el mango, el aguacate, los cítricos, el coco y el caimito (*Chrysophyllum albidum*).

la agrobiodiversidad para aprovechar los cambios. Los agricultores Hmong producen col comercialmente utilizando un complejo sistema de rotación de cultivos (Rerkasem et al. 2002). La principal función de dicho sistema de rotación le permite a los agricultores Hmong mantener altos niveles de agrobiodiversidad al reorganizar, tanto temporal como espacialmente, sus cultivos en terrazas, logrando así optimizar la producción y la eficiencia de la mano de obra, y minimizar los efectos adversos de los fertilizantes y plaguicidas aplicados en sus campos y en los ambientes circundantes. Los múltiples productos del sistema rotacional ayudan a los agricultores a manejar las fluctuaciones en los precios de la col y a tener ganancias incluso durante la desactivación de los mercados (Rerkasem et al. 2002).

La identificación y documentación hecha por los investigadores de PLEC de la variación en las formas en que los pequeños agricultores responden a los cambios ha generado un rico repertorio de tecnologías y prácticas de producción, manejo, conservación de cultivos y otras formas de diversidad biológica a nivel de parcela, hogar y paisaje. A pesar de las grandes diferencias en las respuestas tecnológicas de los pequeños agricultores a los cambios, encontramos que tienden a ser consistentemente distintas a las soluciones propuestas por los expertos. Un sistema multicapa y multiuso desarrollado por los pequeños agricultores en China para reforestar pendientes y otras áreas deforestadas (Recuadro 14.2) provee un ejemplo de este contraste (Guo et al. 2003).

Los pequeños agricultores del suroeste de China participan en programas gubernamentales de reforestación. Estos programas promocionan la siembra de dos especies de rápido crecimiento que les traen pocos beneficios por lo cual han incorporado, en cambio, varias especies nativas de árboles como parte de un sistema multicapa y multiuso. Inicialmente se pensó que la inclusión de especies nativas de árboles era un poco extraña puesto que el tiempo de rotación para la cosecha de estas especies es tres veces más largo que el de las especies recomendadas por los forestales. Mediante el trabajo de campo, los investigadores del PLEC encontraron que los agricultores que sembraban las especies locales no necesitaban esperar hasta el final de la rotación de estos árboles para obtener beneficios (Dao et al. 2001). Las especies nativas crean hábitats para insectos y vegetación herbácea, lo cual favorece el crecimiento de hongos y hortalizas silvestres, e incluso, para la cría de pollos. En contraste, las áreas reforestadas solamente con las especies recomendadas por los forestales tienen muy pocos insectos y no proveen hábitats para el crecimiento de hongos y hortalizas silvestres. Este ejemplo de China es uno de los muchos casos documentados por los miembros del PLEC que observaron y registraron las tecnologías desarrolladas localmente como respuesta a los cambios impuestos. La diseminación de las técnicas usadas por los agricultores chinos en la reforestación de sus tierras con especies nativas ha facilitado en gran medida la incorporación de otros pequeños agricultores en los programas de reforestación. Este caso también ilustra nuestra opinión de que el enfoque en las prácticas desarrolladas por los agricultores no es una posición de atraso y no se limita a las prácticas tradicionales. Muchos agricultores pobres son dinámicos y progresistas.

Los agricultores pobres continuamente están creando y suministrando nuevas tecnologías a la sociedad, las cuales producen beneficios tanto a corto como a largo plazo, y ellos lo hacen sin alterar radicalmente pro-

**Recuadro 14.2** Sistema de reforestación multicapa y multiuso en Baihualing, Baoshan, China.

El sistema de reforestación multicapa y multiuso desarrollado por los agricultores chinos es un mejoramiento de su sistema tradicional de agrosilvicultura. Algunas de las especies de árboles más comunes sembradas o protegidas incluyen las siguientes:

- *Phoebe puwenensis*, especie maderable de rápido crecimiento y de regeneración natural
- *Alnus nepalensis*, especie comúnmente sembrada en campos agroforestales, suministra cubierta para la regeneración natural de especies de árboles en lotes reforestados
- *Toona sianensis*, especie de árbol maderable y de hortaliza silvestre
- *Toona ciliate*, especie maderable noble y de crecimiento lento
- *Cunninghamia lanceolata*, especie maderable, usada también como leña
- *Punica granatum*, especie maderable, usada también como leña
- *Pinus armandii*, especie maderable de rápido crecimiento
- *Lindera communis*, especie maderable de rápido crecimiento
- *Trachycarpus fortunei*, árbol que produce fibra para tejer y flores comestibles
- *Crateva unilocularis*, especie maderable de rápido crecimiento que produce también flores comestibles
- *Paris* sp., especie maderable de uso medicinal

Cuando estas especies están establecidas, los agricultores enriquecen la plantación sembrando nueces, castaños, diferentes variedades de peras y varias plantas medicinales como la *Dendrobium candidum*, una especie de orquídea medicinal. En el proceso de enriquecer sus bosques, ellos crean pequeños espacios (generalmente de 1.5 a 3 metros de largo) donde siembran o protegen las hortalizas silvestres. Además, se colocan ramas de las especies maderables en la base de los árboles más grandes para producir hongos. Los lotes reforestados utilizando el sistema multicapa y multiuso contienen 73 especies, 52 (71%) de las cuales son económicamente importantes.

Fuentes: Dao et al. (2001, 2003).

cesos ecológicos importantes, como sí lo hacen muchos de los sistemas de producción modernos. Al mantener parches de vegetación en diferentes estados de desarrollo e interconectados con los campos agrícolas, los agricultores pobres a menudo mantienen importantes servicios ambientales, conservando los suelos y el agua, al igual que la biodiversidad. Estos sistemas desarrollados localmente también ofrecen soluciones prácticas y

fácilmente accesibles a problemas aparentemente devastadores causados por brotes de enfermedades o debidos a cambios ambientales rápidos. Dos trabajos del PLEC en la Amazonia muestran cómo los agricultores aprovechan la agrobiodiversidad y su conocimiento de las funciones y servicios del ecosistema para sobreponerse a lo que podrían ser desastres inminentes.

Muchas aldeas de la llanura aluvial del Amazonas eran hasta hace poco grandes exportadoras de banano. Los pequeños agricultores del área no solamente suministraban banano a los mercados urbanos del estado de Amapá, sino que además exportaban a la gran ciudad amazónica de Belén. Sin embargo, en los últimos años la producción de banano en la región ha sido casi completamente eliminada por el moko, una enfermedad conocida localmente como *febre de banana*. La enfermedad, común en muchas áreas bananeras, se puede controlar mediante una campaña coordinada y costosa de destrucción de plantas infectadas, la desinfección repetitiva de todas las herramientas utilizadas y la inspección constante de todas las plantaciones (Stiver y Simmonds 1987). Estas medidas de control no son económicamente factibles para los productores locales de banano. Los aldeanos locales o ribeirinhos han desarrollado un sistema agroforestal, conocido localmente como el sistema de *banana emcapoeirada*, mediante el cual los agricultores manejan la enfermedad aunque no logran eliminarla.

El sistema agroforestal de *emcapoeirada* es una nueva adaptación de un sistema que combina técnicas agroforestales y prácticas de manejo forestal. Existen muchas discusiones sobre sistemas agroforestales amazónicos, incluyendo cómo los habitantes de esta región adaptan los patrones tradicionales a las necesidades y oportunidades modernas (Padoch et al. 1985; Padoch y de Jong 1987, 1989, 1995; Denevan y Padoch 1988; Irvine 1989; Posey 1992). Sin embargo, estos estudios no examinan los sistemas agrosilviculturales como un recurso para controlar las enfermedades de las plantas como la *febre de banana*.

En Amapá los agricultores ahora siembran banano y fomentan la regeneración natural y el crecimiento de *sororoca* y *pariri*, dos especies silvestres nativas de la familia de las Musáceas. Los aldeanos reportan que estas dos especies no compiten (*brigar*, en términos locales) con el banano. Al contrario, protegen las parcelas de banano de la dispersión de la enfermedad. Además de estas dos especies, las parcelas de *banana emcapoeirada* incluyen un gran número de otras plantas y tienen la apariencia de un bosque. Desde que el sistema fue adoptado, la producción de banano por hectárea se ha incrementado en un 500% (Cuadro 14.1).

En el otro extremo del río Amazonas, el sector Muyuy en Perú es parte de una planicie aluvial muy dinámica (Kalliola et al. 1993). La región com-

**Cuadro 14.1.** Incremento en la producción y las variedades de banano utilizadas en el sistema agroforestal conocido en Brasil como banana emcapoeirada\*.

Año	Producción (racimos/ha)	Variedades de banano sembradas
1997	63	3 (variedades locales tolerantes a la sombra)
1998	165	3 (variedades locales tolerantes a la sombra)
1999	247	5 (3 locales y 2 traídas de la región de Santarém)
2000	284	6 (3 locales, 2 de Santarém y 1 de Obidos)
2001	332	9 (3 locales, 2 de Santarém, 1 de Obidos y 3 de Embrapa)
2002	378	9 (3 locales, 2 de Santarém, 1 de Obidos y 3 de Embrapa)

\* El sistema de producción de banano conocido localmente como banana emcapoeirada se utiliza actualmente en combinación con el manejo de especies maderables.

prende paisajes heterogéneos que incluyen una gran diversidad de asentamientos humanos, formaciones de suelos, espejos de agua y vegetación de cobertura. Al revisar tres series de imágenes de Landsat, se puede observar que ha habido grandes cambios en la dirección del río y en la ubicación de características estructurales en el período comprendido entre 1987 y 2000 (Pinedo-Vásquez et al. 2002a). Durante este período se formó un nuevo lago, se sedimentó un canal secundario y el río Amazonas cambió su curso significativamente, reduciendo el tamaño de la gran y poblada isla Padre. Dos de las cinco aldeas localizadas en la isla se trasladaron al otro lado del río y se fundaron dos nuevas aldeas. Muchos agricultores perdieron completamente sus tierras, y los cambios en el área y en la cantidad de relieves y arroyos causaron otros múltiples cambios económicos importantes. Estos incluyen cambios en las poblaciones de peces, y un incremento de los bancos de lodo disponibles durante la temporada de seca y en los diques altos.

Los aldeanos han respondido a estos cambios extremos no solamente trasladando sus aldeas sino también cambiando su amplio repertorio agrícola. Ellos han sembrado arroz y una multitud de otros cultivos anuales en las camas de lagos secos y en la nueva llanura de los diques bajos. Ellos

utilizan los diques altos emergentes para sembrar árboles frutales y otras especies agrosilviculturales. La riqueza tanto de la biodiversidad agrícola (por ejemplo, 18 variedades de frijol que pueden ser sembradas en diversas condiciones de cultivo) como de las tecnologías (se han reportado al menos 12 sistemas agrícolas diferentes; Padoch y de Jong 1989) para explotar los muchos accidentes geográficos son los más importantes recursos de los aldeanos en este ambiente dinámico.

Además de los cambios que afectan la agricultura, una fuerte corriente está arrastrando la vegetación a lo largo de un nuevo arroyo y formando una cantidad de nuevos canales pequeños que facilitan el acceso de los recursos forestales al interior de la isla grande. La mayor facilidad de acceso a esta área ha causado un incremento en la extracción del ochoó (*Hura crepitans*) y otras especies maderables. Esto a su vez ha motivado a los aldeanos a controlar el acceso a los recursos y a su extracción. Por ejemplo, se establecieron normas comunales que prohíben a los forasteros extraer madera del territorio de la comunidad y limita la extracción de los residentes a 4 árboles adultos (diámetro a la altura del pecho de más de 55 cm) por año. Estos cambios en el control de las aldeas ilustran cómo los *ri-bereños* (nombre con el que se conocen los habitantes del río Amazonas en Perú) responden efectivamente a los cambios, no solamente variando las técnicas de explotación, sino también transformando las normas sociales para que se ajusten a las nuevas oportunidades de explotación.

### Apreciando el cambio y la hibridación

Hay varias razones por las cuales es difícil para los investigadores y técnicos apreciar los sistemas de producción de los agricultores pobres, incluso cuando son lucrativos y ricos en términos de biodiversidad. Un problema común es que muchas de las tecnologías desarrolladas por los agricultores en el trópico confunden las categorías y conceptos que les son familiares a aquellos que estudian, desarrollan y diseminan las innovaciones agrícolas. Incluso algunos términos comunes usados para describir cómo los agricultores organizan sus cultivos (por ejemplo monocultivo, policultivo, intercalado) revelan poco acerca de la diversidad encontrada en muchas parcelas de los pequeños agricultores (Scoones y Thompson 1994). Es difícil comprender las respuestas al cambio desarrolladas localmente sin analizar la diversidad técnica de tareas aparentemente estándar como el desmonte, el trabajo con azadón, el arado, la siembra, la limpieza de malezas, la pro-

tección, la cosecha y los períodos de barbecho (Agrawal 1997). Estas categorías de las actividades en la parcela pueden ocultar tanto como revelar.

Muchos de los sistemas de los pequeños agricultores promovidos por el PLEC parecen ser invisibles o incomprensibles para los expertos agrícolas por varias razones. La agrobiodiversidad en sí misma puede ser visual y conceptualmente ambigua. Los sistemas biológicamente diversos son difíciles de entender, especialmente para aquellos entrenados en buscar orden, simplicidad y uniformidad en las tareas agrícolas. Muchos de los sistemas de manejo que el PLEC promueve inicialmente fueron incluso difíciles de identificar como sistemas de manejo. Es fácil también mal interpretar el dinamismo. Entre las personas preocupadas por el ambiente y el desarrollo, y quienes ahora enfatizan lo deseable de la producción sostenible, el dinamismo puede ser fácilmente confundido con la degradación. Las tecnologías de los pequeños agricultores generalmente también combinan piezas de lo local y de lo prestado, en una totalidad híbrida inesperada (Gupta 1998). Generalmente estas tecnologías de producción son entonces ignoradas o menospreciadas tanto por los defensores de lo autóctono e indígena, como por aquellos que defienden las tecnologías modernas.

La combinación de lo nuevo y lo viejo, de lo local y lo extranjero, es característica de todo conocimiento y por supuesto de toda práctica de manejo de los recursos. Sin embargo, en nuestro mundo de “paquetes de producción” y de ideologías modernistas (y conservacionistas), estos sistemas obviamente mixtos por lo general no se aprecian. Muchas veces simplemente no se ven. Estas tecnologías continúan reflejando el conocimiento profundo desarrollado localmente sobre suelos específicos, cursos de agua, climas y biodiversidad, y el manejo de los procesos ecológicos (Recuadro 14.3), pero han sido actualizadas o combinadas con conocimientos y prácticas aprendidos por los agricultores fuera de sus aldeas (Fairhead 1993).

Los sistemas híbridos generalmente introducen niveles de biodiversidad más altos dentro de lo que son los sistemas de monocultivo. Un ejemplo recientemente reconocido por los investigadores del Centro Internacional para la Investigación en Agrosilvicultura (International Center for Research in Agroforestry) en el sureste asiático, incluye los sistemas denominados “caucho selvático”. Estos sistemas de producción combinan la siembra de árboles de caucho con el manejo de muchas otras especies en parcelas que imitan bosques naturales y proveen muchos de los servicios ambientales de los bosques permanentes. El caucho selvático es producto de dos de los patrones de formación de sistemas híbridos probablemente más comunes: integrar el conocimiento obtenido mientras se realiza traba-

**Recuadro 14.3** Componentes del ecosistema como instrumentos de las prácticas culturales en la conservación *in situ* de la agrobiodiversidad.

El objetivo de este estudio fue entender la influencia de los componentes del ecosistema en los factores socioculturales que afectan la toma de decisiones de los agricultores en el manejo diario de sus recursos fitogenéticos. El estudio se centró en seis especies cultivadas: sorgo (*Sorghum bicolor*), mijo (*Pennisetum glaucum*), maní (*Arachis hypogaea*), caupí (*Vigna unguiculata*), oca (*Abelmoschus esculentus*) y papa china o hausa (*Solenostemon rotundifolius*).

El estudio se llevó a cabo en tres zonas agroecológicas diferentes de Burkina Faso: la zona norte (menos de 500 mm de precipitación anual, aldea Ouahigouya); el centro norte (menos de 400 a menos de 600 mm de precipitación, aldea Tougouri) y el sur este (más de 1000 mm, aldea Thiougou).

Un equipo multidisciplinario encuestó a los agricultores en los tres sitios. Se seleccionó un sitio en cada zona agroecológica de acuerdo con los siguientes criterios: importancia de la agricultura para la población local, grado de erosión genética en progreso, papel de las especies estudiadas en la vida de la población local, influencia del ambiente en la conservación de la diversidad biológica de la agricultura e importancia de la interdependencia de los fenómenos sociológicos en el desarrollo de la agricultura. Los datos recolectados en los tres sitios correspondían a observaciones hechas por los agricultores respecto al desarrollo de las plantas (fenología), al comportamiento de los animales (etología), al movimiento de las estrellas y a los cambios en la atmósfera relacionados con sus predicciones acerca de la naturaleza de la siguiente temporada de lluvia y temporada agrícola.

Los agricultores tuvieron en cuenta dos grupos de signos de la temporada siguiente: las diferentes etapas del desarrollo de las plantas y los signos relacionados con el comportamiento de los animales, como la apariencia o la duración del canto de algunas aves, su forma de construir el nido y su posición, la reubicación de los reptiles, y los movimientos y el croar de los batracios (Cuadro en el Recuadro 14.3). Estos signos se utilizan para predecir la siguiente temporada de lluvias. El siguiente grupo más utilizado incluye: el movimiento de ciertas estrellas (como “la Osa Menor”), la dirección y orientación de los vientos, la consulta del tradicional calendario lunar y la predicción que haga la persona normalmente encargada (llamada Tengsoba) del grupo étnico de los Gnignonsés.

La comprensión del papel de los componentes del ecosistema, como base para la predicción es vital para el agricultor burkinés. Debido a que los componentes de los agroecosistemas son muy variables, los agricultores entienden la necesidad de disponer y mantener diversidad biológica de acuerdo con su interpretación de los signos de la naturaleza, y mediante los cuales entonces recomiendan las variedades que se van a sembrar, escogen los métodos de cultivo que se van a utilizar, determinan las fechas de siembra y predicen si el cultivo será bueno o malo. Estas prácticas cumplen un gran papel en el control del ambiente agroecológico mediante el conocimiento de las condiciones climáticas,

*El Recuadro 14.1, continúa en la página siguiente*

Recuadro 14.3, continuación

CUADRO EN EL RECUADRO 14.3. Signos ambientales utilizados por los agricultores para predecir la temporada de lluvias en Ghana.

Plantas	Animales	Estrellas y Clima	Ritos
El árbol de kapok ( <i>Ceiba pentandra</i> ) presenta una buena floración	Canto prolongado del <i>frouko</i> y <i>falaogo</i> .	Las primeras lluvias caen tarde en la noche	De acuerdo con las predicciones de "los que hacen la lluvia".
Buena emergencia de semillas	Desde su nido, el <i>uaali</i> (cigüeña) voltea su cabeza hacia el occidente. El <i>taba</i> construye sus nidos en lo alto de los árboles.	Los vientos soplan fuerte de sur a norte	Pronósticos de los jefes de la tierra
Fructificación uniforme de las especies <i>Xemenia americana</i> , <i>Ficus platyphylla</i> , <i>Diospiros mespiliformis</i> , <i>Vitelaria paradoxa</i> , <i>Sclerocarya birrea</i> , <i>Heeria insignis</i> y <i>Lannea microcarpa</i>	Solo una cigüeña vuela de un lado a otro en la aldea	Marzo es muy cálido. El frío empieza a sentirse en diciembre, y durante tres meses más se ven espejismos de agua durante el día	
Lluvias fuertes en el día Bèga (fiesta tradicional)	Aparece el <i>taba</i>	Desde el inicio de la estación lluviosa, llueve en todas partes.	
La Palmira africana (palma <i>Borassus</i> , <i>Borassus aethiopum</i> Mart.) produce buen follaje	El sapo de caña o neotropical gigante mira hacia el oeste	Las aguas parecen correr de oeste a este (en la aldea de Koungny)	
	Buena cacería de gallinas silvestres de guinea y de lagartos varánidos		
	Llegan a la aldea los gusanos rojos		
	Abundancia de <i>womomwondo</i>		
	Las termitas construyen muchos nidos. Los grillos se entierran y vuelven a cerrar sus nidos entre enero y febrero		
	Aparecen tres tipos de <i>yantyaaki</i>		

Signos que indican una buena temporada de lluvias

Recuadro 14.3, continuación

Plantas	Animales	Estrellas y Clima	Ritos
Las plantas comerciales del huerto crecen muy poco	Desde su nido, la cigüeña mira hacia el este	La temporada fría (invierno) dura menos de tres meses	De acuerdo con las predicciones de "los que hacen las lluvias"
Marchitamiento de las primeras hojas de la Palmira africana y la Anacardiácea <i>Heeria insignis</i> (similar al marañón)	Canto interrumpido del <i>frouko</i> El <i>faiago</i> canta menos. La tórtola europea calienta sus huevos mirando hacia el este	Los vientos vienen de todas direcciones (los vientos están "enloquecidos")	Consultar el calendario lunar
Producción baja y no uniforme de los frutos del karité, del árbol de las pasas, del <i>kuna(s)</i> y de la marula ( <i>Sclerocarya birrea</i> )	Muchas cigüeñas en la aldea Los nidos de las aves están orientados hacia el oeste. Buena cacería de perdices. Las tortugas miran hacia el este. El sapo de caña mira hacia el este	Los vientos del monzón soplan de norte a sur. Las aguas de la planicie aluvial fluyen de oriente a occidente	
Buena fructificación del tamarindo y del higo, sin dehiscencia de las hojas	Muchas tortugas aparecen en los campos	Demasiados truenos con las primeras lluvias	
Caída prematura de los frutos del árbol de las pasas y del karité. Crecimiento tardío de la segunda hoja del karité	Aparición temprana de la langosta. Los grillos no cierran sus huecos. Las termitas se mudan a los árboles. Pasadas repetidas de las mimimanas	Muchos vientos cargados con polvo rojo al inicio de la temporada de lluvias	
Floración escasa del árbol kapok			

Signos que indican una mala temporada de lluvias

*Recuadro 14.3, continuación*

los suelos y los factores bióticos. Esto muestra que existen sistemas indígenas de manejo ambiental que garantizan el mantenimiento de la agrobiodiversidad. Los agricultores tienen su propio criterio de manejo, que utilizan de acuerdo con el área, el grupo étnico, el ambiente, los ritos, las culturas y las actividades agrícolas.

Estos métodos garantizan el mantenimiento de la variabilidad genética de las plantas cultivadas de una manera evolutiva, lo cual también garantiza el flujo de genes entre los cultivares locales y sus parientes silvestres. Por lo tanto, es vital para la conservación en fincas de los recursos fitogenéticos que se preserven componentes del ecosistema como los árboles y los animales. El ecosistema es entonces inseparable de la vida de los agricultores.

*Fuente:* Sawadogo et al. (2005).

jo asalariado fuera de las pequeñas fincas, y adaptar los modernos sistemas de producción y las técnicas traídas por las agencias de desarrollo.

### Respuesta a las prioridades de conservación

Los pequeños agricultores han demostrado tener habilidad para responder rápida y apropiadamente a los nuevos retos y las nuevas oportunidades, ya sean ambientales, económicas o políticas (Agrawal 1997). Sus respuestas tienden a incluir, con variaciones, la mezcla de recursos utilizados, la ubicación de sus actividades económicas, sus patrones de asentamiento y la organización de su trabajo, todos ellos, elementos de la agrobiodiversidad. En algunas áreas, donde las prioridades de la conservación de la biodiversidad han tomado la forma de áreas protegidas, la agrobiodiversidad también ha ayudado a los pequeños agricultores a adaptarse. La multiplicidad de opciones económicas que los agricultores locales identifican y crean les ha permitido responder efectivamente a los cambios que los programas de conservación generalmente imponen, incluyendo la zonificación de su territorio, las restricciones al uso de los recursos y el incremento de las poblaciones silvestres.

La importancia de los sistemas de producción de los pequeños agricultores en la conservación de la biodiversidad adquiere muchas formas. Sin embargo, los intentos de interpretar y entender el valor conservacionista de las tecnologías de los pequeños agricultores, generalmente se han

sobrevalorado o sobresimplificado. Por ejemplo, muchos expertos basan sus conclusiones acerca del valor de un sistema de producción solamente en los niveles de diversidad de cultivos que han sido incorporados (Brush 2000; Hamlin y Salick 2003). La información recolectada sobre agrodiversidad y las observaciones de campo muestran que en muchos casos el valor de la conservación de la agrodiversidad no se puede medir simplemente contando cultivos, especialmente porque éstos pueden cambiar con frecuencia. El ejemplo anterior de China ilustra claramente este punto. Los sistemas de reforestación creados por los agricultores tienen mayor valor económico y en términos de biodiversidad, que aquellos propuestos por los guardabosques gubernamentales. Se debe tener en cuenta tanto el incremento en la cantidad de especies maderables sembradas, como el incremento indirecto asociado de la biodiversidad de plantas y animales. El mismo grado de complejidad es válido cuando se mide el ingreso o el valor económico de estos sistemas; estos dos valores son generalmente difíciles de medir con precisión y difíciles de identificar.

El valor de la conservación de la agrodiversidad en las sociedades de los pequeños agricultores también se puede medir con base en la creación, el mantenimiento y el manejo de nichos en los límites de los campos, matorrales, bosques y arroyos. En China, Tanzania, Kenia y otros lugares donde opera el PLEC, se observaron y documentaron numerosos sistemas agrícolas ricos en agrobiodiversidad, en los cuales se siembran los cultivos en los muros de contención o diques y a lo largo de los límites entre los campos irrigados. Las comunidades locales aprecian la importancia económica y ecológica de estos sistemas, pero la misma es desconocida en gran parte para las personas externas a la comunidad. En algunos casos no se tuvo en cuenta la importancia de estos sistemas de cultivo en los bordes entre parcelas, debido a que estos sistemas tal vez no fueron fuente significativa de ingresos en años de abundancia. Sin embargo, pueden demostrar su utilidad en los años en que son escasas las cosechas agrícolas. Tal vez si el análisis de estos sistemas incluyera su valor social y ecológico, además de su valor económico, su importancia sería inmediatamente evidente.

## Conclusiones

Hemos hecho un bosquejo sólo de algunas de las razones más importantes por las cuales más de 200 investigadores involucrados en el proyecto PLEC han puesto su atención en los procesos de mantenimiento de la biodiversidad de los pequeños agricultores, y no sólo en sus productos. Nos

hemos enfocado tanto en la diversidad como en el dinamismo que caracterizan estos sistemas. Los pequeños agricultores y sus comunidades generalmente mantienen paisajes de producción con muchos parches, en los que las parcelas de bosque pueden ser tan importantes como los campos agrícolas para el bienestar y la conservación de los cultivos y otras formas de diversidad biológica. Hemos enfatizado el papel de diversas tecnologías y productos en el mantenimiento de la capacidad de los pequeños agricultores para responder efectivamente a las nuevas oportunidades y riesgos.

Nuestro énfasis en la importancia de los múltiples parches en los paisajes de producción, la hibridación de los sistemas y el cambio puede parecer que contradice algunas de las recientes preocupaciones de muchos en la comunidad de la biodiversidad. Aunque no negamos que la fragmentación del ecosistema, la producción insostenible, la destrucción de los sistemas y las especies tradicionales o indígenas son problemas urgentes en algunos contextos, estos conceptos no se deben aplicar o entender mal. Muchos de los sistemas que los científicos del PLEC han descrito y promocionado son demasiado modernos para aquellos preocupados con la conservación cultural, demasiado tradicionales para aquellos preocupados con la modernización y demasiado orientados hacia la producción para los conservacionistas. Estos sistemas desafían las categorías de los científicos y eluden el entendimiento de los investigadores. Sin embargo, en su aparente falta de orden estos sistemas conservan la biodiversidad de la que depende todavía incluso la más moderna agricultura, suplen las necesidades de un billón de personas y les permiten adaptarse a un ambiente en permanente cambio. Nuestras políticas y programas deben esforzarse por lo menos de no destruir este importante recurso.

## Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a Christine Padoch por facilitarnos sus comentarios y observaciones críticas. Mucha de la información reportada y analizada en este capítulo fue proporcionada por nuestros colegas del PLEC. Estamos muy agradecidos con ellos y esperamos haber presentado bien su trabajo. También queremos agradecer a la Universidad de las Naciones Unidas por su apoyo económico y administrativo. El trabajo de campo se realizó con fondos proporcionados por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM). Queremos agradecer a los revisores y al editor por sus valiosos comentarios.

## Referencias

- Agrawal, A. 1997. *Community in Conservation: Beyond Enchantment and Disenchantment*. Gainesville, Fl: Conservation & Development Forum.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. Nueva York: Columbia University Press.
- Brookfield, H. y C. Padoch. 1994. Appreciating agrodiversity: A look at the dynamism and diversity of indigenous farming practices. *Environment* 36(5):6-11, 37-45.
- Brookfield, H., C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking. 2002. *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*. Londres: ITDG Publications.
- Brookfield, H., H. Parson y M. Brookfield. 2003. *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*. Tokyo: United Nations University Press.
- Brush, S. 2000. *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity*. Roma: IPGRI; Ottawa: IDRC; Boca Ratón, Fl: Lewis Publishers.
- Dao, Z., X. H. Du, H. Guo, L. Liang y Y. Li. 2001. Promoting sustainable agriculture: The case of Baihualing, Yunnan, China. *PLEC News and Views* 18:34-40.
- Dao, Z., H. Guo, A. Chen y Y. Fu. 2003. China. En H. Brookfield, H. Parson y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195-211. Tokyo: United Nations University Press.
- Denevan, W. M. y C. Padoch. 1988. Swidden-fallow agroforestry in the Peruvian Amazon. *Advances in Economic Botany* 5.
- Fairhead, J. 1993. Representing knowledge: The "new farmer" in research. En J. Pottier, ed., *Practicing Development: Social Science Perspectives*, 187-204. Londres: Routledge.
- Feder, G. y G. T. O'Mara. 1981. Farm size and the adoption of green revolution technology. *Economic Development and Cultural Change* 30:59-76.
- Guo, H., Z. Dao, X. H. Du, L. Liang y L. Yingguang. 2003. China. En H. Brookfield, H. Parson y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195-211. Tokyo: United Nations University Press.
- Gupta, A. 1998. *Postcolonial Developments: Agriculture in the Making of Modern India*. Raleigh, NC: Duke University Press.
- Gyasi, E. A., W. Oduro, L. Enu-Kwesi, G. T. Agyepong y J. S. Nabila. 2003. Ghana sub-cluster final report. En H. Brookfield, H. Parson y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 79-109. Tokyo: United Nations University Press.
- Gyasi, E. A. y J. I. Uitto, eds. 1997. *Environment, Biodiversity and Agricultural Change in West Africa*. Tokyo: United Nations University Press.
- Hamlin, C. C. y J. Salick. 2003. Yanasha agriculture in the Upper Peruvian Amazon: Persistence and change fifteen years down the "road." *Economic Botany* 57:163-180.

- Irvine, D. 1989. Succession management and resource distribution in an Amazonian rain forest. *Advances in Economic Botany* 7:223-237.
- Kalliola, R., M. Puhakka y W. Danjoy. 1993. *Amazonía Peruana: Vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. Jyvaskyla, Finlandia: Gummers Press.
- Kang'ara, J. N., E. H. Ngoroi, C. M. Rimui, K. Kaburu y B. Okoba. 2003. Kenya. En H. Brookfield, H. Parson y M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 154-168. Tokyo: United Nations University Press.
- Padoch, C., J. Chota Inuma, W. de Jong y J. Unruh. 1985. Amazonian agroforestry: A market-oriented system in Peru. *Agroforestry Systems* 3:47-58.
- Padoch, C. y W. de Jong. 1987. Traditional agroforestry practices of native and ribeño farmers in the lowland Peruvian Amazon. En H. L. Gholz, ed., *Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials*, 179-194. Dordrecht, Países Bajos: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers.
- Padoch, C. y W. de Jong. 1989. Production and profit in agroforestry: An example from the Peruvian Amazon. En J. Browder, ed., *Fragile Lands of Latin America*, 102-113. Boulder, CO: Westview Press.
- Padoch, C. y W. de Jong. 1995. Subsistence-and market-oriented agroforestry in the Peruvian Amazon. En T. Nishizawa y J. I. Uitto, eds., *The Fragile Tropics of Latin America: Sustainable Management of Changing Environments*, 226-237. New York: United Nations University Press.
- Pinedo-Vásquez, M., J. Barletti Pasqualle, D. Del Castillo Torres y K. Coffey. 2002a. A tradition of change: The dynamic relationship between biodiversity and society in Sector Muyuy, Peru. *Environmental Science & Policy* 5:43-53.
- Pinedo-Vásquez, M., C. Padoch, D. McGrath y T. Ximenes. 2002b. Biodiversity as a product of smallholders' strategies for overcoming changes in their natural and social landscapes. En H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons y M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*, 167-178. Londres: ITDG Publications.
- Posey, D. 1992. Interpreting and applying the "reality" of indigenous concepts: What is necessary to learn from the natives? En K. Redford y C. Padoch, eds., *Conservation of Neotropical Forests: Working from Traditional Resource Use*, 21-34. Nueva York: Columbia University Press.
- Rerkasem K., N. Yimyam, C. Korsamphan y B. Rerkasem. 2002. Agrodiversity lessons in mountain land management. *Mountain Research and Development* 22:4-9.
- Richards, P. 1993. Cultivation: Knowledge or performance? En M. Hobart, ed., *An Anthropological Critique of Development: The Growth of Ignorance*, 61-78. Londres: Routledge.
- Sawadogo, M., J. Ouedrago, M. Belem, D. Balma, B. Dossou y D. Jarvis. 2005. Influence of ecosystem components on cultural practices affecting the in situ conservation of agricultural biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 141: 19-25.

- Scoones, I. y J. Thompson. 1994. Knowledge, power and agriculture: Towards a theoretical understanding. En I. Scoones y J. Thompson, eds., *Beyond Farmers First: Rural People's Knowledge, Agriculture Research and Extension Practice*, 16-32. Londres: Intermediate Technology Publications Ltd.
- Stiver, R. H. y N. W. Simmonds. 1987. *Bananas*. Tropical Agriculture Series. Roma: FAO.

## 15 Agrobiodiversidad, dieta y salud humana

---

T. JOHNS

La biodiversidad de las plantas es esencial para la salud humana. Las plantas suministran tanto nutrientes como compuestos medicinales, ellas son los componentes de ecosistemas robustos y contribuyen al bienestar socio-cultural. Los principios tradicionales y los conceptos científicos coinciden en la necesidad de la diversidad en la dieta para la salud, especialmente en el consumo de frutas y verduras. Ante los cambios ambientales y económicos, la simplificación creciente de las dietas de una gran cantidad de personas a una cantidad limitada de alimentos con alto contenido energético plantea obstáculos sin precedentes para la salud, al tiempo que va desapareciendo el conocimiento cultural de las propiedades de las plantas. Es por ello que la conservación de la biodiversidad y el conocimiento de su utilidad guardan las lecciones adaptativas del pasado y proporcionan los recursos necesarios para la salud del presente y del futuro.

Los análisis sobre salud y nutrición establecen una fuerte relación entre los imperativos para asegurar el bienestar de la humanidad y la conservación de la biodiversidad. En este sentido, una perspectiva nutricional aporta elementos para pensar en los recursos fitogenéticos (RFG), y la nutrición puede asumir un lugar destacado dentro del esfuerzo por conservarlos y usarlos. Aunque en principio parecen lógicos los vínculos entre la agrobiodiversidad, la diversidad en la dieta y la salud, los datos empíricos sobre la validez de los enfoques de la salud basados en la alimentación resultan inadecuados para demostrarle a quienes toman las decisiones cómo funcionan las relaciones en la práctica. Dichos datos también son esenciales para implementar estrategias que promuevan la conservación de los RFG, mediante el aumento de su uso y de su valor, entre productores y consu-

midores de los países en desarrollo. Más importante aún, la investigación empírica y participativa sobre los vínculos entre la diversidad en la dieta, la salud y la biodiversidad, puede proveer las bases para diseñar programas que capaciten a los países en desarrollo para responder de manera eficaz a los problemas actuales y a los futuros cambios en los sistemas de alimentación, el ambiente y los patrones de las enfermedades.

### La salud y la diversidad en la dieta

Algunos estudios epidemiológicos apoyan el sentido común presente en las pautas de alimentación relacionadas con los beneficios de una dieta variada (Johns 2003; Johns y Sthapit 2004). Por ejemplo, en los Estados Unidos, las mujeres (con una edad promedio de 61 años) que consumieron una mayor cantidad de alimentos recomendados presentaron un menor riesgo de mortalidad (Kant et al. 2000). Las mujeres del cuadro más alto (promedio de los puntajes de variedad de 15) presentaron una tasa de riesgo de morir en un lapso de 5.5 años de 0.69, en comparación con el cuadro más bajo (puntaje de variedad de 7). En un trabajo anterior, Kant et al. (1995) habían demostrado que existe una asociación entre la diversidad en la dieta, la longevidad y la menor incidencia de enfermedades degenerativas crónicas (como la enfermedad cardiovascular, la diabetes y el cáncer) en hombres y mujeres.

En un estudio realizado en Italia, la diversidad en la dieta, especialmente de frutas y verduras, se asoció con una menor incidencia de cáncer de estómago (La Vecchia et al. 1997). Esto coincide con la relación reconocida de los beneficios de las dietas mediterráneas, con un alto contenido de frutas y verduras, y la reducción del riesgo de enfermedades degenerativas crónicas (Trichopoulou y Vasilopoulou 2000). De modo similar, Drownowski et al. (1996) demuestran que, aunque las dietas en Francia son más altas en grasas que las dietas de los Estados Unidos, y por lo tanto tienen índices menores de calidad nutricional, es probable que los beneficios que se les atribuyen se puedan deber a la diversidad.

Existen menos datos para respaldar la contribución de la diversidad en la dieta a la salud en los países en desarrollo (Johns 2003). En Kenia, sin embargo, la diversidad en la dieta se ha relacionado con un mejor crecimiento en niños de uno a tres años (Onyango et al. 1998). En Mali, Hatløy et al. (1998) demostraron una alta correlación entre la diversidad de frutas y verduras en la dieta, y una nutrición general adecuada, rica en nutrientes específicos como las vitaminas A y C.

La medición inconsistente de la diversidad, realizada mediante índices de cantidad de alimentos y de cantidad de alimentos de alta calidad, hace difícil comparar entre estudios diferentes y obtener conclusiones. Sin embargo, datos de diferentes estudios respaldan consistentemente el supuesto de que la diversidad de frutas y verduras contribuye a la salud y a la nutrición.

### Funcionalidad de los alimentos en relación con la diversidad en la dieta

La calidad de la dieta se puede atribuir en parte, aunque no exclusivamente, al contenido nutricional en tanto contribuye a los beneficios que una dieta diversa tiene para la salud, La calidad nutricional de la dieta mejora con el consumo de una gran variedad de alimentos (Hatløy et al. 1998; Johns 2003). Sin embargo, el contenido de vitaminas, minerales, proteínas y energía no explica por sí solo los beneficios asociados con la dieta mediterránea, la coreana (Kim et al. 2000) u otras. Varios componentes diferentes a los nutrientes, como los fitoquímicos y la fibra, al igual que la calidad de las fuentes de energía, también juegan un papel importante (Trichopoulou y Vasilopoulou 2000).

Estas concepciones científicas han dirigido la atención hacia los alimentos funcionales (Johns y Romeo 1997; Hasler 1998; Milner 2000), especialmente en los países desarrollados, donde tanto el consumidor como la iniciativa empresarial generan interés en este tema. La acreditación de los Alimentos para Uso Específico en la Salud en Japón, que comenzó en 1991 (Arai 2000; Arai et al. 2001), y la aceptación de demandas sobre la salud por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos, bajo la Ley de Educación y Etiquetado Nutricional de 1990 ([www.cfsan.fda.gov/~dms/lab-hlth.html](http://www.cfsan.fda.gov/~dms/lab-hlth.html); Ross 2000), proporcionan sanciones e incentivos para reconocer la capacidad de los alimentos de promover la salud, más allá de contribuir a la nutrición básica. Paralelamente, muchos suplementos alimenticios y productos naturales para la salud, como el ajo y las semillas de uva, vendidos en forma farmacéutica, están orientados hacia enfermedades y condiciones relacionadas con la dieta (Blumenthal et al. 2000). Estos productos provienen de alimentos convencionales y de fuentes herbáceas, y en conjunto, contribuyen a incrementar la diversidad de plantas que se consumen en los países desarrollados.

Muchos de estos productos tienen una larga tradición de uso en varios lugares del mundo. Algunos ejemplos relevantes de bebidas y alimentos derivados incluyen importantes productos agrícolas básicos como la soya,

**Cuadro 15.1.** Ejemplos de condimentos, bebidas y alimentos funcionales obtenidos de las plantas.

Planta	Efecto fisiológico	Componentes activos conocidos	Referencias
Melón amargo	Hipoglicémico		Marles y Farnsworth (1995)
Arándano	Antioxidante	Polifenoles	Wang <i>et al.</i> (1999)
Brócoli y otras verduras crucíferas	Anticancerígeno	Indol-3-carbinol, isotiocianatos	Hasler (1998)
Cítricos	Anticancerígeno	Limonoides	Montanari <i>et al.</i> (1997)
Arándano rojo	Infecciones del tracto urinario	Proantocianidinas	Howell <i>et al.</i> (1998)
Fenogreco o alholva	Hipoglicémico		Marles y Farnsworth (1995)
Linaza	Anticancerígeno, estrogénico, hipocolesterolémico	Precusores del lignano, ácido $\alpha$ -linoléico	Hasler (1998), Blumenthal <i>et al.</i> (2000)
Ajo	Hipolipidémico, antihipertensivo, antibacterial	Tiosulfatos	Hasler (1998), Blumenthal <i>et al.</i> (2000)
Avena	Hipocolesterolémico	B-glucanos	Hasler (1998)
Aceite de oliva	Reducción del riesgo de enfermedad cardio vascular (ECV)	Ácido oléico, polifenoles	Visioli y Galli (1998)
Nopal ( <i>Opuntia</i> spp.)	Antidiabético	Fibra soluble	Trejo-González <i>et al.</i> (1996)
Psyllium	Reducción del riesgo de ECV	Fibra soluble	Hasler <i>et al.</i> (2000)
Arbusto rojo (Rooibos) ( <i>Aspalathus linearis</i> )	Antimutagénico, antioxidante	Polifenoles	Standley <i>et al.</i> (2001)

*El Cuadro 15.1, continúa en la página siguiente*

Cuadro 15.1., continuación

Planta	Efecto fisiológico	Componentes activos conocidos	Referencias
Soya	Hipocoles-terolémico, reducción del riesgo de ECV, anticancerígeno, estrogénico	Proteína de soya, isoflavones	Hasler (1998)
Té	Antioxidante	Polifenoles	Mukhtar y Ahmad (2000)
Tomillo	Antioxidante, bronco-espasmolítico	Fenoles: timol, carvacrol	Nakatani (1997); Blumenthal <i>et al.</i> (2000)
Tomate	Antioxidantes, anticancerígeno	Licopeno	Hasler (1998)
Vino y uvas	Antioxidante, reducción del riesgo de ECV	Polifenoles	Hasler (1998)

ECV = enfermedad cardiovascular

el té, la linaza y el tomate, así como también especias producidas localmente como el arándano rojo y el arándano (*Vaccinium*), la maca (*Lepidium meyenii*; Johns 1981; Quiros y Aliaga-Cárdenas 1997), el arbusto rojo (*Aspalanthus* sp.; Standley et al. 2001), la hoja de nopal (*Opuntia ficus-indica*), el aceite de pescado y otros alimentos del mar.

El Cuadro 15.1 contiene una lista de ejemplos de alimentos funcionales comercialmente importantes. En muchos casos, las actividades funcionales se atribuyen a componentes químicos específicos (Johns y Romeo 1997). Por ejemplo, muchos fenoles (como los flavonoides), carotenoides y otros fitoquímicos son antioxidantes con roles importantes en el metabolismo de lípidos y como agentes antimutagénicos. Estas actividades regulan de manera positiva el riesgo de una enfermedad cardiovascular, del cáncer y de otras enfermedades. Otros agentes anticancerígenos incluyen los indoles e isotiocianatos de las crucíferas, y los fitoestrógenos (como los isoflavonoides y los lignanos) de la soya y de la linaza, respectivamente. Los fitoesteroles que siempre están presentes en las plantas, y los tiosulfatos

de especies del género *Allium*, parecen reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, en tanto disminuyen los lípidos de la sangre. Además, la naturaleza de la composición lipídica de los alimentos, específicamente el largo de la cadena y la insaturación de los ácidos grasos, también pueden mediar afectando la salud. El ácido oléico, un ácido graso monoinsaturado de 18 átomos de carbono, contribuye a los beneficios del aceite de oliva. Las cadenas largas de ácidos grasos poliinsaturados que se encuentren ya preformados en los alimentos de origen animal, tienen roles importantes en el metabolismo y en la salud, mediados por su metabolización en eicosanoides (Simopoulos 1994). La fibra de la dieta, especialmente la fibra soluble, contribuye al papel que los granos como la avena y la ispágula, y muchas frutas y verduras, tienen en la reducción del riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares. La fibra soluble e insoluble, los fitoquímicos inhibidores de la digestión en los alimentos, y la naturaleza de determinados carbohidratos, mejoran el control glicémico y reducen la hiperlipidemia en pacientes con diabetes (Johns y Chapman 1995; McIntosh y Millar 2001).

Miles de fitoquímicos con diferentes estructuras y distintos componentes varían tanto en cada planta como de una planta a otra. Pocos alimentos han sido caracterizados por el rango y la funcionalidad de sus componentes químicos, pero en la medida en que aumentan los datos, también lo hará la lista de alimentos funcionales y de componentes asociados. La investigación centrada en las distintas plantas tradicionales consumidas como alimento y usadas como medicina en los países en desarrollo, como los vegetales de hoja verde (Chweya y Eyzaguirre 1999; Trichopoulou et al. 2000), además de expandir la lista de especies más conocidas del Cuadro 15.1, podría aumentar en gran medida la comprensión de su importancia en los sistemas tradicionales de subsistencia (Johns y Sthapit 2004).

### Relación entre la dieta, la salud y los cambios ambientales

Tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo, los rápidos procesos de cambio, que alteran profundamente las relaciones entre los seres humanos y los ecosistemas en que viven, tienen efectos en la alimentación. Los sistemas de subsistencia tradicionales, generalmente representan interacciones sutilmente equilibradas y únicas entre los humanos y los recursos —interacciones que aseguran la satisfacción de los requerimientos de salud y nutrición (Johns 1996; Kuhnlein y Receveur 1996). Los cambios en la integridad ambiental afectan, a su vez, la salud,

los patrones de enfermedad y el estado nutricional de la población (Johns y Eyzaguirre 2000). Una dieta inadecuada, poco diversa, representa un resultado clave de este trastorno, en la medida en que precipita desafíos sobre la salud humana. La degradación de la dieta, unida al estrés ambiental, es un desafío sin precedentes a la salud de las comunidades, incluso a través de la malnutrición, la inmunidad y la infección, las toxinas ambientales y el estrés oxidativo.

### *Malnutrición*

La sobrepoblación y los factores que conducen a la destrucción de la biodiversidad y de los ecosistemas, que a su vez deteriora la capacidad para producir alimentos, conducen a una ingestión o consumo de alimentos nutricionalmente pobres, que puede incluir hasta una malnutrición proteica. La malnutrición de micronutrientes puede estar reflejando un trastorno de las formas tradicionales de subsistencia, lo cual lleva a un menor acceso o consumo de determinados recursos biológicos.

Las formas tradicionales de subsistencia combinan el gasto de energía en conseguir alimentos y otras actividades, con el consumo de alimentos de baja densidad energética. Además del sobreconsumo de energía, el aumento de la dependencia de alimentos procesados podría afectar la salud, en tanto reduce el consumo de nutrientes y componentes funcionales que protegen la salud en forma mucho más sutil (Johns 1999).

En la mayoría de las poblaciones, los datos sobre los patrones de alimentación no logran establecer con claridad cambios en la diversidad del consumo de frutas y verduras registrados en el tiempo. Sin embargo, en muchos casos, las tendencias nacionales de consumo son suficientemente marcadas como para subrayar la aparición de enfermedades como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares (Popkin et al. 2001b). Las Hojas de Balance de Alimentos (<http://apps.fao.org/>) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), muestran que, en varios países de África Oriental y más dramáticamente en Kenia durante los últimos 35 años, el consumo per cápita de leguminosas se ha reducido notablemente mientras que el consumo de energía proveniente de aceites comestibles ha aumentado (Figura 15.1). Considerando los conocidos beneficios nutricionales (hierro, fibra, proteína) y funcionales (Milner 2000) del frijol y las legumbres, los impactos en términos de deficiencias de micronutrientes y proteínas, al igual que de enfermedades, que el sobreconsumo de energía está teniendo en la salud pública podrían ser muy

importantes, a pesar de los posibles efectos de mediación que la diversidad de frutas y verduras tiene en la dieta.

Si bien las intervenciones convencionales en las deficiencias nutricionales, incluyendo los suplementos alimenticios y clínicos, y el enriquecimiento de los alimentos procesados (Allen y Gillespie 2001), son efectivas cuando están garantizadas y adecuadamente controladas, en circunstancias normales ofrecen soluciones imperfectas para la población de los países en desarrollo por razones económicas, técnicas y culturales. Además, aunque un solo nutriente pueda resolver una deficiencia identificada y resultar apropiado a corto plazo, la solución puede darse a expensas de desatender deficiencias múltiples y generalmente ocultas, y a largo plazo fallar en el suministro del equilibrio necesario para la salud.

Es probable y razonable que las soluciones basadas en la alimentación, que aumentan la disponibilidad y el consumo de vitaminas A y C, folato,

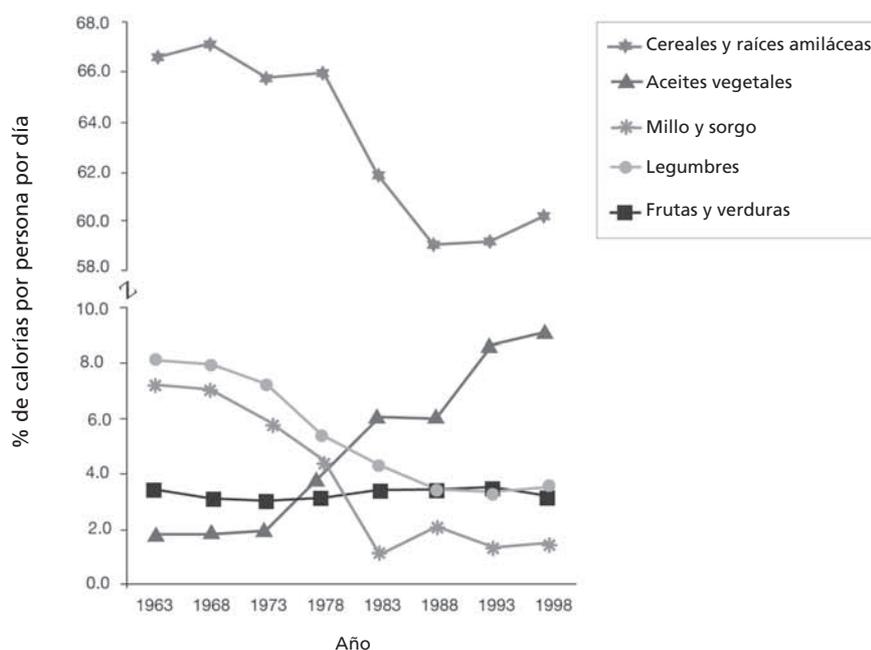


FIGURA 15.1. Comparación de los alimentos disponibles para el consumo en Kenia (1963–1998). Se muestran promedios trianuales (año  $\pm$  1) (tomados de las Hojas de Balance de Alimentos de la FAO, <http://apps.fao.org/default.jsp>)

hierro, y otros micronutrientes (Allen y Gillespie 2001), se mantengan, particularmente si son apropiadas ecológica y culturalmente. Sin embargo, la evaluación de los programas de intervención basados en los alimentos ha sido inadecuada y debería ser prioritaria para cualquier intento de usar los RFG con este fin.

### *Infeción e inmunidad*

Los factores patológicos de origen ambiental comprometen el estado nutricional, que a su vez tiene un papel crítico en la gravedad y prevalencia de las enfermedades. La alteración de los ecosistemas naturales puede elevar la incidencia de enfermedades infecciosas, aumentando la exposición a enfermedades de transmisión vectorial como la malaria, la leishmaniasis y el dengue (Spielman y James 1990), o afectando los factores relacionados con la densidad, como la sanidad y la transmisión directa de una persona a otra. Los principales problemas de salud pública de importancia mundial, como la tuberculosis, las enfermedades gastrointestinales, el sarampión y las enfermedades respiratorias, reflejan las interacciones entre factores nutricionales y ambientales (Platt 1996). La malnutrición puede provocar deficiencias de micronutrientes como la vitamina A y el hierro, que pueden afectar el sistema inmunológico y agravar éstas y otras enfermedades (Tomkins 2000) como el VIH y el SIDA. El impacto de las posibles propiedades funcionales (como la inmunoestimuladora o antioxidante) de las dietas y medicinas tradicionales prácticamente se desconoce.

### *Condición oxidativa*

La condición oxidativa juega un papel importante en muchos estados de las enfermedades —incluyendo algunas crónicas como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer— como factor causal y como resultado adverso. La contaminación ambiental originada en los productos químicos industriales y agrícolas, como los metales pesados, los organoclorados y radionucleidos, compromete el estado nutricional (Kuhnlein y Chan 2000) y tiene efectos locales y globales en la dieta y en la salud, incluso como importantes contribuyentes al estrés oxidativo. Los antioxidantes exógenos, en particular las vitaminas y los no nutrientes, constituyen un componente clave en la defensa normal contra el estrés oxidativo. Por lo tanto, la reducción en el consumo de una diversidad de vegetales en la dieta tiene consecuencias negativas adicionales, mientras que su uso ofrece soluciones positivas.

## La urbanización y la transición nutricional

Las poblaciones urbanas generan impactos cada vez mayores en el ambiente a través de las demandas del mercado, instalándose en áreas naturales o agrícolas, y a través de la contaminación asociada con el desarrollo industrial y los desechos urbanos. En esta situación, los pobres urbanos se ven afectados por las deficiencias de la dieta y por las consecuencias negativas de vivir en condiciones insalubres.

Mientras que la agricultura de alto consumo y alto rendimiento, y el transporte a larga distancia, garantizan el consumo de energía para una mayor cantidad de personas y resultan en una mayor disponibilidad de carbohidratos refinados (trigo, arroz, azúcar) y de aceites comestibles (WHO 2003), haciendo que éstos sean más accesibles, igualmente son la base de la transición nutricional (Popkin et al. 2001a; Chopra et al. 2002; Popkin 2002). Más aún, la globalización cultural y comercial estimula la occidentalización de la dieta y de los sistemas de alimentación de los países en desarrollo. Las poblaciones urbanas dependen de los alimentos comprados en un grado mucho mayor que las poblaciones rurales, al tiempo que tienen menos acceso a diversos alimentos nativos y cultivados localmente. La disponibilidad y la posibilidad de adquirirlos determinan la elección de alimentos que compra una población, de manera que en las ciudades la pobreza se convierte en un límite mayor a la diversidad en la dieta que en los sistemas de subsistencia tradicional. Asimismo, a medida que los productores rurales dependen más de los mercados urbanos para su subsistencia, una baja en la demanda de los productos que la mayoría de los consumidores no puede comprar, reduce aún más los volúmenes del mercado y hace que la producción sea económicamente menos viable.

### *Transición nutricional*

El consumo de una dieta con alto contenido energético, de origen vegetal y animal, coincide con un bajo gasto de energía. La gran diversidad, incluso de verduras y frutas que generalmente está disponible para las poblaciones urbanas, no se convierte necesariamente en consumo (Popkin et al. 2001b), particularmente en el caso de los pobres. Los alimentos procesados que se pueden adquirir a través de los sistemas contemporáneos de mercado, si bien pueden variar en cuanto a marca y formulación, pueden incluir en la práctica una limitada diversidad biológica, generalmente asociada a la sustitución de alimentos locales con productos importados.

Esta transición nutricional conduce a la aparición de epidemias de diabetes mellitus tipo 2, enfermedades cardiovasculares, obesidad, cáncer, y otras enfermedades crónicas no transmisibles, incluso en los países pobres (Popkin et al. 2001a; Chopra et al. 2002; Popkin 2002; WHO 2003). Las consecuencias de una dieta rica en carbohidratos, con un alto contenido de grasa, son más complicadas y graves entre los más desfavorecidos de los países en desarrollo, entre los cuales los cambios en la alimentación, en combinación con la pobreza, las altas tasas de enfermedades infecciosas y la desnutrición, crean una doble carga (Popkin et al. 2001a; Popkin 2002). La energía de los alimentos baratos combinada con la poca diversidad y baja calidad nutricional, junto con una subnutrición en los hogares, produce un patrón de obesidad, especialmente en las mujeres (Doak et al. 2000). La malnutrición en la primera infancia (programación fetal) probablemente aumenta la propensión a la diabetes y a otras condiciones en la vejez (Popkin et al. 2001a). Se puede esperar que las epidemias de enfermedades crónicas no transmisibles se aceleren aún más en países con poblaciones que se hacen más viejas. La Estrategia Mundial sobre Régimen Alimentario, Actividad Física y Salud de la Organización Mundial de la Salud (WHO 2003) afirma que los enfoques que tienen como eje la alimentación son acertados para combatir enfermedades no transmisibles.

Los pocos estudios sobre alimentación que se han llevado a cabo en ciudades africanas apuntan hacia tendencias similares a aquellas bien conocidas en Asia y en América Latina: un menor gasto de energía se acopla con el aumento de la dependencia de alimentos fritos de origen feculento, como la yuca, el trigo y las papas, además de la disminución en el consumo de frutas y verduras (Mennen et al. 2000). Para los segmentos más vulnerables y pobres de la población, estos productos generalmente toman la forma de comida callejera (Van t' Riet et al. 2001) de baja densidad nutricional. Como resultado, las condiciones de sobreconsumo de energía para grandes segmentos de la población africana coexistirán con las deficiencias clásicas de nutrientes y con las enfermedades infecciosas (Bourne et al. 2002; Johns 2003).

El aumento del consumo de aceite comestible en Senegal es aún más dramático que en Kenia (Figura 15.1); entre 1963 y 1998 las calorías obtenidas de aceites y grasas comestibles aumentaron de 8% a 20% (Figura 15.2). Si bien el incremento de las grasas es beneficioso en las dietas empobrecidas para aumentar la energía y facilitar la disponibilidad de vitamina A, un incremento del 18% al 29% de calorías totales obtenidas de la grasa en la dieta senegalesa, es decir, hasta niveles iguales a los recomendados en los países desarrollados, sugiere que una cantidad importante de personas

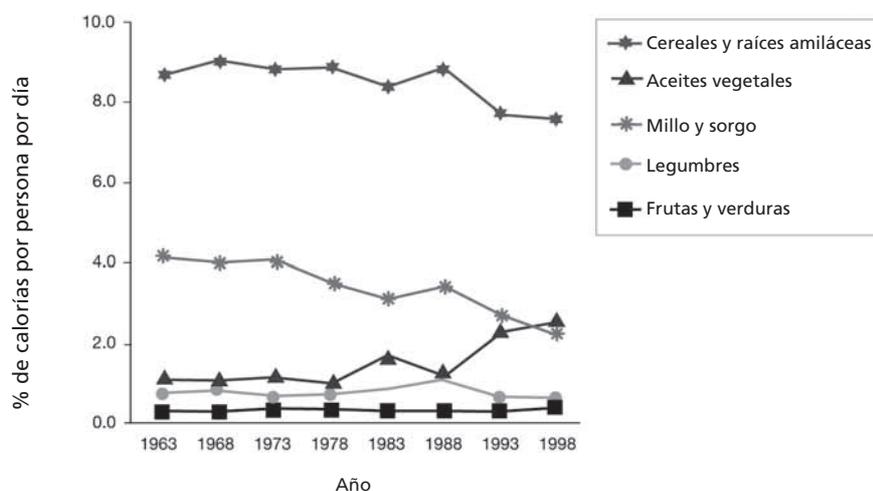


FIGURA 15.2. Comparación de los alimentos disponibles para el consumo en Senegal (1963–1998). Promedios trianuales (tomados de Las Hojas de Balance de Alimentos de la FAO, <http://apps.fao.org/default.jsp>).

consume mucho más de lo recomendado. Al mismo tiempo, hay indicios de que el consumo de cereales tradicionales, como el millo y el sorgo, se redujo a la mitad (y aún en mayor proporción en Kenia). Aunque estos alimentos son subóptimos en contenido nutritivo, digestibilidad y sabor, ofrecen beneficios potenciales como antioxidantes (Sripriya et al. 1996) e hipoglicémicos en comparación con cereales exóticos como el trigo, el arroz y el maíz.

Con la urbanización de África Subsahariana, proyectada por el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (<http://www.unhcr.org/unhcr/english/stats/table2.htm>) a una tasa del 4% anual, para llegar al 50% de la población de la región en los próximos 15 años, urge tener soluciones para anticiparse al impacto de esta tendencia en la nutrición y la salud. En dicha región y a nivel mundial, un mayor uso de la biodiversidad de las plantas con base en las evaluaciones científicas de sus propiedades, los programas de apoyo cultural, la educación alimentaria, los procesos de innovación y el mercado, proporcionan alternativas para mediar los impactos del cambio.

## Importancia de la diversidad de los cultivos y de las especies olvidadas y subutilizadas

### *Erosión de la diversidad de los cultivos alimenticios*

Si bien se han usado tradicionalmente como alimento más de 7000 especies de plantas, hoy en día sólo tres –el arroz, el trigo y el maíz– ofrecen el 60% del total del consumo de calorías en la dieta humana (Eyzaguirre et al. 1999). La agricultura moderna, en el mundo, generalmente se concentra en la cosecha de unos cuantos cultivos, y años de investigación sobre los cultivos han producido una pequeña cantidad de variedades de especies de alimentos diferentes de alto rendimiento, resistentes a sequías y plagas. Solamente la magnitud del esfuerzo agrícola aplicado a los tres cultivos principales ha llevado a la disminución del consumo de una mayor diversidad de granos. Paralelamente, se ha reducido la variedad de especies de frutas y verduras que se consumen. El cambio cultural y la urbanización agravan esta tendencia (Chweya y Eyzaguirre 1999). Adicionalmente, varios de los alimentos tradicionales están ahora asociados a la idea de pobreza o retraso. El resultado es la alteración de los patrones alimentarios y la pérdida de diversidad en la dieta. Se sabe poco del impacto que estos cambios en la dieta tienen en la nutrición y la salud de los seres humanos.

### *Especies olvidadas y subutilizadas*

Teniendo en cuenta los principios bien fundados de la diversidad en la dieta, una variedad de alimentos contribuye sin duda a que las comunidades tengan una dieta balanceada (Padulosi 1999). En África, por ejemplo, las especies olvidadas y subutilizadas pero importantes en la dieta local, incluyen cereales como el fonio (*Digitaria exilis*), raíces y tubérculos como el camote, legumbres, y semillas oleaginosas como el maní Bambara (*Vigna subterranea*; Heller et al. 1997), vegetales de hoja verde (*Chweya* y *Eyzaguirre* 1999), y frutas tropicales como la ciruela africana (*Dacryodes edulis*) y el mango africano o de arbusto (*Irvingia gabonensis*).

Aunque la importancia de la diversidad y la sabiduría inherente de los sistemas tradicionales que incorporaron las especies olvidadas y subutilizadas hoy se puede apreciar incluso sin el conocimiento de la constitución nutricional específica de los componentes individuales de la dieta, la información existente sobre unas pocas especies proporciona elementos útiles para comprender el modo en que contribuyen a la salud. Por ejemplo, el baobab (*Adansonia digitata*), del cual se consumen las hojas tiernas y las

frutas, tiene importancia en la dieta local en varios países de África (Diouf et al. 1999). La pulpa de la fruta y las hojas secas, que se agregan a los potajes, se preparan en salsas o se incorporan directamente a platos preparados (Diouf et al. 1999; Maundu et al. 1999), son buenas fuentes de calcio (West et al. 1988; Glew et al. 1997; Boukari et al. 2001). Además, combinan el hierro con la vitamina C en cantidades que pueden interactuar para aumentar la absorción de hierro y evitar la anemia. Incluso sin estudios detallados, se sabe que los vegetales de hoja verde hacen importantes aportes de provitamina A, vitamina C, folato, hierro, calcio, fibra y proteína (West et al. 1988; Uiso y Johns 1996; Chweya y Eyzaguirre 1999), a pesar de las recientes controversias sobre la biodisponibilidad de provitamina A (Solomons y Bulux 1997; de Pee et al. 1998).

#### *Valor nutricional de las especies y variedades comestibles tradicionales*

A pesar de que en la mayoría de las regiones de países en desarrollo los estudios alimentarios, los análisis de composición y las Hojas de Balance de Alimentos de la FAO ignoran la biodiversidad nativa y cultivada, y no se la tiene en cuenta para la elaboración de políticas y la toma de decisiones (Johns 2003), dichos recursos contribuyen de manera incuestionable a la adecuación de la dieta (Chweya y Eyzaguirre 1999; Burlingame 2000; Johns 2003; Kuhnlein y Johns 2003). Los estudios sobre los huertos familiares han encontrado vínculos entre la diversidad y la condición nutricional (Marsh 1998; Johns 2003). En algunos casos, se ha demostrado claramente que diversas especies recolectadas aportan nutrientes específicos (Ogle et al. 2001a, 2001b), y que muchas de las especies nativas tienen propiedades nutricionales excepcionales (Rodríguez-Amaya 1999; Johns 2003).

La documentación sobre la contribución de la diversidad intraespecífica a la nutrición y la salud ha recibido poca atención, y pocos recursos analíticos. La investigación en fincas demuestra la riqueza de las creencias y el conocimiento tradicional respecto de las propiedades saludables, sensoriales y culinarias de las variedades locales de los cultivos (FAO 2001). La clasificación de los principales cultivos (Fassil et al. 2000; Graham y Rosser 2000; FAO 2001; Johns 2003; Johns y Sthapit 2004), a pesar de no ser exhaustiva, documenta claramente una amplia variación en las propiedades nutricionales y funcionales, lo que sin duda, tiene efectos en la condición nutricional de la población y de cada consumidor (además de su utilidad para los fitomejoradores). La documentación existente sobre el potencial de variación genética en cuanto a los nutrientes de las especies

olvidadas y subutilizadas es aún menor (véase Calderón et al. 1991; Chweya y Eyzaguirre 1999; Burlingame 2000).

### *Diversidad intraespecífica*

Desde la perspectiva del uso y la conservación de los RFG, es de particular interés la variación intraespecífica de los cultivos en la composición de los nutrientes y los no nutrientes. Aunque existen pocos datos compilados de manera sistemática, las variaciones en la composición del  $\beta$ -caroteno en el camote (Huang et al. 1999; Ssebuliba et al. 2001) y de los carotenoides en el maíz (Kurilich y Juvik 1999) proporcionan ejemplos del posible rango de diversidad funcional que existe entre especies.

En los sistemas agroalimentarios tradicionales, la papa representa un caso interesante. Los pueblos andinos conservan una gran cantidad de genotipos distintos tanto en sus granjas como en su dieta, que varían de forma más notable en los pigmentos caracterizados por polifenoles y xantófilos (luteína y seaxantina) —carotenoides (Brown et al. 1993) que tienen propiedades funcionales conocidas y, por extensión, tienen implicaciones en la salud.

### Diversidad funcional en el contexto de un mundo en desarrollo

Los conceptos tradicionales sobre la dieta generalmente incluyen asociaciones con la salud que, en términos generales, no se refieren a los nutrientes sino a las propiedades funcionales específicas. Algunos de esos conceptos tradicionales se pueden entender en términos nutricionales, como en el caso de los tónicos y de los fortificantes. Otros atributos de los alimentos se relacionan con propiedades fisiológicas o farmacológicas, y se pueden respaldar con investigaciones científicas en esas áreas.

Muchos de los beneficios de los componentes de la dieta que no son nutrientes pueden superar a aquellos atribuidos a los nutrientes. Por ejemplo, las dietas de verduras que contribuyen de manera modesta a mejorar la condición de la vitamina A, producen un aumento significativo del nivel de luteína en el suero (de Pee et al. 1998), un antioxidante que, en los países desarrollados, es cada vez más reconocido como importante para la salud, por sus beneficios para proteger contra las enfermedades oculares (Sommerburg et al. 1998; Brown et al. 1999; Gale et al. 2001), así como contra las enfermedades cardiovasculares y el cáncer. Estos conocimientos tienen una importancia potencial en los países tropicales, como en algunos

países africanos donde las cataratas son una causa importante de ceguera (Lewallen y Courtright 2001). A pesar de que los datos recopilados sobre los xantófilos (Holden 1999; O'Neill et al. 2001) apuntan a la riqueza de carotenoides de los vegetales de hoja verde, se requiere extender esos análisis a las plantas alimenticias nativas. A la luz de esta importante actividad funcional, resulta limitado el enfoque que concentra la atención en las limitaciones de los vegetales de hoja y de otras plantas alimenticias como fuentes de provitamina A (Solomons y Bulux 1997; de Pee et al. 1998).

Entre las posibles funciones relacionadas con la salud que tienen las plantas alimenticias nativas se encuentran las propiedades antibióticas, inmunoestimulantes, antiinflamatorias, antigota, antioxidantes, glicémicas e hipolipidémicas; la acción sobre el sistema nervioso; y la desintoxicación. Los trabajos etnobotánicos y analíticos del Centro de Estudios de los Pueblos Indígenas y el Ambiente (Centre for Indigenous Peoples' Nutrition and Environment, CINE), y de la Universidad de McGill, entre muchos otros grupos, han mostrado muchos de los beneficios funcionales que las plantas alimenticias tradicionales tienen para la salud.

Por ejemplo, los Luo de Kenia occidental y Tanzania atribuyen a los vegetales de hoja verde, que constituyen una parte importante de su dieta habitual, la capacidad de actuar contra los trastornos gastrointestinales. Entre estas verduras, *Solanum nigrum* actúa en particular contra el parásito protozooico *Giardia lamblia* (Johns et al. 1995). También se ha informado sobre la actividad antioxidante de los fenoles (Lindhorst 1998) y sobre la capacidad de las saponinas —presentes en las raíces y las cortezas que los pastores Masai agregan a las sopas grasosas y a la leche— de ligar el colesterol (Chapman et al. 1997; Johns et al. 1999); sobre la posible actividad hipolipidémica de las gomas que mascan los Masai (Johns et al. 2000); sobre la actividad antioxidante de los tratamientos tibetanos para las enfermedades cardiacas (Owen y Johns 2002); y sobre los remedios antidiabéticos de los pueblos indígenas de los bosques boreales de la parte oriental de América del Norte (McCune y Johns 2002). También hemos identificado en esta última región (Owen y Johns 1999) actividad xantina oxidasa en los remedios tradicionales para la gota y sus síntomas relacionados, y en los aditivos alimenticios de los Masai (resultados no publicados).

Debido a los efectos funcionales en la salud humana que se pueden atribuir a los componentes fitoquímicos de esas plantas, la diversidad de funciones y de composición química agrega dimensiones adicionales a la diversidad inherente a los alimentos y plantas medicinales utilizados alrededor del mundo.

A pesar del potencial para la generación de ingresos que tiene la comercialización de algunos alimentos tradicionales y productos medicinales, la funcionalidad tiene otra importancia en los países en desarrollo, en comparación con Europa, América del Norte o Japón, en tanto soluciona las necesidades de la mayoría de la población de esos países. Ya sea para la subsistencia en el medio rural o para la dieta de poblaciones urbanas, las especies culturalmente significativas tienen una importancia social y biológica inmediata en la salud actual y futura de la población de los países en desarrollo, que amerita apoyo para la realización de investigaciones y programas apropiados.

### Adaptación y optimización de la dieta

El uso racional de los recursos alimenticios y la aplicación del conocimiento acerca de su valor pueden definir un camino para que la población mundial se adapte de manera óptima a los cambios que enfrenta (Johns y Eyzaguirre 2002). Considerando la magnitud y la naturaleza sin precedentes de los cambios de estilo de vida, dos herramientas parecen ser clave para conseguir soluciones novedosas a los problemas actuales: (a) el conocimiento científico de las relaciones entre ambiente, alimentación y salud, y de las consecuencias adversas del cambio actual, y (b) la evaluación científica de las propiedades de los alimentos de origen vegetal y animal. Sin embargo, en este proceso de adaptación, resultan esenciales las lecciones del pasado, representadas por la riqueza del conocimiento tradicional sobre los recursos biológicos y el ecosistema, así como la diversidad misma de recursos. En este sentido, la documentación y el estudio de la diversidad biocultural del mundo deberían ser priorizadas.

### Desarrollo de vínculos entre la salud, la nutrición y la conservación de los RFG

La nutrición y la salud ofrecen varios posibles puntos de entrada en programas y actividades de RFG, y los vínculos entre la nutrición y los RFG pueden proceder en varios frentes en forma simultánea. Dada la necesidad de asegurar el bienestar humano al tiempo que se conserva la diversidad, la conservación y el uso de la diversidad, al igual que las necesidades humanas locales y mundiales, proporcionan enfoques diferentes pero complementarios. En el primero, las actividades relacionadas con la nutrición

se pueden definir en el contexto de estrategias de conservación y uso de los RFG, tanto *ex situ* como *in situ*. A su vez, las necesidades nutricionales y de salud de los agricultores y de los consumidores, así como también los asuntos científicos y de salud pública de interés mundial, pueden guiar las actividades relacionadas con los RFG.

Con una mayor conciencia de las prioridades de la nutrición y la salud en las ciencias agrícolas y ambientales, y del rol de la biodiversidad dentro de la comunidad internacional de la salud, los científicos y las instituciones comprometidas con la agricultura, la conservación ambiental y la salud, pueden solucionar de mejor manera los problemas actuales, creando y tomando ventaja de las oportunidades de colaboración.

### Definición de prioridades para la investigación en nutrición y salud

En áreas relacionadas con la salud, los RFG ofrecen perspectivas útiles para múltiples temas de importancia científica y de salud pública, como la deficiencia de micronutrientes y las estrategias con base en la alimentación para manejar varias deficiencias concurrentes: biodisponibilidad de la provitamina A, del hierro, y de otros nutrientes encontrados en las frutas y verduras; nutrición y enfermedad; transición nutricional; y plantas medicinales como mediadoras fisiológicas de la salud.

Dentro del alcance de estas prioridades de salud, las actividades de investigación que vinculan la nutrición y los RFG (Johns 1999, 2002) podrían incluir análisis de laboratorio para identificar variedades de los cultivos y cultivos menores con valores nutricionales seleccionados (véase Booth et al. 1994); bases de datos sobre la composición con énfasis en diversidad intraespecífica; y actividades en finca y con las comunidades, enfocadas en el conocimiento tradicional de las propiedades de los recursos vegetales relacionadas con la salud; formulación y recopilación de criterios e indicadores para evaluar la calidad desde el punto de vista del consumidor (como propiedades sensoriales, nutricionales, culinarias, toxicológicas y medicinales) para la conservación y el uso de los RFG tanto *in situ* como *ex situ*; índices de diversidad en la dieta, para luego establecer la importancia de los RFG, y para servir como indicadores simples y de bajo costo de la condición nutricional en los países en desarrollo (Hatløy et al. 1998); y, por último, investigación sobre salud pública (WHO 2003).

En vista de que la pobreza es la determinante individual más importante de la malnutrición y de las enfermedades, resulta esencial comprender

mejor las sinergias entre biodiversidad, conservación, economía y nutrición (Johns y Sthapit 2004).

## Conclusiones

La diversidad de los RFG desempeña un papel esencial en la satisfacción de las necesidades nutricionales, de salud y socioculturales de las poblaciones humanas. La biodiversidad se equipara con la diversidad en la dieta, que a su vez se equipara con la salud. En el mundo contemporáneo, donde un cambio mundial afecta la ecología tradicional en formas que amenazan la biodiversidad y que al mismo tiempo socavan la subsistencia humana, la salud es una razón fundamental para manejar la biodiversidad y conservar los RFG.

Los recursos de las plantas junto con el conocimiento biocultural propio de los sistemas tradicionales pueden ayudar a tratar los serios problemas de inseguridad alimentaria y de malnutrición que enfrentan los países en desarrollo. Al mismo tiempo, la biodiversidad de las plantas es un recurso esencial para que las sociedades se adapten a los cambios, en particular a aquellos asociados con la urbanización. En este sentido, los vínculos entre lo rural y lo urbano son de una importancia crucial. Las distintas funciones nutricionales y de salud que cumplen las plantas en la cultura tradicional, además del conocimiento tradicional sobre la diversidad de las plantas, ofrecen soluciones potencialmente valiosas que permiten usar la biodiversidad para enfrentar los extraordinarios problemas que aquejan a la sociedad contemporánea.

Las principales iniciativas internacionales en nutrición, seguridad alimentaria y agricultura generalmente se centran en las características aisladas de los alimentos, o de unas pocas especies y genotipos. Dichos enfoques dirigidos resultan comprensibles considerando la severidad de los problemas de deficiencia de micronutrientes y de inseguridad alimentaria que padecen grandes segmentos de la población. Sin embargo, dichos enfoques no tienen en cuenta la naturaleza compleja de las relaciones entre los seres humanos y el ambiente, y los múltiples factores que intervienen en la salud y en las enfermedades del ser humano. La diversidad de la dieta es una medida directa de la calidad de ésta. Por lo tanto, en los programas de biofortificación o de modificación de la dieta, el énfasis exagerado en la cantidad más que en la calidad de la producción, o bien en determinados nutrientes, o en una cantidad limitada de alimentos, puede resultar en un enfoque de alcance limitado. Los resultados positivos inmediatos

pueden fallar o pueden producir consecuencias adversas a largo plazo, ya que limitan la complejidad y diversidad funcional de las dietas, y podrían precipitar cuadros patológicos.

Más aún, el éxito a corto plazo en el manejo de las necesidades nutricionales podría tener consecuencias negativas al erosionar la biodiversidad, el conocimiento tradicional sobre su utilidad y los valores socioculturales que sostienen su conservación. La pérdida de diversidad agrava a su vez importantes problemas de salud como la diabetes. Dentro de las limitadas opciones económicas y tecnológicas de los países en desarrollo, las consecuencias de un cambio hacia la simplificación de la dieta probablemente se vean multiplicadas, puesto que limitan la capacidad de las personas para adaptarse a circunstancias cambiantes. El énfasis en soluciones tecnológicas crea una dependencia de una tecnología para solucionar los problemas derivados, que probablemente no está disponible. Sin reducir la pobreza o poner atención a los factores económicos que limitan el acceso a dietas variadas, no se pueden sostener los beneficios de los sistemas alimentarios tradicionales. Sólo un enfoque holístico con base en la diversidad en la dieta que apoye la amplia disponibilidad de diversos cultivos y plantas comestibles puede elevar la condición nutricional y de salud de la población de una manera sostenible.

Los RFG en la dieta humana y en la medicina, y el conocimiento inmerso en la cultura, como componente integral de la complejidad de los sistemas ecológicos humanos, son reguladores históricamente confirmados del cambio destructivo. Los planteamientos venideros no proporcionarán ni soluciones finales ni óptimas. La salud deseada para la población mundial es mucho más que la simple ausencia de enfermedad o debilidad (WHO 1946). En la medida en que se reconozca que la salud humana es un estado de bienestar completo, tanto físico, como social y mental, ésta se conectará intrínsecamente con la salud de los ecosistemas en que vivimos. Con este fin, los RFG tienen tanto una utilidad como un valor inherente fundamentales.

## Agradecimientos

El Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Le Fond Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies, y Le Fonds de la Recherche en Santé du Québec proporcionaron el apoyo financiero para

este estudio. Pablo Eyzaguirre, Mikkel Grum y otro personal del IPGRI contribuyeron al desarrollo de las ideas exploradas en este capítulo.

## Referencias

- Allen, L. H. y S. R. Gillespie. 2001. *What Works? A Review of the Efficacy and Effectiveness of Nutrition Interventions*. Genova: ACC/SCN.
- Arai, S. 2000. Functional food science in Japan: State of the art. *Biofactors* 12:13-16.
- Arai, S., T. Osawa, H. Ohigashi, M. Yoshikawa, S. Kaminogawa, M. Watanabe, T. Ogawa, K. Okubo, S. Watanabe, H. Nishino, K. Shinohara, T. Esashi y T. Hirahara. 2001. A mainstay of functional food science in Japan: History, present status, and future outlook. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 65:1-13.
- Blumenthal, M., A. Goldberg y J. Brinckmann. 2000. *Herbal Medicine: Expanded Commission E Monographs*. Nueva York: American Botanical Council.
- Booth, S., T. Johns, J. A. Sadowski y N. W. Solomons. 1994. Phylloquinone as a biochemical marker of the dietary intake of green leafy vegetables of the K'ekchi people of Alta Verapaz, Guatemala. *Ecology of Food and Nutrition* 31:201-209.
- Boukari, I., N. W. Shier, X. E. Fernandez R., J. Frisch, B. A. Watkins, L. Pawloski y A. D. Fly. 2001. Calcium analysis of selected western African foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 14:37-42.
- Bourne, L. T., E. V. Lambert y K. Steyn. 2002. Where does the black population of South Africa stand on the nutrition transition? *Public Health Nutrition* 5(1A):157-162.
- Brown, C. R., C. G. Edwards, C. P. Yang y B. B. Dean. 1993. Orange flesh trait in potato: Inheritance and carotenoid content. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118:145-150.
- Brown, L., E. B. Rimm, J. M. Seddon, E. L. Giovannucci, L. Chasan-Taber, D. Spiegelman, W. C. Willet y S. E. Hankinson. 1999. A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in us men. *American Journal of Clinical Nutrition* 70:517-524.
- Burlingame, B. 2000. Wild nutrition. *Journal of Food Composition and Analysis* 13:99-100.
- Calderón, E., J. M. González y R. Bressani. 1991. Características agronómicas, físicas, químicas y nutricias de quince variedades de amaranto. *Turrialba* 41:458-464.
- Chapman, L., T. Johns y R. L. A. Mahunnah. 1997. Saponin-like in vitro characteristics of extracts from selected non-nutrient wild plant food additives used by Maasai in meat and milk based soups. *Ecology of Food and Nutrition* 36:1-22.

- Chopra, M., S. Galbraith y I. Darnton-Hill. 2002. A global response to a global problem: The epidemic of overnutrition. *Bulletin of the World Health Organization* 80:952-958.
- Chweya, J. A. y P. B. Eyzaguirre, eds. 1999. *The Biodiversity of Traditional Leafy Vegetables*. Roma: IPGRI.
- de Pee, S. C., W. West, D. Permaesih, S. Martuti y J. G. A. J. Hautvast. 1998. Orange fruit is more effective than are dark-green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and beta-carotene in schoolchildren in Indonesia. *American Journal of Clinical Nutrition* 68:1058-1067.
- Diouf, M., M. Diop, C. Lo, K. A. Drame, E. Sene, C. O. Ba, M. Gueye y B. Faye. 1999. Sénégal. En J. A. Chweya y P. B. Eyzaguirre, eds., *The Biodiversity of Traditional Leafy Vegetables*, 111-154. Roma: IPGRI.
- Doak, C. M., L. S. Adair, C. Monteiro y B. M. Popkin. 2000. Overweight and underweight coexist within house holds in Brazil, China and Russia. *Journal of Nutrition* 130:2965-2971.
- Drewnowski, A., S. A. Henderson, A. B. Shore, C. Fischler, P. Preziosi y S. Herceberg. 1996. Diet quality and dietary diversity in France: Implications for the French paradox. *Journal of the American Dietetics Association* 96:663-669.
- Eyzaguirre, P. B., S. Padulosi y T. Hodgkin. 1999. IPGRI's strategy for neglected and underutilized species and the human dimension of agrobiodiversity. En S. Padulosi, ed., *Priority-Setting for Underutilized and Neglected Plant Species of the Mediterranean Region*, 1-19. Roma: IPGRI.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. *Specialty Rices of the World: Breeding, Production and Marketing*. Roma: FAO.
- Fassil, H., L. Guarino, S. Sharrock, Bhag Mal, T. Hodgkin y M. Iwanaga. 2000. Diversity for food security: Improving human nutrition through better evaluation, management, and use of plant genetic resources. *Food Nutrition Bulletin* 21:497-502.
- Gale, C. R., N. F. Hall, D. I. Phillips y C. N. Martyn. 2001. Plasma antioxidant vitamins and carotenoids and age-related cataract. *Ophthalmology* 108: 1992-1998.
- Glew, R. H., J. VanderJagt, C. Lockett, L. E. Grivetti, G. C. Smith, A. Pastuszyn y M. Millson. 1997. Amino acid, fatty acid, and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis* 10:205-217.
- Graham, R. D. y J. M. Rosser. 2000. Carotenoids in staple foods: Their potential to improve human nutrition. *Food Nutrition Bulletin* 21:405-409.
- Hasler, C. M. 1998. Functional foods: Their role in disease prevention and health promotion. *Food Technology* 52:63-70.
- Hasler, C. M., S. Kundrat y D. Wool. 2000. Functional foods and cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports* 2:467-475.

- Hatløy, A., L. E. Torheim y A. Oshaug. 1998. Food variety: A good indicator of nutritional adequacy of the diet? A case study from an urban area in Mali, West Africa. *European Journal of Clinical Nutrition* 52:891-898.
- Heller, J., F. Begemann y J. Mushonga, eds. 1997. *Bambara Groundnut Vigna subterranea* (L.) Verdc. Roma: IPGRI.
- Holden, J. M. 1999. Carotenoid content of U.S. foods: An update of the database. *Journal of Food Composition and Analysis* 12:169-196.
- Howell, A. B., N. Vorsa, A. Der Marderosian y L. Y. Foo. 1998. Inhibition of the adherence of p-fimbriated *Escherichia coli* to uroepithelial-cell surfaces by proanthocyanidin extracts from cranberries. *New England Journal of Medicine* 339:1085-1086.
- Huang, A. S., L. Tanudjaja y D. Lum. 1999. Content of alpha-, beta-carotene, and dietary fiber in 18 sweetpotato varieties grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 12:147-151.
- Johns, T. 1981. The añu and the maca. *Journal of Ethnobiology* 1:208-212.
- Johns, T. 1996. Phytochemicals as evolutionary mediators of human nutritional physiology. *International Journal of Pharmacognosy* 34:327-334.
- Johns, T. 1999. The chemical ecology of human ingestive behaviors. *Annual Review of Anthropology* 28:27-50.
- Johns, T. 2002. Plant genetic diversity and malnutrition: Practical steps for developing and implementing a global strategy linking plant genetic resource conservation and nutrition. *African Journal of Food and Nutritional Sciences* 2(2):98-100.
- Johns, T. 2003. Plant biodiversity and malnutrition: Simple solutions to complex problems. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 3:45-52.
- Johns, T. y L. Chapman. 1995. Phytochemicals ingested in traditional diets and medicines as modulators of energy metabolism. En J. T. Arnason y R. Mata, eds., *Phytochemistry of Medicinal Plants*, Recent Advances in Phytochemistry 29, 161-188. Nueva York: Plenum.
- Johns, T. y P. B. Eyzaguirre. 2000. Nutrition for sustainable environments. *SCN News* 21:24-29.
- Johns, T. y P. B. Eyzaguirre. 2002. Nutrition and the environment. En *Nutrition: A Foundation for Development*. Genova: ACC/SCN.
- Johns, T., G. M. Faubert, J. O. Kokwaro, R. L. A. Mahunnah y E. K. Kimanani. 1995. Anti-giardial activity of gastrointestinal remedies of the Luo of East Africa. *Journal of Ethnopharmacology* 46:17-23.
- Johns, T., R. L. A. Mahunnah, P. Sanaya, L. Chapman y T. Ticktin. 1999. Saponins and phenolic content of plant dietary additives of a traditional subsistence community, the Batemi of Ngorongoro District, Tanzania. *Journal of Ethnopharmacology* 66:1-10.

- Johns, T., M. Nagarajan, M. L. Parkipuny y P. J. H. Jones. 2000. Maasai gummivory: Implications for Paleolithic diets and contemporary health. *Current Anthropology* 41:453-459.
- Johns, T. y J. T. Romeo, eds. 1997. *Functionality of Food Phytochemicals*, Recent Advances in Phytochemistry 31. Nueva York: Plenum.
- Johns, T. y B. R. Sthapit. 2004. Biocultural diversity in the sustainability of developing country food systems. *Food and Nutrition Bulletin* 25:143-155.
- Kant, A. K., A. Schatzkin, B. I. Graubard y C. Schairer. 2000. A prospective study of diet quality and mortality in women. *JAMA* 283:2109-2115.
- Kant, A. K., A. Schatzkin y R. G. Ziegler. 1995. Dietary diversity and subsequent cause-specific mortality in the NHANES I epidemiologic follow-up study. *Journal of the American College of Nutrition* 14:233-238.
- Kim, S., S. Moon y B. M. Popkin. 2000. The nutrition transition in South Korea. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:44-53.
- Kuhnlein, H. V. y H. M. Chan. 2000. Environment and contaminants in traditional food systems of northern indigenous peoples. *Annual Review of Nutrition* 20:595-626.
- Kuhnlein, H. V. y T. Johns. 2003. Northwest African and Middle Eastern food and dietary change of indigenous peoples. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 12:344-349.
- Kuhnlein, H. V. y O. Receveur. 1996. Dietary change and traditional food systems of indigenous peoples. *Annual Review of Nutrition* 16:417-442.
- Kurilich, A. C. y J. A. Juvik. 1999. Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:1948-1955.
- La Vecchia, C., S. E. Munoz, C. Braga, E. Fernandez y A. Decarli. 1997. Diet diversity and gastric cancer. *International Journal of Cancer* 72:255-257.
- Lewallen, S. y P. Courtright. 2001. Blindness in Africa: Present situation and future needs. *British Journal of Ophthalmology* 85:897-903.
- Lindhorst, K. 1998. *Antioxidant Activity of Phenolic Fraction of Plant Products Ingested by the Maasai*. MSc thesis, McGill University, Montreal, Canadá.
- Marles, R. J. y N. R. Farnsworth. 1995. Antidiabetic plants and their active constituents. *Phytomedicine* 2:137-189.
- Marsh, R. 1998. Building traditional gardening to improve house hold food security. *Food, Nutrition and Agriculture* 22:4-14.
- Maundu, P. M., G. W. Ngugi y C. H. S. Kabuye. 1999. *Traditional Food Plants of Kenya*. Nairobi: National Museums of Kenya.
- McCune, L. M. y T. Johns. 2002. Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the indigenous peoples of the North American boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology* 82:197-205.

- McIntosh, M. y C. Miller. 2001. A diet containing food rich in soluble and insoluble fiber improves glycemic control and reduces hyperlipidemia among patients with type 2 diabetes mellitus. *Nutrition Reviews* 59:52-55.
- Mennen, L. I., J. C. Mbanya, J. Cade, B. Balkau, S. Sharma, S. Chungong y J. K. Cruickshank. 2000. The habitual diet in rural and urban Cameroon. *European Journal of Clinical Nutrition* 54:150-154.
- Milner, J. A. 2000. Functional foods: The us perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1654S-1659S.
- Montanari, A., W. Widmer y S. Nagy. 1997. Health promoting phytochemicals in citrus fruit and juice products. En T. Johns y J. T. Romeo, eds., *Functionality of Food Phytochemicals*, Recent Advances in Phytochemistry 31, 31-52. Nueva York: Plenum.
- Mukhtar, H. y N. Ahmad. 2000. Tea polyphenols: Prevention of cancer and optimizing health. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1698S-1702S.
- Nakatani, N. 1997. Antioxidants from spices and herbs. En F. Shahidi, ed., *Natural Antioxidants: Chemistry, Health Effects, and Applications*, 64-75. Champaign, Il: AOCS Press.
- Ogle, B. M., N. N. X. Dung, T. T. Do, y L. Hambraeus. 2001a. The contribution of wild vegetables to micronutrient intakes among women: An example from the Mekong Delta, Vietnam. *Ecology of Food and Nutrition* 40:159-184.
- Ogle, B. M., P. H. Hung y H. T. Tuyet. 2001b. Significance of wild vegetables in micronutrient intakes of women in Vietnam: An analysis of food variety. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 10:21-30.
- O'Neill, M. E., Y. Carroll, B. Corridan, B. Olmedilla, F. Granado, I. Blanco, H. Van den Berg, I. Hininger, A. M. Rousell, M. Chopra, S. Southon y D. I. Thurnham. 2001. A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study. *British Journal of Nutrition* 85:499-507.
- Onyango, A., K. Koski y K. Tucker. 1998. Food diversity versus breastfeeding choice in determining anthropometric status in rural Kenyan toddlers. *International Journal of Epidemiology* 27:484-489.
- Owen, P. y T. Johns. 1999. Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies for gout. *Journal of Ethnopharmacology* 64:149-160.
- Owen, P. y T. Johns. 2002. Antioxidants in medicines and spices as cardioprotective agents in Tibetan highlanders. *Pharmaceutical Biology* 40:346-357.
- Padulosi, S., ed. 1999. *Priority-Setting for Underutilized and Neglected Plant Species of the Mediterranean Region*. Roma: IPGRI.
- Platt, A. E. 1996. *Infecting Ourselves: How Environmental and Social Disruptions Trigger Disease*. Washington, DC: Worldwatch Institute.
- Popkin, B. M. 2002. An overview of the nutrition transition and its health implications: The Bellagio meeting. *Public Health and Nutrition* 5:93-103.

- Popkin, B. M., S. Horton y S. Kim. 2001a. The nutrition transition and prevention of diet-related diseases in Asia and the Pacific. *Food and Nutrition Bulletin* 22:51-58.
- Popkin, B. M., S. Horton, S. Kim, A. Mahal y J. Shuigao. 2001b. Trends in diet, nutritional status, and diet-related non-communicable diseases in China and India: The economic costs of the nutrition transition. *Nutrition Reviews* 59:379-390.
- Quiros, C. F. y R. Aliaga-Cardenas. 1997. Maca. *Lepidium meyenii* Walp. En M. Hermann y J. Heller, eds., *Andean Roots and Tubers: Ahipha, Arracacha, Maca and Yacon*, 173-197. Roma: IPGRI.
- Rodríguez-Amaya, D. B. 1999. Latin American food sources of carotenoids. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 49:74S-84S.
- Ross, S. 2000. Functional foods: The Food and Drug Administration perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1735S-1738S.
- Simopoulos, A. P. 1994. Fatty acids. En I. Goldberg, ed., *Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals*, 355-392. Nueva York: Chapman & Hall.
- Solomons, N. W. y J. Bulux. 1997. Identification and production of local carotenoid-rich foods to combat vitamin A malnutrition. *European Journal of Clinical Nutrition* 51:S39-S45.
- Sommerburg, O. E., J. E. Keunen, A. C. Bird y F. J. van Kuijk. 1998. Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: The macular pigment in human eyes. *British Journal of Ophthalmology* 82:907-910.
- Spielman, A. y A. A. James. 1990. Transmission of vector-borne disease. En K. S. Warren y A. A. F. Mahmoud, eds., *Tropical and Geographical Medicine*. Nueva York: McGraw-Hill Information Services Company.
- Sripriya, G., K. Chandrasekharan, V. S. Murty y T. S. Chandra. 1996. ESR spectroscopic studies on free radical quenching action of finger millet (*Eleusine coracana*). *Food Chemistry* 57:537-540.
- Ssebuliba, J. M., E. N. B. Nsubuga y J. H. Muyonga. 2001. Potential of orange and yellow fleshed sweetpotato cultivars for improving vitamin A nutrition in central Uganda. *African Crop Science Journal* 9:309-316.
- Standley, L., P. Winterton, J. L. Marnewick, W. C. A. Gelderblom, E. Joubert y T. J. Britz. 2001. Influence of processing stages on antimutagenic and antioxidant potentials of rooibos tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:114-117.
- Tomkins, A. 2000. Malnutrition, morbidity and mortality in children and their mothers. *Proceedings of the Nutrition Society* 59:135-146.
- Trejo-González, A., G. Gabriel-Ortíz, A. M. Puebla-Pérez, M. D. Huizar-Contreras, M. del R. Munguía-Mazariegos, S. Mejía-Arreguin y E. Calva. 1996. A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology* 55:27-33.
- Trichopoulou, A. y E. Vasilopoulou. 2000. Mediterranean diet and longevity. *British Journal of Nutrition* 84:S205-S209.

- Trichopoulou, A., E. Vasilopoulou, P. Hollman, C. Chamalides, E. Foufa, T. Kaloudis, D. Kromhout, P. Miskaki, I. Petrochilou, E. Poulima, K. Stafilakis y D. Theophilou. 2000. Nutritional composition and flavonoid content of edible wild greens and green peas: A potential rich source of antioxidant nutrients in the Mediterranean diet. *Food Chemistry* 70:319–323.
- Uiso, F. C. y T. Johns. 1996. Consumption patterns and nutritional contribution of *Crotalaria brevidens* in Tarime District, Tanzania. *Ecology of Food and Nutrition* 35:59–69.
- Van t' Riet, H., A. P. den Hartog, A. M. Mwangi, R. K. N. Mwadime, D. W. J. Foeken W. A. van Staveren. 2001. The role of street foods in the dietary pattern of two low-income groups in Nairobi. *European Journal of Clinical Nutrition* 55:562–570.
- Visioli, F. y C. Galli. 1998. The effect of minor constituents of olive oil on cardiovascular disease: New findings. *Nutrition Reviews* 56:142–147.
- Wang, M., J. Li, Y. Shao, T. C. Huang, M. T. Huang, C. K. Chin, R. T. Rosen y C. T. Ho. 1999. Antioxidative and cytotoxic components of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). En F. Shahidi y C. T. Ho, eds., *Phytochemicals and Phytopharmaceuticals*, 271–277. Champaign, Il: AOCS Press.
- West, C. E., F. Pepping y C. R. Temalilwa. 1988. *The Composition of Foods Commonly Eaten in East Africa*. Wageningen, Países Bajos: Wageningen Agricultural University.
- WHO. 1946. Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, June 19–22, 1946.
- WHO. 2003. *WHO Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health*. Genova: WHO.

## 16 Comparación de las preferencias de los agricultores y los fitomejoradores

---

### El valor de los cultivares nativos de arroz en Nepal

D. GAUCHAN Y M. SMALE

Nepal es un importante centro de diversidad del arroz “asiático” (*Oryza sativa*). El arroz asiático probablemente se cultivó por primera vez en la región geográfica y culturalmente diversa que se extiende desde Nepal hasta el norte de Vietnam (Vaughan y Chang 1992). Las variedades de arroz de los agricultores (a las que se refiere este capítulo como cultivares nativos) aún ocupan más del 30% de toda el área cultivada con arroz en Nepal (APSD 2001). Estas variedades generalmente son más heterogéneas que las variedades modernas, las cuales han sido seleccionadas para tener una altura uniforme y se las ha escogido con base en determinados criterios de rendimiento, además de que se adaptan a necesidades humanas específicas y locales, y a nichos ambientales (Simmonds 1979). Se estima que los agricultores mantienen 2000 cultivares nativos de arroz en diferentes partes de Nepal en asociación con otros parientes silvestres y asilvestrados (Shrestha y Vaughan 1989; Upadhyay y Gupta 2000). Estos cultivares nativos han evolucionado en respuesta a la amplia gama de condiciones edáficas, topográficas y climáticas, además de las cuidadosas prácticas de selección y manejo de la semilla por parte de los agricultores. En algunos sitios, el aislamiento de los mercados ha contribuido a la necesidad de los agricultores de recurrir a sus propia semilla y a cosechar para suplir las necesidades alimenticias —lo cual refuerza este proceso.

La conservación en fincas implica que los agricultores decidan continuar cultivando y manejando los cultivares nativos en los agroecosistemas y comunidades donde han evolucionado, como en Nepal. Los agricultores deciden mantener los cultivares nativos que ellos valoran, cuando siembran la semilla, la seleccionan de la cosecha anterior o la intercambian

con otros agricultores y cuando la vuelven a sembrar (ver Capítulo 4). Sus decisiones también determinan si los recursos genéticos de valor social para el mejoramiento del cultivo se continúan cultivando in situ. Los agricultores pueden decidir dejar de sembrar los cultivares nativos si los cambios en el ambiente de producción o comercialización hacen que pierdan su valor relativo.

Los fitomejoradores profesionales también toman decisiones que afectan la conservación de la biodiversidad de los cultivos en las fincas. Los fitomejoradores seleccionan y cruzan materiales para desarrollar nuevas variedades. Las decisiones que toman determinan el rango de recursos genéticos que se entrega a los agricultores como nuevas variedades liberadas por los sistemas comerciales de semilla. Los fitomejoradores pueden ampliar las opciones que tienen los agricultores al introducir materiales genéticos nuevos o recombinados para suplir mejor sus necesidades o complementar las de los materiales cultivados. Tanto los recursos genéticos almacenados ex situ como los que se cultivan in situ son importantes para el proceso de mejoramiento del cultivo que genera valor social al aumentar la productividad y reducir los precios de los alimentos.

No todos los cultivares nativos se pueden conservar en la finca, y no todos los agricultores los pueden conservar debido a los costos involucrados, incluyendo los costos directos del programa y los costos en términos de oportunidades desaprovechadas. Nepal es uno de los países con más bajos ingresos en el mundo en términos de producto interno bruto (World Bank 2003). El reto para el gobierno de Nepal es crear incentivos para mantener la biodiversidad del arroz, al tiempo que se benefician los agricultores actuales y la sociedad del futuro. Aunque no se pueden predecir con certeza las necesidades futuras, las evaluaciones de los fitomejoradores expertos nos brindan un escenario razonable, pero los fitomejoradores de arroz, al igual que los agricultores, tienen diferentes puntos de vista.

Este capítulo utiliza la información de un muestreo de la investigación realizada en Nepal para analizar la relación entre las preferencias de los agricultores y los mejoradores en cuanto a la conservación “in situ” de la biodiversidad del arroz. Se incluyen varios criterios de los fitomejoradores para seleccionar los materiales que se van a conservar en las fincas. Un enfoque conceptual tomado de un modelo microeconómico de las decisiones tomadas por los agricultores relaciona la probabilidad de que los agricultores continúen cultivando el conjunto de elecciones definidas por estos criterios hacia factores razonados que pueden influenciar las inversiones pública y política. Se estima entonces la relación de manera econométrica. Si los efectos de los factores aclaratorios son los mismos independiente-

mente del conjunto escogido, podemos concluir que son neutrales a los criterios de selección. Si difieren, el favorecer las posibilidades de la conservación del conjunto seleccionado puede disminuir las posibilidades del otro conjunto, implicando ventajas relativas en las políticas.

Algunos estudios empíricos han investigado las compensaciones de un tipo de diversidad en comparación con otro cuando las políticas promueven cambios en una variable aclaratoria, como la inversión en la educación y en la infraestructura (Van Dusen 2000; Benin et al. 2003; Smale et al. 2003). Estos análisis se basaron en índices que no captaron las posibles diferencias en el valor social entre variedades. En el análisis que se presenta aquí, explícitamente relacionamos las preferencias de los agricultores. Las selecciones de los fitomejoradores de arroz y los conservacionistas reflejan sus puntos de vista respecto al valor potencial para la sociedad que hay en los cultivares nativos sembrados aún por los agricultores. Las selecciones de los agricultores revelan sus preferencias frente a numerosas limitaciones económicas y físicas, lo cual indica el valor privado de las variedades. También se presentan referencias a los resultados de estudios en los cuales se han aplicado métodos similares para estudiar otros cultivos y contextos económicos.

En la siguiente sección se describen los sitios estudiados y los métodos utilizados para coleccionar la información. Luego se resumen el enfoque conceptual y los métodos econométricos, y se presentan la estadística descriptiva y los resultados. Las conclusiones se muestran en la sección final.

### Sitios de estudio

Esta investigación se centra en dos de los tres sitios ecológicos (ecosistemas) del proyecto titulado “Conservación *in situ* de la agrobiodiversidad en fincas”, llevado a cabo en Nepal. El ecosistema incluye el área de una cuenca que comprende un conjunto de comunidades o aldeas. Los criterios utilizados para seleccionar los ecosistemas incluyeron la importancia de la diversidad genética del arroz y de otros cultivos para la conservación en fincas, las características agroecológicas y la infraestructura del mercado. El ecosistema de Kaski representa la región fisiográfica montañosa del país, con un nivel intermedio de infraestructura de mercados. El ecosistema de Bara se encuentra en la llanura (*terai*) y tiene una infraestructura de mercados más desarrollada. En ambos ecosistemas, el arroz es el principal cultivo en la economía de los alimentos y se cultiva en diversas condiciones microecológicas; en una misma finca es común encontrar ambientes de secano, de llanura y

**Cuadro 16.1.** Cultivo de la diversidad del arroz que realizan los agricultores de los ecositios de Bara y Kaski en Nepal.

Patrón de Cultivo al Nivel del Ecositio	Bara (Llanuras)	Kaski (Montañas)
Cantidad total de cultivares	23	50
Cantidad total de cultivares nativos	5	39
Cantidad total de variedades modernas	18	11
Porcentaje del área sembrada con cultivares nativos	4	72.5
Porcentaje del área sembrada con variedades modernas	96	27.5

de pantanos. Los agricultores generalmente siembran diversas variedades para acomodarse a los tipos de terreno y de suelo, a las condiciones de humedad y a las secuencias de cultivo. A nivel del ecositio, los agricultores de la muestra mantienen en total entre 50 y 23 cultivares de arroz en los ecositios de montañas y de llanuras, respectivamente (Cuadro 16.1).

Tal como se esperaba, la mayor cantidad de cultivares nativos (39) y el mayor porcentaje de área asignada a los cultivares nativos (72.5) se localizó en el ecositio de montaña. Aunque las variedades modernas y los cultivares nativos coexisten en ambos ecositios, casi toda el área de llanura (96%) se asigna a las variedades modernas. Los agricultores de la muestra en el ecositio de llanuras también cultivan una mayor cantidad de variedades modernas (18) en comparación con los de las montañas (11). La cantidad total de variedades de arroz en las montañas duplica el número de las que se cultivan en las llanuras.

#### Fuente de información

##### *Encuesta de muestra en los hogares que cultivan arroz*

La investigación y el análisis de la muestra que se reporta aquí se basan en varios años de investigación intensa y participativa con los agricultores que formaban parte del proyecto nacional de conservación in situ de Nepal. Inicialmente, el equipo de investigación incluyó los 1856 hogares de ambos sitios. Con la ayuda de los conocedores locales, el equipo supo que algunos hogares ya no se dedicaban a la agricultura, otros ya no estaban ubicados en los lugares originalmente colonizados y algunos no cultivaban

arroz. Se tomó una muestra al azar, representativa del 17.25% de los hogares que estuvieran dedicados a la agricultura y que cultivaran arroz; esta muestra incluyó 159 hogares en Kaski y 148 en Bara, para una muestra total de 307 hogares.

Como instrumento para la encuesta se utilizó un cuestionario estructurado en las entrevistas personales. Las preguntas cubrían las características sociales, demográficas y económicas de los agricultores y sus hogares, las características físicas de sus fincas, los aspectos económicos de la producción de arroz y el acceso al mercado. El investigador principal coordinó la encuesta con el apoyo de personal local experimentado. Se entrevistaron tanto mujeres como hombres involucrados en las decisiones relacionadas con la producción y el consumo de arroz. Para mejorar la calidad y la uniformidad de los datos, otros investigadores revisaron periódicamente los cuestionarios para asegurarse de que no hubiera errores de medición o ambigüedades, y que no faltara información. Si se encontraba que faltaba información o que las respuestas no eran apropiadas, los hogares se volvían a visitar inmediatamente durante el período de la encuesta. Para garantizar uniformidad en las unidades de medida y consistencia en la terminología, los investigadores y los encuestadores editaron los cuestionarios en el sitio de la encuesta.

#### *Encuesta de informantes clave entre los fitomejoradores de arroz*

Entre los fitomejoradores y los investigadores involucrados en el proyecto nacional de conservación in situ y en la investigación sobre mejoramiento del arroz en Nepal se realizó una encuesta en dos fases. En la primera fase se le pidió a los 16 fitomejoradores e investigadores que estaban trabajando en el proyecto que organizaran las listas de las variedades de los agricultores identificadas en la encuesta de hogares campesinos de acuerdo con su importancia para la conservación o para su uso futuro en el fitomejoramiento. Esta encuesta también permitió identificar los criterios que usan los mejoradores para seleccionar los cultivares nativos que consideran potencialmente útiles. Los criterios incluyeron diversidad (expresada como una población no uniforme y heterogénea), particularidad (que comprendía características únicas o poco comunes) y adaptabilidad (que presentaba una amplia adaptación). En la segunda fase de la encuesta se le pidió a ocho fitomejoradores clasificar —con base en la experiencia de cada uno— los cultivares nativos de arroz, en términos de si satisfacían o no cada criterio.

## Enfoque conceptual

El enfoque conceptual se basa en la teoría de los hogares campesinos (Singh et al. 1986), como fue aplicado al análisis de la biodiversidad de los cultivos por Van Dusen (2000; Van Dusen y Taylor 2003). Otros modelos y aplicaciones relacionados incluyen los de Brush et al. (1992), Meng (1997), Smale et al. (2001), Benin et al. (2003) y Birol (2004).

En este enfoque, que se presenta en otra parte en términos matemáticos, un hogar campesino maximiza la utilidad de una serie de artículos de consumo producidos en la finca, de una serie de artículos de consumo comprados en el mercado y del tiempo libre. La utilidad de un hogar se deriva de las diversas combinaciones de consumo y los niveles dependen de las preferencias de quienes lo integran. Las preferencias a su vez dependen de diversas características sociales y demográficas del hogar, incluyendo su dotación de capital humano y otros activos, representados por el vector  $\Omega_{HH}$ .

La tecnología de producción determina los volúmenes que puede producir un hogar, teniendo en cuenta las características físicas de la finca ( $\Omega_F$ ). En el área cultivada en cada ciclo ( $A$ ), la tecnología de producción combina la semilla y la mano de obra con otros insumos comprados. La selección de las combinaciones de cultivos y de variedades, así como la decisión de cuanta tierra se asigna a cada uno, determinan los volúmenes de productos agrícolas que el hogar espera cosechar, y viceversa. La proporción de área asignada a determinado cultivo o determinada variedad puede ir desde cero (cuando no se cultiva) hasta uno (cuando no se cultiva ningún otro cultivo o variedad).

Cuando se hacen estas elecciones, los gastos en términos de tiempo y dinero no pueden exceder el ingreso total. El ingreso total en cualquier ciclo de cultivo comprende los rendimientos netos de la finca (ganancias) que provienen de las ventas de la producción del cultivo y los ingresos exógenos (externos) a las selecciones del cultivo y las variedades para ese ciclo, como las reservas que pasan de un ciclo a otro, las remesas, las pensiones y otras transferencias del ciclo de cultivo anterior ( $Y^0$ ). Cuando los mercados no están funcionando bien para un cultivo o su comercialización está asociada con costos de transacción significativos ( $\Omega_M$ ), no se pueden tratar por separado las decisiones respecto a la producción y el consumo, y es el precio sombra de ese cultivo el que determina la toma de decisiones y no su precio en el mercado. Los precios sombra están relacionados con los costos diferenciales de las transacciones en mercados que reflejan las características específicas del hogar ( $\Omega_{HH}$ ). Trabajos anteriores en esta área

de estudio indican que los mercados no son completos para las variedades de arroz, y en especial para los cultivares nativos (Gauchan et al. 2005).

El modelo de utilidad aleatoria permite interpretar estadísticamente la decisión de escoger una variedad con los datos de la muestra. El hogar decide sembrar determinado cultivar nativo en una porción del área dedicada al cultivo del arroz, si la utilidad que sus miembros esperan obtener es mayor que la que obtendrían de las otras alternativas disponibles ( $U_i > U_j$  para cualquier  $j$  que no sea igual a  $i$ ). Debido a que no se pueden observar los niveles de utilidad ( $U$ ), las selecciones observadas en los datos revelan las alternativas que proporcionan la mayor utilidad a los hogares. Las variaciones en estas selecciones se explican sistemáticamente por las preferencias de los hogares y las restricciones que los afectan. Las preferencias y las restricciones dependen de variables observables relacionadas con las características del hogar, de la finca y del mercado. Al tomar datos de una muestra aleatoria de hogares, se introduce un componente estocástico con lo cual se proporciona un contexto estadístico para predecir la probabilidad de que un hogar cultive un cultivar nativo como una función del componente sistemático ( $\beta'X$ ) y los errores aleatorios ( $\varepsilon$ ):

Probabilidad

(Cultivar nativo  $i$  escogido) = Probabilidad ( $U_i > U_j$ )

$$\begin{aligned}
 &= \beta_0 + \beta_H' \Omega_{HH} + \beta_F' \Omega_F + \beta_M' \Omega_M \\
 &+ \beta_Y Y^0 + \beta_A A + \varepsilon.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

### Métodos econométricos

La ecuación I es la base del análisis econométrico y las pruebas de hipótesis. Se usó un modelo de probabilidad para estimar la regresión con el programa LIMDEP (versión 7.0), la cual se verificó con el programa STATA. Las pruebas econométricas investigan qué factores aclaratorios especificados en el modelo de toma de decisiones alteraron significativamente la probabilidad previa (la factibilidad) de que un hogar campesino siembre los cultivares nativos clasificados por los fitomejoradores de arroz como genéticamente diversos, raros o adaptables. Las pruebas se implementan especificando regresiones con diferentes variables dependientes (criterios

de selección) y las mismas variables explicativas. Se comparan los signos y la significación estadística de los coeficientes de regresión.

Las variables dependientes en las regresiones se definen de acuerdo con los resultados de la encuesta de informantes clave (Cuadro 16.2).

En el Cuadro 16.3 se presentan las variables aclaratorias y los efectos hipotéticos, agrupados de acuerdo con los conjuntos de características observadas que representan las variables conceptuales de la ecuación 1.1. A continuación se hace una breve descripción de estas variables aclaratorias.

### Características de los hogares

Las características de los hogares afectan la selección de los cultivares nativos de dos maneras: las preferencias y los costos de la transacción comercial para ese hogar en particular. La edad, la educación y la composición de género del hogar influyen en las preferencias y los hábitos. Es más probable que los agricultores de mayor edad hayan cultivado una gama de cultivares nativos de arroz y estén acostumbrados a hacerlo. Un mayor nivel de estudios puede aumentar la capacidad de las personas que toman las decisiones tanto sobre producción como sobre consumo (generalmente hombres y mujeres, respectivamente) para adquirir información y experimentar, pero frecuentemente está asociado a una preferencia por las variedades modernas y la especialización. Una mayor disponibilidad

Cuadro 16.2. Definición de las variables dependientes en los modelos de probabilidad de la regresión.

Diversidad	Población no uniforme, heterogénea	Si = 1, Lo contrario = 0	Cualquier cultivar nativo que satisfaga este criterio de selección
Particularidad	Características únicas o no comunes	Si = 1, Lo contrario = 0	Cualquier cultivar nativo que satisfaga este criterio de selección
Adaptabilidad	Amplia adaptación	Si = 1, Lo contrario = 0	Cualquier cultivar nativo que satisfaga este criterio de selección

**Cuadro 16.3.** Definiciones de las variables aclaratorias y de los efectos hipotéticos en la diversidad.

Nombre de la Variable*	Definición de la Variable	Efecto Hipotético
<b>Características del Hogar</b>		
AGEPDM	Edad (en años) de quien toma la decisión sobre la producción	(+)
EDUPDM	Educación (número de años) de quien toma las decisiones sobre producción	(+, -)
EDUCDM	Educación (número de años) de quien toma las decisiones sobre consumo	(+, -)
AAGLABR	Adultos activos que trabajan en la finca (cantidad)	(+)
FAADTPCT	Porcentaje de mujeres entre los adultos activos que trabajan en la finca	(+)
LANIMLV	Valor (en rupias nepalesas) de los animales grandes (bueyes, animales lecheros)	(+)
TOTEXP	Promedio mensual de gastos del hogar (en rupias nepalesas) desde la cosecha anterior a este ciclo de cultivo (ingreso exógeno)	(+, -)
SBRATIO	Proporción en kilogramos de arroz producidos y kilogramos de arroz consumidos (promedio de los últimos 5 años)	(+, -)
<b>Características Físicas de la Finca</b>		
IRPCNT	Porcentaje del área cultivada con arroz en condiciones de riego	(+, -)
LNDTYP	Cantidad de tipos de terreno para el cultivo de arroz	(+)
RDPLCULH	Tiempo total (en minutos) para caminar desde la casa hasta la parcela de arroz	(+)
<b>Características del Mercado</b>		
TMKTDS	Tiempo total (en minutos) para caminar desde la casa y las parcelas de la finca al mercado local	(+)
LRSold	Grano de cultivares nativos vendido por el hogar en el ciclo de cultivo inmediatamente anterior (kg)	(+)
MVSold	Grano de variedades modernas vendido por el hogar en el ciclo de cultivo inmediatamente anterior (kg)	(-)

de mano de obra adulta le permite al hogar adentrarse en un conjunto mayor de variedades de arroz con diferentes requerimientos de manejo. La proporción de mano de obra femenina puede relacionarse positivamente con la siembra de ciertos cultivares nativos que poseen determinados atributos únicos para el consumo. Un estudio anterior realizado por el equipo del proyecto reveló que las mujeres tienen un papel más destacado en el cultivo y en el mantenimiento de la semilla de arroz (Subedi et al. 2000).

Se espera que los hogares que tienen una mayor cantidad y un mayor valor de animales de tiro (bueyes) y animales lecheros (búfalos, vacas) cultiven una mayor diversidad de variedades de arroz puesto que tienen mejor acceso a los insumos y la información, una mayor capacidad para experimentar y mayor demanda de forraje. La tenencia de bueyes (fuerza de tiro) también facilita la preparación oportuna de la tierra, la trilla y el transporte de insumos y productos cosechados. Por un lado, el ingreso de dinero de fuentes diferentes a la agricultura aumenta la capacidad de los agricultores de contratar mano de obra y comprar insumos, lo que a su vez les permite emprender un rango más amplio de actividades. Por otro lado, puede implicar que los integrantes del hogar estén involucrados en actividades fuera de la finca y le dediquen menos tiempo a las variedades de arroz especiales. Los agricultores que producen arroz por encima de sus necesidades esperadas de consumo pueden tener más facilidades para mantener los cultivares nativos, o pueden ser aquellos que se especializan en la producción de variedades modernas para el mercado.

#### *Características físicas de la finca*

En este sistema agrícola, intensivo en el uso de mano de obra y caracterizado por fincas muy pequeñas, la fragmentación de las parcelas y la heterogeneidad de los tipos de terreno son aspectos críticos de la tecnología agrícola. Mientras más diferentes sean los tipos de terreno en los que los agricultores cultivan arroz y mientras más dispersas se encuentren las parcelas, mayor será la probabilidad de que siembren cultivares nativos para adecuarse a determinados nichos estacionales o físicos. El riego mejora la disponibilidad de humedad y puede tener efectos negativos o positivos en la probabilidad de cultivar determinados cultivares nativos. Un mejor acceso al agua puede aumentar la probabilidad de especialización de algunas variedades, haciendo que el proceso de producción sea más uniforme, y puede permitir el cultivo de un rango más amplio de variedades con diferentes requerimientos de humedad y períodos de maduración.

### *Características del mercado*

Las variables del mercado afectan la diversidad mediante el grado en que los hogares comercialicen su producción de arroz y compren en el mercado insumos, alimentos y otros productos para el hogar. La distancia entre el hogar y el mercado es un componente importante del costo de hacer transacciones en el mercado. Mientras más lejos esté el hogar del mercado local, mayor la probabilidad de depender de su propia producción para satisfacer sus necesidades de consumo. Las necesidades de consumo pueden incluir un conjunto de productos alimenticios y de forraje. Se espera que las ventas anteriores de grano de los cultivares nativos se relacionen positivamente con los incentivos de sembrar estos cultivares. Las ventas anteriores de grano de las variedades modernas pueden relacionarse con la especialización en algunas variedades modernas más uniformes.<sup>2</sup>

## Resultados

### *Estadísticas descriptivas*

Como se observa en el Cuadro 16.4, es más probable que los hogares ubicados en las montañas más aisladas (ecosistema de Kaski) siembren los cultivares nativos identificados por los mejoradores de arroz como potencialmente valiosos por su diversidad, rareza o cualidades adaptativas, en comparación con los hogares ubicados en las planicies (ecosistema de Bara).

La estructura demográfica de los hogares productores de arroz es similar en los dos ecosistemas en cuanto a la edad y a la educación de quienes toman las decisiones sobre la producción, a la mano de obra adulta, y a la cantidad y proporción de hombres y mujeres activamente involucrados en la agricultura. Sin embargo, en el ecosistema de Bara las mujeres que toman las decisiones tienen un nivel de estudios significativamente menor. Aunque los niveles de ingreso promedio son similares, el valor de los bienes ganaderos es menor en las llanuras. Los hogares de las llanuras venden mucho más grano de variedades modernas, y, por tanto, las cultivan más. Como promedio, logran satisfacer mejor sus necesidades de consumo de arroz a través de su propia producción que los hogares ubicados en las montañas. Las diferencias en las ventas de grano de los cultivares nativos no fueron significativas, posiblemente debido que sólo un agricultor del ecosistema de Bara reportó un volumen grande de ventas. Las características físicas de las fincas en los dos ecosistemas son similares en términos de la

**Cuadro 16.4.** Resumen de las estadísticas de las variables dependientes y las aclaratorias en los ecositios de Bara y Kaski.

Variable	Ecositio		
	Bara (N= 148)	Kaski (N= 159)	Todos (N= 307)
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>			
Porcentaje de hogares que siembran diversos cultivares nativos (+)	2	50.9	27.4
Porcentaje de hogares que siembran diversos cultivares nativos raros (+)	2.7	20.8	12.1
Porcentaje de hogares que siembran diversos cultivares nativos adaptables (+)	0.7	74.8	39.1
<b>VARIABLES EXPLICATIVAS</b>			
AGEPDM	48.27	46.20	47.20
EDUPDM	3.0	3.95	3.52
EDUCDM	0.48**	1.99	1.26
AAGLABR	2.52	2.51	2.52
FAADTPCT	0.27	0.28	0.28
LANIMLV	10,270**	18,490	14,527
TOTEXP	2,483	2,581	2,533
SBRATIO	1.40**	0.76	1.07
IRPCNT	0.42	0.39	0.407
LNDTYP5	1.54	1.49	1.517
RDPLCULH	120*	146	134.58
TMKTDS	163**	340	255.14
LR SOLD	16.89	43.68	30.76
MVSOLD	971**	38	487.8

*Nota:* Las pruebas por pares *t* muestran diferencias significativas de las medias cuando \*\* $p < .01$  y \* $p < .05$  entre los ecositios de Kaski y Bara con pruebas de 2 vías, asumiendo una varianza igual. (+) las pruebas  $X^2$  muestran diferencias significativas ( $p < .05$ ) entre los ecositios de Bara y Kaski. Referirse al cuadro 16.3 para las definiciones de las variables explicativas.

cantidad de tipos de terreno cultivados con arroz y el porcentaje de área bajo riego, pero las parcelas de arroz están mucho menos dispersas y los hogares están más cerca de los mercados en las planicies.

### *Resultados econométricos*

Los factores que predicen la coincidencia entre los valores privados y los valores sociales se presentan en el Cuadro 16.5, de acuerdo con cada criterio de selección (diversidad, particularidad y adaptabilidad). Estos son los factores que afectan significativamente la probabilidad de que los agricultores siembren los cultivares nativos identificados como importantes por los fitomejoradores de arroz.

Entre las características de los hogares, la educación, la composición de la mano de obra y los activos ganaderos son los factores predictivos estadísticamente significativos de que los hogares sembrarán cultivares nativos considerados importantes para programas de fitomejoramiento del cultivo en el futuro. El capital humano parece ser crítico. Mientras más educada sea la persona que toma las decisiones sobre el consumo de arroz (generalmente una mujer), mayor será la probabilidad de que el hogar siembre un cultivar nativo genéticamente heterogéneo. El aumento en la mano de obra adulta dedicada a la agricultura tiene un efecto grande en la probabilidad de que se cultiven cultivares nativos adaptables, contribuyendo significativamente también a la siembra de cultivares nativos genéticamente diversos. Un mayor porcentaje de mujeres entre los adultos activos del hogar implica que aumente la probabilidad de que se siembren cultivares nativos raros. Mientras mejor dotado esté el hogar de activos ganaderos (búfalos, bovinos y bueyes), mayor será la probabilidad de que se siembren los cultivares nativos seleccionados también por los fitomejoradores de arroz como diversos o adaptables. El ingreso externo parece no ser significativo puesto que el cultivo de los cultivares nativos no implica un gasto. La cantidad de tipos de terreno dedicados al cultivo del arroz (diversos nichos de producción en la finca) aumenta la probabilidad de que se cultive un cultivar nativo raro, y la dispersión de las parcelas de arroz en relación al área total cultivada contribuye de manera positiva a sembrar los cultivares nativos adaptables. La ubicación en el ecositio de montaña y el aislamiento de los mercados están asociados con la mayor probabilidad de sembrar cualquier cultivar nativo que los fitomejoradores de arroz identifiquen como potencialmente valioso para el mejoramiento futuro de este cultivo.

Para los factores de predicción de la estadística significativa son comunes a través de los subconjuntos de cultivares nativos, la dirección del efecto es la misma, aunque difiera la magnitud del efecto (ubicación del ecositio, proporción de adultos activos involucrados en la producción agrícola, distancia a pie hasta el mercado). Tres factores relacionados con las políticas tienen efectos que no son neutrales. Es decir, la importancia

**Cuadro 16.5.** Factores que predicen que los agricultores van a sembrar cultivares nativos que los fitomejoradores identifican como potencialmente valiosos en los dos ecosistemas de Nepal, de acuerdo con los criterios de selección.

Variables Explicativas	Criterios de Selección de los Fitomejoradores		
	Diversidad	Particularidad	Adaptabilidad
Constant	-0.6221***	-0.4289***	-2.6499***
Site	0.2792***	0.1074***	1.0596***
AGEPDM	-0.000029	-0.00058	0.000387
EDUPDM	-0.0101	0.00212	0.00931
EDUCDM	0.0218**	-0.00483	-0.00679
AAGLABR	0.04315**	0.01702	0.14948***
FAADTPCT	-0.03892	0.13687*	-0.05048
LANIMLV	0.000005*	-0.0000019	-0.000002
TOTEXP	-0.000023	-0.000018	0.0000003
SBRATIO	-0.09510	-0.02833	0.05185
IRPCNT	0.080216	0.005799	0.1390
LNDTYP	-0.05990	0.06588***	0.03843
RDPLCULH	0.000029	0.000056	0.001112**
TMKTDS	0.00040**	0.000137**	0.000665*
LRSOLD	0.00021	0.000111*	-0.000094
MVSOLD	-0.00004	-0.000005	-0.0001188
Log de la función de probabilidad	-93.79	-75.50	-54.65
Pseudo R al cuadrado	0.478	0.734	0.332

*Nota:* N= 307. El modelo de regresión usado en todos los casos es de probabilidad. Las pruebas Z de una vía fueron significativas cuando \*\*\* $p < .01$ , \*\* $p < .05$ , y \* $p < .1$ . Referirse al Cuadro 16.3 para la definición de las variables. La estadística Z es relevante para estimar la máxima probabilidad. Los valores reportados en el Cuadro son efectos marginales que se contabilizan como las medias de las variables explicativas.

estadística de su efecto depende de los criterios de selección de los fitomejoradores: la diversidad, la particularidad y la adaptabilidad. Primero, la educación de las mujeres y su participación en la producción agrícola predicen solamente que el hogar va a sembrar cultivares nativos raros o diversos, y la magnitud de los efectos difieren dependiendo del criterio de selección. Segundo, las ventas de grano de cultivares nativos que proviene

de cosechas anteriores es un factor relevante en las políticas que asocian de manera significativa el cultivo de cultivares nativos raros pero no con la siembra de cultivares nativos diversos o adaptables. Este resultado sugiere que los mercados especializados pueden brindar incentivos para que los agricultores continúen cultivando los cultivares nativos raros. Tercero, la dispersión de las parcelas de la finca, normalizada por las áreas agrícolas, es un factor predictivo de que los hogares sembrarán cultivares nativos adaptables. La tenencia y las prácticas de uso de la tierra son factores subyacentes a la distribución espacial de las parcelas.

### Resultados de estudios relacionados

En el Cuadro 16.6 se presentan los resultados de estudios relacionados, de acuerdo con los conjuntos conceptuales de las variables usadas en este capítulo de manera hipotética para explicar la variación en los niveles de diversidad de los cultivos mantenidos por los hogares campesinos o la probabilidad de que estos hogares continúen sembrando los cultivares nativos. En cada estudio de caso, la base teórica es el modelo del hogar campesino aplicado econométricamente a los datos colectados en las encuestas de hogares y parcelas. Los países y los cultivos incluyen un rango de niveles de ingresos y de cultivos: papas en Perú (Brush et al. 1992); trigo en Turquía (Meng 1997); maíz, frijol y auyama en México (Van Dusen 2000; Smale et al. 2001), cereales en Etiopía (Benin et al. 2003); y huertos domésticos en Hungría (Biol 2004). Los signos que aparecen en el cuadro indican una dirección del efecto estadísticamente significativo, y el cero se refiere al coeficiente de regresión que no es estadísticamente significativo.

A pesar de la aplicación de enfoques relacionados, no es fácil hacer generalizaciones. Una razón es porque en cada situación empírica, aunque las variables conceptuales sean las mismas, se deben adaptar las mediciones de las variables dependientes y aclaratorias al contexto del estudio, mediante instrumentos de la encuesta. En Perú, se estimaron ecuaciones para predecir la adopción de variedades modernas y el efecto de las variedades modernas en la cantidad de cultivares nativos de papa sembrados; en Turquía, se estimaron ecuaciones para predecir qué cultivares nativos de trigo se estaban sembrando, y la diversidad de los cultivares nativos de trigo tenía una explicación condicionada por la decisión de cultivarlas. En un estudio realizado en México se explicó la riqueza total de variedades de maíz, frijol y auyama en un sistema de milpas; en otro estudio, se investigó la asignación de un área cultivable entre los cultivares nativos de

**Cuadro 16.6.** Comparación de resultados de estudios económicos relacionados con la diversidad genética de los cultivos o con la diversidad de una especie cultivada.

Dirección de los efectos que se predijeron en los estudios de caso		Perú: Diversidad de los cultivos nativos de papa	Turquía: Diversidad de los cultivos nativos de trigo	México: Sistema de milpa, diversidad total de cultivos y diversidad varietal	México: Diversidad de los cultivos nativos de maíz	Etiopía: Diversidad de cereales cultivados	Etiopía: Diversidad varietal de los cereales	Hungría: Huertos Familiares, Diversidad de especies cultivadas	Hungría: Huertos familiares, Cultivares nativos
Factor afectado por los cambios económicos y las políticas									
Características del hogar									
Edad de la persona cabeza de hogar									
Educación									
Oferta de mano de obra agrícola									
Educación y de participación de las mujeres									
Ingresos desde fuera de la finca, migración									
Características de los bienes de la finca									
Fragmentación									
Altitud									
Heterogeneidad de los suelos, múltiples pendientes									
Potencial de productividad, calidad de los suelos									
Infraestructura del mercado									
Cultivo de variedades modernas									

Fuentes: Brush et al. (1992), Meng (1997), Van Dusen (2000), Smaale et al. (2001), Benin et al. (2003), Bitrol (2004).

Nota: "0" quiere decir que el efecto no fue estadísticamente significativo; una celda vacía quiere decir que no se incluyó la variable en la regresión. n/a = no aplica.

maíz. El estudio realizado en Etiopía examinó la riqueza y uniformidad de los cereales cultivados y de sus variedades. En la economía de transición y de altos ingresos de Hungría, se estudiaron diversos componentes de la biodiversidad agrícola, incluyendo la riqueza de las especies cultivadas y de los cultivares nativos en los huertos familiares.

Al igual que en el caso del arroz en Nepal, la edad de la persona encargada de tomar las decisiones no tiene un efecto significativo en los países de bajos ingresos como Perú y Etiopía. En los países de ingresos medianos y altos como México y Hungría, hay más probabilidades de que sean los agricultores mayores quienes siembren los cultivares nativos. En Nepal y Etiopía, donde se han medido las variables relacionadas al género, la educación de las mujeres y su participación en la producción agrícola afectan de manera positiva los niveles de diversidad genética de los cultivos en los hogares. En todos los países, el nivel de ingresos, los coeficientes de la oferta de mano de obra agrícola y los ingresos provenientes de fuera de la finca o de remesas indican que a medida que se generan fuentes alternas de empleo, se reducen los niveles de diversidad de cultivos o de diversidad genética a escala del hogar. El efecto predictivo de la riqueza es ambiguo; en algunos casos, los agricultores que poseen mayores recursos en cuanto a tierra, ganados y mano de obra tienen mayor capacidad de mantener la diversidad.

Aunque los resultados son ambivalentes para los factores agroecológicos, la fragmentación de las tierras de la finca, la heterogeneidad del suelo, la altitud y la agricultura de montaña son factores que tienden a estar asociados con una mayor diversidad de cultivos y de variedades. Por lo general, mientras más desarrollada esté la infraestructura de los mercados locales, menor serán los niveles de diversidad a escala de los hogares. Sin embargo, en las laderas de Etiopía, la proximidad de los mercados de semilla o de productos agrícolas parece favorecer la introducción de cultivos y variedades que complementan aquellos que los agricultores mantienen. En Turquía, los mercados locales parecen haber promovido la siembra de diversos cultivares nativos de trigo; en Nepal, las ventas de cultivares nativos se relacionaron de manera positiva con la probabilidad de que los agricultores sembraran cultivares nativos raros.

## Conclusiones

Los agricultores determinan la supervivencia de las variedades de los cultivos o el mantenimiento de determinados complejos de genes en un área

de referencia específica al elegir si los cultivan y en qué proporciones. Las decisiones que tomen en el presente afectarán no sólo su nivel de bienestar sino también el de la sociedad en el futuro. A medida que disminuyen las poblaciones de plantas, se pueden ir perdiendo algunos alelos o combinaciones de genes potencialmente valiosos. Los agricultores seleccionan qué variedades de un cultivo van a producir de acuerdo con su valor privado, y esto varía en la agricultura de semi-subsistencia, dependiendo de sus características y de las condiciones del mercado, así como también de las características físicas de las fincas.

Los fitomejoradores usan criterios para la toma de decisiones cuando seleccionan los materiales para los programas de mejoramiento o de conservación, y estos criterios difieren de los criterios de los agricultores y entre fitomejoradores. Por ejemplo, pueden identificar variedades que son genéticamente diversas, aquellas que tienen características particulares, o aquellas que expresan una amplia adaptación como potencialmente importantes para los programas de mejoramiento y por ende para la conservación de los recursos genéticos. Éstas son las mejores conjeturas respecto al valor social de los cultivares nativos.

El análisis que se presenta en este capítulo ha estado enfocado hacia el equilibrio en las políticas que están asociados con los criterios de selección para la conservación. Al aumentar la probabilidad de que los agricultores mantengan variedades de un conjunto elegido, se puede disminuir la probabilidad de que se sigan cultivando las variedades de otros conjuntos. Si es así, las políticas diseñadas para alcanzar un objetivo podrían tener serias consecuencias para otro objetivo. Nuestros resultados no muestran este tipo de conflictos. Sin embargo, sí sugieren que los programas o las políticas diseñadas para apoyar el cultivo continuado de cultivares nativos raros son diferentes de los que se necesitan para los cultivares diversos o adaptables. En especial, la inversión en la participación de la mujer en la producción de arroz y en el desarrollo de nichos de mercado puede aumentar la probabilidad de que los hogares cultiven cultivares nativos raros.

Los resultados de los análisis de regresión y el resumen de las estadísticas sirven para diseñar el enfoque que se debe usar en estos sitios y hogares para promover la conservación de la biodiversidad del arroz a escala local. Evidentemente, en el ecositio de montaña (Kaski) es más alta la probabilidad de que cualquier hogar productor de arroz cultive cultivares nativos genéticamente diversos, raros o adaptables. Los hogares productores de arroz en el ecositio de llanuras (Bara) cultivan y venden más variedades modernas de arroz. Además, están en mejores condiciones para satisfacer sus necesidades de consumo con su propia producción, a pesar de que las

mujeres que toman las decisiones tienen un menor nivel escolar, que los hogares de esta localidad que son más pobres en términos de bienes y que no superan al otro grupo en términos de ingresos externos.

No todos los hogares de Kaski y no todas los cultivares nativos de Kaski son candidatos igualmente promisorios para la conservación. Es más probable que los hogares con más adultos activos dedicados a la agricultura mantengan los cultivares nativos de valor social, de manera que al aumentar las oportunidades de empleo fuera de la finca se genere un efecto negativo en las perspectivas de conservación. Los hogares que mantienen cultivares nativos de valor social tienen fincas más heterogéneas y más aisladas de los mercados. La evidencia de que es más probable que los agricultores siembren cultivares nativos raros y vendan el grano localmente sugiere que el desarrollo de mercados especializados y controlados puede proporcionar un incentivo para mantener dichos materiales, aunque se desconoce la factibilidad y los costos de implementar este programa. Finalmente, esta focalización puede involucrar otros compromisos en términos de consideraciones de equidad. Aquellos que tienen más probabilidades de sembrar cultivares nativos socialmente valiosos son también más ricos en términos de recursos ganaderos, se espera que tengan un mayor nivel de producción y consumo, y están por lo menos al mismo nivel en términos de ingresos en efectivo. Aunque la mayoría de los agricultores de la montaña de Nepal están clasificados como pobres de acuerdo con los estándares internacionales, al enfocar el trabajo en los sitios y los hogares que tienen mayor probabilidad de mantener los cultivares nativos valiosos, de ninguna manera se está enfocando el trabajo en los pobres.

Al comparar los resultados de los estudios económicos relacionados que ya han sido finalizados o que están en proceso, salta a la vista la especificidad local en los efectos para predecir muchos factores, especialmente aquellos que están relacionados con el capital humano y las características de riqueza de los hogares. A pesar de la robustez de las hipótesis sobre infraestructura del mercado y heterogeneidad ambiental, se requiere una comprensión mucho más refinada de los mercados y los sistemas de semillas para apoyar el mantenimiento de la diversidad de los cultivos. Al interpretar los resultados de estudios de caso como los que aquí se presentaron, se debe hacer por lo menos una advertencia de tipo metodológico. Aunque podríamos argumentar que las consideraciones agroecológicas —en algunos casos en interacción con el desarrollo de la infraestructura del mercado— probablemente fomentarán la persistencia de las diferencias en el manejo de la diversidad del arroz entre los ecosistemas de ladera y de planicie, es limitado el grado en que la variación de corte transversal pueda sustituir

la variación temporal. Los datos longitudinales, o los datos que permitan el monitoreo periódico tanto de los resultados de diversidad como de los procesos subyacentes, permitirían sacar conclusiones más sólidas y son necesarios para establecer incentivos apropiados para la conservación en centros de diversidad importantes.

### Agradecimientos

Este capítulo se basa en la investigación llevada a cabo en Nepal, como parte del “Proyecto para la Conservación *in situ* de la agrobiodiversidad en fincas”. Agradecemos a T. Hodgkin, D. Jarvis, P. Eyzaguirre y B. Sthapit, científicos principales del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos por sus aportes conceptuales, y a E. Van Dusen, de la Universidad de California, Berkeley, por sus contribuciones. Esta investigación recibió el apoyo del Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo de Canadá, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, la Dirección General para la Cooperación Internacional de los Países Bajos y la Unión Europea. Los autores también agradecen a los miembros del equipo nepalés del Proyecto de conservación *in situ*, especialmente al personal de campo de los ecosistemas de Bara y Kaski por su apoyo durante la encuesta de campo.

### Notas

1. Puesto que se observó una alta correlación entre la distancia total a la parcela de la finca con el tamaño del área cultivada, se combinaron estas dos en una sola variable para poder captar el efecto de las parcelas dispersas mientras que se controlaba el total de hectáreas cultivadas.

2. Se usaron las ventas anteriores, más que las ventas actuales, para garantizar que las variables independientes utilizadas para explicar la selección de las variedades de arroz no fueran también las variables de selección. Se prefirió el volumen de ventas sobre el uso de la variable 0-1, porque el volumen expresa más variación.

### Referencias

APSD (Agri-Business Promotion and Statistics Division). 2001. *Statistical Information on Nepalese Agriculture*. Nepal: Ministerio de Agricultura, HMG.

- Benin, S. B., M. Gebremedhin, M. Smale, J. Pender y S. Ehui. 2003. Determinants of cereal diversity in communities and on house hold farms of the northern Ethiopian highlands. *Agriculture and Development Economics Division (ESA) Working Paper* 03-14. Roma: FAO. Available at [www.fao.org/es/ESA/wp/ESAWP03\\_14.pdf](http://www.fao.org/es/ESA/wp/ESAWP03_14.pdf).
- Birol, E. 2004. *Agri-environmental Policies in a Transitional Economy: Conservation of Agricultural Biodiversity in Hungarian Home Gardens*. PhD thesis, University College London, University of London.
- Brush, S. B., J. E. Taylor y M. R. Bellon. 1992. Biological diversity and technology adoption in Andean potato agriculture. *Journal of Development Economics* 39:365-387.
- Gauchan, D., M. Smale y P. Chaudhary. 2005. Market-based incentives for conserving diversity on farms: The case of rice landraces in central Tarai, Nepal. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52:293-303.
- Meng, E. 1997. *Land Allocation Decisions and In Situ Conservation of Crop Genetic Resources: The Case of Wheat Landraces in Turkey*. PhD dissertation, University of California, Davis.
- Shrestha, G. L. y D. A. Vaughan. 1989. *Wild Rice in Nepal*. Paper presented at the Third Summer Crop Working Group Meeting, National Maize Research Program, Rampur, Chitwan, National Agricultural Research Centre, Nepal.
- Simmonds, N. 1979. *Principles of Crop Improvement*. Harlow, Reino Unido: Longman.
- Singh, I., L. Squire y J. Strauss, eds. 1986. *Agricultural House hold Models: Extensions, Applications, and Policy*. Washington, DC and Baltimore: The World Bank y Johns Hopkins University Press.
- Smale, M., M. Bellon y A. Aguirre. 2001. Maize diversity, variety attributes, and farmers' choices in southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Development and Cultural Change* 50(1):201-225.
- Smale, M., E. Meng, J. P. Brennan y R. Hu. 2003. Determinants of spatial diversity in modern wheat: Examples from Australia and China. *Agricultural Economics* 28(1):13-26.
- Subedi, A., D. Gauchan, R. B. Rana, S. N. Vaidya, P. R. Tiwari y P. Chaudhary. 2000. Gender: Methods for increased access and decision making in Nepal. En D. Jarvis, B. Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 78-84. Roma: IPGRI.
- Upadhyay, M. P. y S. R. Gupta. 2000. The wild relatives of rice in Nepal. En P. K. Jha, S. B. Karmacharya, S. R. Baral y P. Lacoul, eds., *Environment and Agriculture: At the Crossroad of the New Millennium*, 182-195. Kathmandu, Nepal: Kathmandu Ecological Society.
- Van Dusen, E. 2000. *In Situ Conservation of Crop Genetic Resources in Mexican Milpa Systems*. PhD thesis, University of California, Davis.

- Van Dusen, E. y J. E. Taylor. 2003. *Missing Markets and Crop Genetic Resources: Evidence from Mexico*. Berkeley: University of California.
- Vaughan, D. y T. T. Chang. 1992. In situ conservation of rice genetic resources. *Economic Botany* 46:369-383.
- World Bank. 2003. *World Development Indicators 2003*. Washington, DC: The World Bank.

## 17 Economía de la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos pecuarios

---

### Estado del Arte

A. G. DRUCKER

El ganado aporta casi el 30% del total requerido por los seres humanos para la alimentación y la agricultura (FAO 1999), y casi el 70% de los pobres del mundo dependen de la ganadería como componente de sus medios de subsistencia (Livestock in Development 1999). La diversidad de los recursos genéticos de animales, por tanto, contribuye de muchas maneras a la supervivencia y al bienestar de la humanidad. Las diferentes características de los animales involucrados, y en consecuencia los productos que de ellos se derivan, se ajustan para satisfacer diferentes necesidades de las comunidades locales.

Sin embargo, se estima que 16% de estas razas, que habían sido adaptadas de manera singular y criadas durante miles de años de domesticación en un amplio rango de ambientes, se ha venido perdiendo desde comienzos del siglo XIX (Hall y Ruane 1993). Un 32% adicional (22% de mamíferos y 48% de especies avícolas) está en riesgo de extinción, y la tasa de extinción, que actualmente es de dos razas por semana, continúa acelerándose (FAO 2000). El pequeño acervo de genes de los recursos genéticos de animales domésticos (6000–7000 razas de 40 especies) implica que esta pérdida es muy preocupante. Dicha pérdida irreversible de la diversidad genética reduce las oportunidades de mejorar la seguridad alimentaria, disminuir la pobreza y de cambiar hacia prácticas agrícolas sostenibles.

La gran cantidad de recursos genéticos de animales en riesgo en los países en desarrollo y los limitados recursos económicos disponibles para conservarlos dan una idea del papel importante que el análisis económico puede desempeñar en asegurar que los esfuerzos de conservación se enfoquen de manera apropiada (UNEP 1995). No obstante, a pesar de

la importancia de la economía en la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos de animales, sólo recientemente se le ha prestado al tema la debida atención. Estos estudios revelan que se pueden usar diferentes métodos para valorar las preferencias de los agricultores en cuanto a razas y características y que estos métodos también pueden servir para diseñar políticas que contrarresten la tendencia actual hacia la marginalización de las razas nativas. También hacen posible reconocer la importancia que los productores de ganado le dan a las características adaptativas y a las funciones no relacionadas con el ingreso, la necesidad de considerar este énfasis en el diseño de los programas de mejoramiento genético, el identificar razas prioritarias para participar en programas de conservación que maximicen la diversidad de manera eficiente en cuanto a costos, y comparar los costos involucrados con los grandes beneficios que personas diferentes a los ganaderos le dan a la conservación de las razas.

Este capítulo discute brevemente los antecedentes teóricos, los posibles métodos, la información necesaria y las dificultades para realizar estos estudios antes de analizar los resultados de varios estudios económicos sobre los recursos genéticos de animales hechos recientemente en África, América Latina y Europa.

## Economía de la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos de animales

### *¿Qué puede aportar la Economía?*

Los argumentos económicos para la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos de animales pueden ser un medio efectivo para lograr el apoyo público y político necesario, incluyendo el desarrollo de políticas apropiadas. Con respecto a esto, entre las tareas importantes está la de determinar la contribución que los recursos genéticos de animales hacen a diversas sociedades y grupos específicos dentro de esas sociedades, apoyar la evaluación de prioridades mediante la identificación de medidas efectivas en costos que se podrían implementar para conservar la diversidad de los animales domésticos, y ayudar en el diseño de incentivos económicos y acuerdos institucionales para promover la conservación de los recursos genéticos de animales por las comunidades o por los ganaderos.

### *Marco del trabajo analítico*

La erosión de los recursos genéticos de animales se puede entender en términos de la modificación de la lista actual de animales domésticos con una selección de razas “mejoradas” especializadas que se cree pueden contribuir más directamente al bienestar humano. Al mismo tiempo, la teoría de la economía ha mostrado que los mercados funcionales pueden ser un aliado importante en la asignación eficiente de recursos, puesto que reflejan la escasez de determinado recurso mediante el mecanismo de precios, proporcionando así incentivos adecuados para el uso o reemplazo de los recursos.

Al considerar la pérdida de los recursos genéticos de animales en estos términos, Mendelsohn (2003) argumenta que el principal reto que enfrenta la conservación de los recursos genéticos de animales es identificar razones sólidas que expliquen por qué la sociedad debe preservar los animales que los agricultores han abandonado. Considerando que el mercado conservará las razas pecuarias valiosas, los conservacionistas se deben enfocar en lo que el mercado no hará, lo cual incluye la identificación y cuantificación de los beneficios sociales potenciales de los recursos genéticos de animales que han sido abandonados por el mercado. Entonces, los conservacionistas deben primero justificar las razones por las cuales la sociedad debe estar dispuesta a pagar para proteger estos recursos aparentemente no rentables, y deben luego diseñar programas de conservación que protejan efectivamente lo que la sociedad considera valioso.

Tisdell (2003) también reconoce la importancia del impacto del mercado en los recursos genéticos de animales, señalando la influencia que tienen las tecnologías pecuarias de los países desarrollados (como la inseminación artificial, la cría intensiva de animales a escala industrial) en las poblaciones pecuarias de los países en desarrollo. El autor señala también que la extensión de los mercados y la globalización de la economía pueden acelerar la pérdida de algunas razas. Este resultado se puede presentar debido a la especialización regional, los menores costos de las transferencias internacionales de razas, el efecto de la dominación de Swanson (es decir, que las razas utilizadas en los países desarrollados tienden a reemplazar las de los países en desarrollo), la especialización como resultado de la ventaja comparativa que conduce a una menor demanda de razas multipropósito, los cambios en las preferencias y la demanda de los consumidores, los cambios en la disponibilidad y en el precio de las importaciones de alimento para el ganado, y el aumento en la escala requerida para controlar los ambientes en los que se cría el ganado (Tisdell 2003:367-368 ). Tisdell

(2003:371) cita un ejemplo de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO sin fecha:45) en Nigeria para ilustrar cómo la apertura del comercio entre regiones y el alza en los precios de los cultivos arbóreos ha llevado a los agricultores a abandonar su ganado local. La FAO observa que aunque “por parte de los agricultores, esta es una estrategia perfectamente racional a mediano plazo, sería una falta de visión del gobierno nacional si permite la pérdida de los recursos genéticos que ese ganado representa, simplemente debido a un patrón temporal del comercio mundial”.

Pearce y Moran (1994) cuestionan aún más la capacidad de tales fuerzas del mercado “libre” de ofrecer un resultado socialmente deseable; argumentan que la actividad de la conservación de la biodiversidad (y de los recursos genéticos) genera valores económicos (de uso y no uso), que pueden no ser captados en el mercado debido a fallas en el mercado, en las intervenciones o en la apropiación global. El resultado de estas fallas es una distorsión en la cual los incentivos van en contra de la conservación de los recursos genéticos y a favor de las actividades económicas que destruyen dichos recursos. Recientemente, Smale (2005) recopiló métodos y estudios empíricos para la valoración económica en fincas de los recursos genéticos de los cultivos y discute estos temas.

El racionamiento económico, por ejemplo, sugiere que decisiones como la de reemplazar una raza nativa de ganado por una raza importada están determinadas por las tasas de retorno relativas de las dos opciones. Sin embargo, las tasas de retorno relevantes son aquellas que se le acumulan al agricultor y no a la nación, ni al mundo en su totalidad. Para el productor de ganado, la pérdida de una raza nativa parece ser un racionamiento económico porque los rendimientos son mayores que los obtenidos en actividades compatibles con la conservación de los recursos genéticos. Esto se debe a que esta última actividad puede tener beneficios no comerciales que acumulan otras personas diferentes al agricultor, o porque no hay disponibilidad de los insumos y los servicios subsidiados (por ejemplo, la inseminación artificial, los tratamientos veterinarios) para la raza importada.

Swanson (1997) observa que es probable que estos valores no comerciales sean importantes porque la biodiversidad no está equitativamente distribuida entre naciones, lo cual indica que los valores globales externos sí pueden ser significativos. Entonces, el problema de la biodiversidad no se puede concebir como una serie de dificultades que se derivan del hecho de que el proceso de conversión haya estado tradicionalmente regulado de manera globalmente descentralizada. Históricamente, las naciones y los individuos han podido tomar sus propias decisiones de conversión respecto a sus propias tierras y recursos sin tener en cuenta las consecuencias

para los demás. Esto genera un problema regulatorio importante porque el costo —en términos del valor de los servicios perdidos— de cada conversión sucesiva no es el mismo. A medida que avanza el proceso de conversión, escala rápidamente el costo de cada conversión sucesiva —en términos de la diversidad de los servicios ambientales que se pierden para todas las sociedades del planeta. Una buena parte del problema de la biodiversidad es la ausencia de un mecanismo que ubique estos costos dentro del marco de la toma de decisiones del estado o del individuo que hace la conversión.

En consecuencia, hay que hacer análisis económicos que ayuden a comprender los incentivos financieros que afectan a los ganaderos cuando seleccionan entre las razas nativas y las importadas, y las intervenciones necesarias para garantizar que el proceso de desarrollo agrícola en curso sea compatible con la conservación y el uso sostenible de la diversidad de razas de ganado.

#### Métodos y limitaciones del análisis económico de la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos de animales

A pesar de la importancia del estudio económico de la conservación de los recursos genéticos de animales, el tema ha recibido poca atención (FAO/ILRI 1999), a pesar de que existe un marco conceptual para valorar la biodiversidad en general. Diversas razones explican esta situación.

##### *Limitaciones metodológicas*

Primero, existen varias dificultades metodológicas que se han visto en los intentos por valorar los recursos fitogenéticos. Evenson (1991), por ejemplo, argumenta que es extremadamente difícil medir los beneficios de la diversidad del germoplasma para el desarrollo de los cultivos. Salvo excepciones, los recursos genéticos no se comercializan en los mercados y muchas veces son el producto de generaciones de innovaciones informales. Por tanto, resulta complejo identificar la contribución de determinada raza nativa al éxito de una variedad o raza mejorada. Adicionalmente, los materiales utilizados como base para el mejoramiento son de por sí el resultado de una función de producción, y sólo en términos muy generales es probable que se puedan identificar los rendimientos para cada factor (como mano de obra, tecnología en finca, aportes intelectuales; Evenson 1991; Pearce y Moran 1994).

No obstante, se podrían adoptar de otras áreas de la economía una serie de técnicas analíticas para llevar a cabo este análisis. Drucker et al. (2001) revisaron estas técnicas y categorizaron los métodos en tres grupos con base en el propósito práctico para el cual se puedan utilizar. Estos grupos, como se aprecia en el Cuadro 17.1, incluyen: determinar si los costos de un programa de conservación de recursos genéticos de animales son apropiados, determinar la importancia económica real de la raza en riesgo y establecer las prioridades en los programas de mejoramiento de los recursos genéticos de animales.

### *Poca disponibilidad de información*

Segundo, la disponibilidad de información es otra limitación. Para poder usar estos métodos hay que realizar las siguientes actividades:

- Medir los parámetros de rendimiento de la raza.
- Caracterizar los sistemas de mejoramiento existentes y potenciales
- Identificar los usos y las características preferidas por los ganaderos (incluyendo obtener los valores que los ganaderos le asignan a determinadas características y las concesiones que estén dispuestos a hacer entre características) de razas indígenas en diferentes sistemas de producción, las fuerzas que afectan esos factores y la adopción de razas alternativas.
  - Identificar los factores que afectan la demanda de ganado y los precios, incluyendo el impacto de los cambios, inducidos por las políticas, en los precios de los productos agrícolas básicos (como forraje o cultivo) y los costos de insumos externos (como el veterinario) en el contexto de usar una raza diferente.
  - Analizar el posible impacto de la adopción de razas alternativas en los medios de vida, así como las restricciones para la adopción y el acceso a estas razas, y los mecanismos de diseminación.
  - Considerar el papel de factores como la tenencia de la tierra, el potencial agrícola, la densidad de la población, el acceso al mercado y la integración, los requisitos para obtener licencias, los regímenes de impuestos, los programas de crédito y extensión, y la educación.

### *Necesidades de información no comercial y técnicas de encuesta*

Tercero, las importantes contribuciones no comerciales del ganado a los medios de vida (como la resistencia a la sequía y a las enfermedades, la idoneidad como fuerza de tracción, los valores culturales y sociales, el

**Cuadro 17.1.** Evaluación del método de valoración de los recursos genéticos de animales (RGA).

Método de evaluación	Propósito, objetivo o fortaleza	Actores para quienes el método de evaluación tiene mayor importancia	Papel que desempeña en la conservación	Tipo de información requerida	Disponibilidad de la información	Debilidad o dificultad conceptual
<b>Métodos para determinar si son apropiados los costos de un programa de conservación de recursos genéticos de animales</b>						
Métodos de evaluación contingente	Identificar la voluntad de la sociedad de pagar por la conservación de los RGA, la voluntad de los agricultores de pagar compensaciones para criar RGA nativos en vez de exóticos o para determinar las preferencias del valor que dan los agricultores a las características y los rendimientos netos de cada raza	Formuladores de políticas de conservación	Definir el límite superior de los costos económicamente justificados de los programas de conservación	Preferencias de la sociedad expresadas como la voluntad de pagar o la voluntad de aceptar	Generalmente no disponible; requiere encuesta	Dificultad en la respuesta cuando se usa para especies no carismáticas o para casos de erosión genética crónica
Se evita la pérdida de la producción	Indicar la magnitud de las posibles pérdidas de producción si no se conservan los RGA	Agricultores y formuladores de políticas de la conservación	Justificar el costo del programa de conservación de por lo menos esta magnitud	Estimar las posibles pérdidas en la producción (como porcentaje de manadas y valor comercial de los animales)	Precios en el mercado de las razas comerciales disponibles; se deben estimar las posibles pérdidas de manadas	No es una medida del valor excedente para los consumidores ni para los productores; ignora los efectos de sustitución

*El Cuadro 17.1. continúa en la página siguiente*

Cuadro 17.1., continuación

Método de evaluación	Propósito, objetivo o fortaleza	Actores para quienes el método de evaluación tiene mayor importancia	Papel que desempeña en la conservación	Tipo de información requerida	Disponibilidad de la información	Debilidad o dificultad conceptual
Costo de oportunidad	Identificar el costo de mantener la diversidad de los RGA	Agricultores y formuladores de políticas encargados de la conservación	Definir el costo de oportunidad del programa de conservación de los RGA	Costos de producción e ingreso neto del hogar	Generalmente no disponible; se requiere encuesta	
Costo mínimo	Identificar un programa efectivo en costos de conservación de los RGA	Formuladores de políticas de conservación; agricultores y mejoradores genéticos hasta cierto punto	Definir el costo mínimo para el programa de conservación	Costos de producción y rentabilidad para el hogar	Generalmente no disponible; se requiere encuesta	
Norma mínima de seguridad	Valorar las ventajas y desventajas de mantener la población mínima viable	Formuladores de políticas de conservación	Definir el costo de oportunidad del programa de conservación de los RGA	Diferencia entre los costos y los beneficios para el programa de conservación de criar diferentes razas	Generalmente no disponible; se requiere encuesta y modelos de simulación	Se requiere sensatez para saber si la sustitución de razas generará ganancias por encima de los beneficios no cuantificables de la conservación de razas nativas
<b>Métodos para determinar la importancia económica real de la raza</b>						
Oferta y demanda agregada	Identificar el valor de la raza para la sociedad	Formuladores de políticas pecuarias y de conservación; mejoradores genéticos	Valor de las pérdidas asociadas con la pérdida de los RGA	Datos intertemporales o a nivel de finca	Disponible para las razas comerciales; generalmente no disponible para las demás; se requiere encuesta	Se requieren precios sombra de la mano de obra doméstica y del forraje

Valoración transversal de la finca y el hogar	Identificar el valor de la raza para la sociedad	Formuladores de políticas pecuarias y de conservación; mejoradores genéticos y agricultores	Valor de las posibles pérdidas asociadas a la pérdida de los RGA	Diferencias en los precios al consumidor y del productor dependiendo de la localidad	Generalmente no disponible; se requiere encuesta	Se requieren precios sombra de la mano de obra doméstica y del forraje
Participación en el mercado	Identificar el valor comercial actual de una determinada raza	Formuladores de políticas pecuarias y de conservación; mejoradores genéticos y agricultores	Justificar la importancia económica de determinada raza	Valor comercial de los productos animales, especificados por raza	Generalmente disponible pero no siempre especificada por raza	No es una medida del valor excedente para los consumidores ni para los productores; ignora los efectos de sustitución
Derechos de propiedad intelectual y contratos	Generar mercados y apoyo para la distribución justa y equitativa de los beneficios de los RGA	Formuladores de políticas de conservación; mejoradores genéticos y agricultores	Generar fondos e incentivos para la conservación de los RGA	Pago de regalías o términos del contrato	Generalmente disponible cuando existen dichos acuerdos pero puede ser secreto comercial	Duración limitada de los contratos
<b>Métodos para establecer prioridades en los programas de mejoramiento de los RGA</b>						
Evaluación del programa de mejoramiento genético	Identificar los beneficios económicos netos del mejoramiento del inventario pecuario	Agricultores y mejoradores genéticos	Maximizar los beneficios económicos de los RGA conservados	Efectos sobre el rendimiento y costos de insumos	Disponibilidad para las razas comerciales; generalmente no disponible para las demás; se requiere encuesta o investigación	Dificultad para separar la contribución de los recursos genéticos de otros costos del programa

El Cuadro 17.1. continúa en la página siguiente

Cuadro 17.1., continuación

Método de evaluación	Propósito, objetivo o fortaleza	Actores para quienes el método de evaluación tiene mayor importancia	Papel que desempeña en la conservación	Tipo de información requerida	Disponibilidad de la información	Debilidad o dificultad conceptual
Función de la producción genética	Identificar los beneficios económicos netos del mejoramiento de los bienes pecuarios	Agricultores y mejoradores genéticos	Maximiza los beneficios económicos esperados de la conservación de los RGA	Efectos en el rendimiento y los costos de insumos	Disponible para razas comerciales; generalmente no disponible para las demás; se necesita encuesta o investigación	
Hedónico	Identificar los valores de las características	Agricultores y mejoradores genéticos; formuladores de políticas de conservación	Valora las posibles pérdidas asociadas a la pérdida de los RGA; comprensión de las preferencias en cuanto a razas	Características de los animales y precios en el mercado	Disponible para razas comerciales; generalmente no disponible para las demás; se necesita encuesta o investigación	No es una medida del valor excedente para los consumidores ni para los productores; ignora los efectos de sustitución
Modelo de simulación en fincas	El modelo mejoró las características de los animales en la economía de la finca	Agricultores y mejoradores genéticos	Maximiza los beneficios económicos de los RGA conservados	Insumos y productos; coeficientes técnicos de todas las actividades importantes	Disponible para razas comerciales; generalmente no disponible para las demás; se necesita encuesta o investigación	Definición correcta de la función del objetivo de la finca; también se puede dificultar la agregación para calcular el excedente para el consumidor

Fuente: Drucker et al. (2001).

ganado como medio financiero y seguro contra calamidades) se deben incorporar a los modelos y los análisis económicos porque esta información es crítica para identificar metas apropiadas para un programa de mejoramiento; adicionalmente esta información permite evaluar la rentabilidad relativa de las diferentes razas en uso.

Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de información sobre producción pecuaria a nivel nacional, esta información por lo general se limita a algunas razas importantes y prácticamente ignora las importantes contribuciones de las razas no comerciales. Iniciativas como el Sistema de Información de la FAO sobre la Diversidad de Animales Domésticos (DAD-IS) y el Sistema de Información sobre Recursos Genéticos de Animales Domésticos del International Livestock Research Institute sólo recientemente empezaron a atender este problema. La falta de disponibilidad de datos y la capacidad limitada de conseguir información relevante agrava aún más el asunto de la selección metodológica.

Cuarto, el tema de la disponibilidad de información también está estrechamente relacionado con la factibilidad de conseguir la información. Esto se debe a que son los productores y no los consumidores los que reciben la mayoría de los beneficios generados por las razas pecuarias nativas en sistemas de producción marginales. En consecuencia, son las preferencias de los productores las que han determinado los recursos genéticos de estas razas. Por tanto, la investigación se debe enfocar en la identificación y caracterización de estas preferencias para poder identificar el valor implícito de las características determinadas genéticamente, como primera aproximación al valor de los recursos genéticos de animales nativos. En los sistemas de producción marginales la presión de selección sobre el ganado apunta a crear animales capaces de rendir satisfactoriamente con recursos marginales. Los productores valoran el rendimiento pecuario principalmente con parámetros no comerciales. Por tanto, es esta categoría, de agentes económicos y de funciones no comerciales, la que hay que estudiar para poder derivar valores económicos (Scarpa et al. 2003a). Surge entonces la pregunta de cómo hacerlo de la mejor manera.

#### *Necesidad de usar las Técnicas de Apreciación Rural*

En el contexto de los resultados empíricos de los estudios de valoración de la biodiversidad y de las dificultades encontradas para aplicar los métodos y encuestas en zonas rurales o en sectores remotos, distantes de la economía de mercados, Pearce y Moran (1994) observan que “otra área de investigación incluye la posible modificación de las técnicas económicas

para usarlas en conjunto con un juego de métodos establecidos de evaluación participativa y rápida “apreciación rural”.

Los métodos de evaluación rural se han recomendado como herramienta de planeamiento útil para los productores de ganado (Waters-Bayer y Bayer 1994), como forma de ayudar a comprender mejor los intereses de mejoramiento y las preferencias de los ganaderos en cuanto a características funcionales y de producción (Steglich y Peters 2002), como una manera de seleccionar las características genéticas en los programas de mejoramiento pecuario (Tano et al. 2003), como una forma de lograr el análisis de situación y el desarrollo tecnológico (Conroy 2003), y como un mecanismo para facilitar los procesos de innovación local en los cuales el productor de ganado es el titular clave del conocimiento (por ejemplo de las opciones de forraje en sistemas que usan pocos insumos externos; Peters et al. 2001).

La clave es encontrar el método apropiado para el tipo de información que se necesita. En muchos casos, el mejor enfoque implicará involucrar una combinación de diferentes métodos de apreciación rural.

## Resultados y discusión

A pesar de las limitaciones mencionadas anteriormente sobre los análisis económicos en la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos de animales —en los cuales se han identificado métodos y enfoques apropiados para obtener los datos necesarios— se han logrado algunos resultados interesantes.

### *Herramienta de apoyo a la toma de decisiones para identificar prioridades de conservación de razas*

Reconociendo la cantidad de razas pecuarias nativas actualmente en riesgo de extinción y el hecho de que todas no se pueden salvar, y considerando las limitaciones de recursos económicos para la conservación, Simianer et al. (2003) desarrollaron una herramienta de apoyo a la toma de decisiones consistente en un marco de trabajo que asigna un presupuesto determinado entre un grupo de razas con el fin de maximizar la cantidad esperada de diversidad genética conservada entre razas. Apoyándose en el trabajo de Weitzman (1993), argumentaron que el criterio óptimo para el esquema de conservación consiste en maximizar el rendimiento total esperado de este conjunto de razas, que es la suma económicamente ponderada de la

diversidad, de las características de las razas representadas en el conjunto, y del valor de las razas conservadas. El método se ilustra con un ejemplo de 23 razas de bovinos Cebú y Zenga africanos. Los resultados indican que los fondos para la conservación se deben gastar solamente en de 3 a 9 de las 23 razas (dependiendo del modelo que se utilice), y que éstas no necesariamente son las razas amenazadas. Cuando los modelos están suficientemente especificados y hay disponibilidad de datos esenciales sobre parámetros clave, el marco de trabajo se puede usar para tomar decisiones razonables en una escala global.

#### *Técnicas de preferencia establecidas (evaluación contingente) para la valoración no comercial*

Obtener datos para estas herramientas de apoyo a la toma de decisiones y otras aplicaciones implica desarrollar una serie de técnicas capaces de atribuirle valores a los múltiples insumos y productos sin precio involucrados en las funciones de producción de un hogar. Tano et al. (2003) y Scarpa et al. (2003a, 2003b) usaron experimentos de selección de preferencias establecidas para evaluar las características fenotípicas de razas pecuarias nativas. En África Occidental, por ejemplo, se encontró que la resistencia a enfermedades, la aptitud como animal de tracción y el rendimiento reproductivo eran las características más importantes para incorporar en las metas de los programas de mejoramiento de razas. La producción de carne y leche fueron menos importantes. Los estudios también demuestran que estas técnicas (adaptadas de otras áreas de análisis económico ambiental) no solamente funcionan para la investigación en recursos genéticos de animales, sino que se pueden usar para investigar los valores de las características genéticamente determinadas (como la resistencia a enfermedades) que actualmente no se reconocen ampliamente en las poblaciones ganaderas, pero que son candidatas deseables para programas de mejoramiento o de conservación.

Los artículos también estudian la manera en que las características del hogar determinan diferencias en las preferencias por las razas pecuarias. Esta información adicional se puede usar para diseñar políticas que contrarresten la tendencia actual hacia la marginalización de las razas nativas. Por ejemplo, se pueden usar para identificar incentivos para la conservación de razas. En el caso de México, el experimento de selección revela que se necesitarían un mínimo de incentivos e intervenciones para garantizar el uso continuado y sostenible del porcino criollo, debido a que el valor neto

que los pequeños productores le asignan a la raza nativa es muy similar al que le asignan a otras razas.

En un estudio de caso realizado en un país desarrollado, Cicia et al. (2003) muestran que se puede usar un enfoque de preferencias establecidas en la selección autoexcluyente para estimar los beneficios de establecer un programa de conservación de equinos Pentro italianos, en riesgo de extinción. En el estudio se usó un modelo bioeconómico para estimar los costos asociados con la conservación y luego se hizo un análisis de costo-beneficio. Los resultados no sólo muestran que hay un valor netamente positivo, presente y grande, asociado con la actividad de conservación propuesta, sino que demuestran que este enfoque es una herramienta útil para apoyar la toma de decisiones por parte de los formuladores de políticas encargados de asignar los escasos fondos a una creciente cantidad de razas de animales en riesgo de extinción.

#### *Técnicas de preferencias reveladas para la valoración de mercados*

A diferencia de los enfoques de preferencias mencionados anteriormente, Jabbar y Diedhiou (2003) muestran que un enfoque hedónico de preferencias reveladas también se puede usar para determinar las prácticas de mejoramiento y las preferencias en cuanto a razas de los ganaderos. Analizando estos factores en el suroccidente de Nigeria, confirman una fuerte tendencia a abandonar las razas tolerantes a la tripanosomiasis, especialmente la raza Muturu, e identifican las características que los criadores de ganado encuentran menos deseables en estas razas en comparación con las Cebú. Los resultados sugieren que la mejor expectativa para implementar una estrategia de conservación o uso sostenible de las razas amenazadas tales como la Muturu se daría en otras áreas de África Occidental, como en el suroriente de Nigeria, donde la tripanosomiasis sigue siendo una limitación y donde el ganado Muturu es más adecuado a los sistemas agrícolas para los cuales sigue habiendo un mercado grande para esta raza.

#### *Modelo de productividad agregada para la evaluación del desempeño comparativo (razas nativas vs. razas cruzadas)*

La importancia secundaria de las características de producción de carne y leche en muchos sistemas de producción hizo que Ayalew et al. (2003) argumentaran que los criterios convencionales de evaluación de la productividad son inadecuados para evaluar la producción pecuaria en condiciones de subsistencia, puesto que no logran captar los beneficios no

comerciales del ganado, y el concepto central de un solo insumo limitante es inadecuado para la producción de subsistencia, puesto que el proceso de producción involucra múltiples insumos limitantes (ganado, mano de obra, tierra). Por tanto, se deben agregar en valores monetarios cuantas funciones (físicas y socioeconómicas) de la ganadería sean posibles y se las debe relacionar con los recursos utilizados, independientemente de si estos “productos” se comercializan, se consumen en el hogar o se mantienen para ser usados en el futuro. Involucrando estos tres índices complementarios de productividad a nivel del rebaño, se desarrolló un modelo de evaluación amplio y se aplicó en las montañas del oriente de Etiopía para evaluar los sistemas de subsistencia de producción caprina. Los resultados muestran que los rebaños de caprinos nativos generaron beneficios netos significativamente más amplios con un manejo mejorado que con el manejo tradicional, lo cual cuestiona la noción imperante de que las razas nativas no responden adecuadamente a las prácticas mejoradas de manejo. Adicionalmente, se demuestra que, en el modo de producción en condiciones de subsistencia de este estudio, la premisa de que los caprinos cruzados son más productivos y benéficos que los autóctonos es equivocada. Por tanto, el modelo proporciona una plataforma más realista para proponer intervenciones razonables de mejoramiento.

#### *Costos y beneficios de la conservación (técnicas diversas)*

Aún donde se ha reconocido el valor de las razas nativas y se han implementado mecanismos de apoyo, se pueden identificar deficiencias significativas. En un examen de las medidas de conservación de la biodiversidad animal en fincas y de los posibles costos de estas medidas en la Unión Europea, Signorello y Pappalardo (2003) reportan que muchas razas en riesgo de extinción, de acuerdo con la Lista Mundial de Vigilancia de la FAO, no están cubiertas con subsidios porque no aparecen en los planes de desarrollo rural de los países. Adicionalmente, en los casos en que se hacen los pagos de apoyo, éstos no tienen en cuenta los diferentes grados de riesgo de extinción entre razas, y los niveles de pago de todas maneras son inadecuados, queriendo decir que la cría de razas nativas puede continuar siendo no rentable. Por tanto, las medidas de apoyo de la Unión Europea a la conservación de los recursos genéticos de animales necesitan ser revisadas urgentemente si han de cumplir sus metas.

Los incentivos para la conservación de las razas nativas son inadecuados a pesar de que Drucker (en prensa) demuestra que los costos de conservación son pequeños. El autor usa en su análisis la literatura sobre

normas mínimas de seguridad y adapta la matriz de recompensas (máxima ganancia, mínima pérdida) de Croward (1998) para considerar las razas en vez de las especies. El marco de trabajo básico considera que los beneficios inciertos de la conservación de razas pecuarias nativas se pueden mantener siempre y cuando se mantenga una población viable de la raza (la norma mínima de seguridad, en este caso, la medida de la FAO de “no está en riesgo”, equivalente a aproximadamente 1000 animales). Los costos de implementar las normas mínimas de seguridad se calculan a partir del diferencial del costo de oportunidad (si lo hubiere) de mantener la raza indígena en vez de la raza exótica o el cruce de razas. Además, se deben incluir los costos administrativos y de apoyo técnico del programa de conservación. Los estimados del costo empírico se obtienen usando los datos de los tres estudios económicos de caso sobre los recursos genéticos de animales mencionados anteriormente (es decir, la UE, Italia y México). Los resultados apoyan la hipótesis de que los costos de implementar las normas mínimas de seguridad son bajos (como se puede observar en el Cuadro 17.2, dependiendo de la raza, los costos van desde aproximadamente 3000 hasta 426,000 Euros anuales), tanto cuando se comparan con el tamaño de los subsidios que recibe actualmente el sector agropecuario (menos del 1% del subsidio total) como en relación con los beneficios de la conservación (relación costo:beneficio de más de 2.9). Por fortuna, los costos son más bajos en los países en desarrollo puesto que el 70% de las razas pecuarias existentes actualmente se encuentra en esta parte del planeta, donde el riesgo de pérdida es mayor (Rege y Gibson 2003). Los costos son especialmente bajos en los lugares donde los enfoques de conservación se aplican en comunidades que aún favorecen el mantenimiento de la raza local. Por tanto, los enfoques de la norma mínima de seguridad se deben implementar con el apoyo del gobierno o de organizaciones no gubernamentales, en colaboración con las comunidades.

De esta manera se demuestra que el enfoque de la norma mínima de seguridad desempeña un papel en la conservación de los recursos genéticos de animales, pero se requiere realizar una cuantificación más extensiva de los componentes necesarios para determinar los costos de la norma mínima de seguridad antes de que el enfoque se pueda aplicar en la práctica. Dicha evaluación económica debe cubrir el rango completo de razas o especies que se están considerando y garantizar que se tengan en cuenta los elementos que constituyen el valor económico total, tanto como sea posible.

Drucker y Anderson proporcionan información adicional que apoya la hipótesis de que los costos de conservación de los recursos genéticos

**Cuadro 17.2.** Costos anuales (en Euros) de alcanzar una norma mínima de seguridad para determinadas razas de ganado.

Estudio de caso	BP <sub>exótica</sub>	BE <sub>nativa</sub>	Costo de oportunidad diferencial para 1000 animales	C <sub>nativa</sub>	Costo anual de la norma mínima de seguridad *
Porcinos criollos, México <sup>a</sup>	24.1	21.5	2,600	200-1,100	<2,800-3,700
Varios, Sicilia, Italia <sup>b</sup>	29 (ovino Comisana)	-12 (ovino Barbaresca)	41,000	No se detallan los costos del apoyo administrativo y técnico; se asume que es equivalente al 5% del total y por tanto está entre	43,000
	15 (caprino maltés)	-27 (caprino Girgentana)	42,000		44,000
	201 (equino Avelinés)	-58 (equino Ragusana)	259,000		272,000
	306 (bovino Bruna)	-53 (bovino Modicana y Cinisara)	359,000	€ 2000 y 20,000/año	377,000
	224 (Raza nativa de porcino)	-182 (porcino Negra Siciliana)	406,000		426,000
Equinos Pentro, Molise, Italia <sup>c</sup>	20.8 <sup>†</sup>		<179,200	Porcentaje desconocido de costos de apoyo administrativo y técnico incluidos como costos de producción en la columna del BE <sub>nativa</sub>	179,200

Fuentes: En Drucker (2005) y adaptado a partir de Scarpa et al. (2003a), Signorello y Pappalardo (2003) y Cicia et al. (2003).

Cn<sub>nativa</sub> = costo de conservación de la raza nativa con la norma mínima de seguridad (incluye los costos de apoyo administrativo y técnico); BE<sub>nativa</sub> = beneficios esperados de seguir usando la raza nativa; BP<sub>exótica</sub> = beneficios privados de la sustitución de la raza de ganado por razas exóticas.

\* Costo anual de la norma mínima de seguridad =  $1000 (BP_{exótica} - BE_{nativa}) + C_{nativa}$

† Datos que no son estrictamente comparables con los de los otros estudios. Se refiere a ingresos previstos.

‡ Datos que no son estrictamente comparables con los de los otros estudios. Se refiere a “ventas nuevas” menos “costos de producción”, y diferencial del costo de oportunidad para 1000 animales =  $(BP_{exótica} - BE_{nativa})$ .

**Cuadro 17.3.** Resumen de los resultados de las técnicas de evaluación, usando datos de apreciación rural relacionados con el porcino criollo Yucateca (México).

	Beneficios de la conservación y el uso sostenible (€)	Costos de conservación (€)
Participación en el mercado	0.54 millones	
Pérdidas de producción evitadas (solamente en el estado de Yucatán)	1.21 millones	
Evaluación de contingencias (prueba de degustación entre consumidores urbanos)	1.43 millones	
Evaluación de contingencias (experimento de selección de los productores) y enfoque de costo mínimo		<2,800-3,700

*Fuente:* Drucker y Anderson, no publicado.

*Nota:* Datos originales de valores en US\$ convertidos a Euros usando una tasa de 1 Euro = US\$1.10.

de animales probablemente son bajos en comparación con los beneficios. En un artículo sin publicar, que muestra cómo se pueden aplicar los datos obtenidos a través del uso de métodos de valoración rural<sup>2</sup> a algunos de los métodos de valoración revisados en Drucker et al. (2001), Drucker y Anderson muestran que los costos de conservación son menores en muchos órdenes de magnitud (Cuadro 17.3).

Además, el bajo costo estimado anual para el programa de conservación y uso sostenible de la raza pecuaria indígena sugiere que el enfoque del costo mínimo (Brush y Meng 1996) sí constituye un marco de trabajo útil que permite costear, dentro de un programa de conservación, los hogares o las aldeas donde los costos de conservación serían mínimos. Se puede entonces tener un argumento económico muy fuerte a favor de implementar un programa de conservación y uso sostenible. Además, es urgente emprender dicho programa si se quiere detener la extinción de esta raza que actualmente ha sido clasificada como crítica en la escala de riesgo de la FAO. El tamaño de los beneficios netos identificados también genera la interrogante de si la raza nativa está efectivamente en riesgo de extinción como lo predice la teoría, simplemente porque es menos rentable que las otras razas desde el punto de vista del agricultor. Aunque ciertos tipos de hogares (como los más grandes y con mayores recursos) sí expresaron

preferencias de valoración de características que apoyan esta teoría, la mayoría no las expresaron<sup>4</sup>. Sin embargo, la producción a pequeña escala de porcinos nativos ha disminuido para todos los hogares. Por tanto, parece ser que la población de razas puras ha disminuido hasta un nivel tan bajo, que factores como la falta de disponibilidad de ganado de cría nativo — más que las ganancias netas para el agricultor— están determinando la elección de una raza.

A nivel de la sociedad, la cuantía de los beneficios netos de un plan de conservación y uso sostenible sugiere que se deben atender una cantidad de fallas de mercado muy significativas si los valores de los beneficios (como las razas pecuarias nativas en calidad de reserva de genes de resistencia a enfermedades o en términos de su valor de existencia para los consumidores urbanos) se van a aprovechar con fines de conservación. Adicionalmente, las distorsiones del mercado introducidas por los subsidios a la producción de razas exóticas en el sector comercial son considerables, y los niveles de subsidios son varios órdenes de magnitud mayores que los costos de la conservación de las razas indígenas. En consecuencia, se está perdiendo un recurso genético importante en el mantenimiento de los medios de vida del agricultor de subsistencia debido a la falta de fondos mínimos, mientras que los agricultores comerciales reciben subsidios cuantiosos y que amenazan la diversidad de los recursos genéticos.

## Conclusiones

Los resultados descritos en este capítulo (basados en una variedad de especies, razas, sistemas de producción, sitios y enfoques analíticos) indican que sí existen métodos para el análisis económico de la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos de animales y que, cuando se usan junto a métodos de apreciación rural, pueden revelar cálculos útiles de las valoraciones que se le asignan a los atributos comerciales, no comerciales y potenciales de las razas.

Esta información acerca del conocimiento que el productor de ganado tiene de las características y de los requerimientos de manejo de una raza, así como las preferencias del productor en cuanto a las diferentes características de las razas, constituyen un insumo crítico para las estrategias de mejoramiento y conservación. Se puede también conseguir información respecto al rendimiento y al potencial de las razas nativas en mejores condiciones de manejo, a las prioridades para conservación de las razas y al tamaño relativo de los costos y beneficios resultantes de los programas de

conservación y uso sostenible. Estos datos son cruciales para comprender el tipo de intervenciones necesarias, y sus costos netos, para promover la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos pecuarios.

El reto es ahora aplicar este tipo de trabajo en contextos en los cuales se puedan utilizar los resultados para beneficiar a los ganaderos y apoyar el trabajo de los investigadores nacionales y de los formuladores de políticas.

## Notas

1. La modificación o el reemplazo se pueden presentar no sólo mediante la sustitución, sino también mediante el cruzamiento entre razas y la eliminación del ganado debida a cambios en el sistema de producción.

2. Éstos incluyeron entrevistas semiestructuradas, observación directa, inventarios, cronogramas, calendarios estacionales, estratificación socioeconómica, clasificación de preferencias y comparación de pares. Algunas de estas herramientas se aplicaron a grupos focalizados, en los hogares, en las fincas comerciales y en los mercados, con informantes clave (por ejemplo, productores locales de cerdos, carniceros, consumidores, personal de la comunidad de ganaderos) y también se aplicaron longitudinalmente realizando un monitoreo de algunos hogares seleccionados durante períodos de 12 meses.

3. Signorello y Pappalardo (2003) también identificaron beneficios netos igualmente grandes para la conservación en el caso de equinos italianos de la raza Pentro, lo cual indica que este resultado no es un hecho aislado.

4. Además, aún estos hogares más grandes y con mayores recursos prefieren las razas cruzadas a las razas exóticas. Sigue existiendo entonces la preocupación de cómo mantener una línea de pura raza que se pueda usar en el mejoramiento por cruzamiento.

## Referencias

- Ayalew, W., J. King, E. Bruns y B. Rischkowsky. 2003. Economic evaluation of smallholder subsistence livestock production: Lessons from an Ethiopian goat development program. *Ecological Economics* 45(3):331-339.
- Brush, S. y E. Meng. 1996. *Farmers' Valuation and Conservation of Crop Genetic Resources*. Paper prepared for the Symposium on the Economics of Valuation and Conservation of Genetic Resources for Agriculture, Centre for International Studies on Economic Growth, Tor Vergata University, Roma, May 13-15.
- Cicia, G., E. D'Ercole y D. Marino. 2003. Valuing farm animal genetic resources by means of contingent valuation and a bio-economic model: The case of the Pentro horse. *Ecological Economics* 45(3):445-459.
- Conroy, C. 2003. *Participatory Livestock Research: A Guide*. Londres: Intermediate Technology Publications.

- Crowards, T. 1998. Safe minimum standards: Costs and opportunities. *Ecological Economics* 25:303-314.
- Drucker, A. G. In press. The role of safe minimum standards in the conservation of livestock biodiversity. *International Journal of Agricultural Sustainability*.
- Drucker, A., V. Gomez y S. Anderson. 2001. The economic valuation of farm animal genetic resources: A survey of available methods. *Ecological Economics* 36(1):1-18.
- Evenson, R. 1991. Genetic resources: Assessing economic value. En J. Vincent, E. Crawford y J. Hoehn, eds., *Valuing Environmental Benefits in Developing Economies*. Proceedings of a seminar series held February-May 1990 at Michigan State University, Special Report No. 29.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Sin fecha. *Extensive Pastoral Livestock Systems: Issues and Options for the Future*. Available at <http://www.fao-kyokai.or.jp/edocuments/document2.html>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Roma: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed. Roma: FAO.
- FAO/ILRI (Food and Agriculture Organization of the United Nations/International Livestock Research Institute). 1999. *Economic Valuation of Animal Genetic Resources*. Proceedings of an FAO/ILRI workshop. Rome, March 15-17. Rome: FAO.
- Hall, S. J. G. y J. Ruane. 1993. Livestock breeds and their conservation: Global review. *Conservation Biology* 7(4):815-825.
- Jabbar, M. y M. Diedhiou. 2003. Does breed matter to cattle farmers and buyers? Evidence from West Africa. *Ecological Economics* 45(3):461-472.
- Livestock in Development. 1999. *Livestock in Poverty- Focused Development*. Crewkerne, Reino Unido: Livestock in Development.
- Mendelsohn, R. 2003. The challenge of conserving indigenous domesticated animals. *Ecological Economics* 45(3):501-510.
- Pearce, D. y D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. Londres: Earthscan.
- Peters, M., P. Horne, A. Schmidt, F. Holmann, P. C. Kerridge, S. A. Tarawali, R. Schultze-Kraft, C. E. Lascano, P. Argel, W. Stür, S. Fujisaka, K. Müller-Sämann y C. Wortmann. 2001. *The Role of Forages in Reducing Poverty and Degradation of Natural Resources in Tropical Production Systems*. AgREN Network Paper 117, July. Londres: ODI.
- Rege, J. E. O. y J. P. Gibson. 2003. Animal genetic resources and economic development: Issues in relation to economic valuation. *Ecological Economics* 45(3):319-330.

- Scarpa, R., A. Drucker, S. Anderson, N. Ferraes-Ehuan, V. Gomez, C. Risopatron y O. Rubio-Leonel. 2003a. Valuing animal genetic resources in peasant economies: The case of the Box Keken creole pig in Yucatan. *Ecological Economics* 45(3):427-443.
- Scarpa, R., P. Kristjanson, E. Ruto, M. Radeny, A. Drucker y J. E. O. Rege. 2003b. Valuing indigenous farm animal genetic resources in Africa: A comparison of stated and revealed preference estimates. *Ecological Economics* 45(3):409-426.
- Signorello, G. y G. Pappalardo. 2003. Domestic animal biodiversity conservation: A case study of rural development plans in the European Union. *Ecological Economics* 45(3):487-499.
- Simianer, H., S. Marti, J. Gibson, O. Hanotte y J. E. O. Rege. 2003. An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics* 45(3):377-392.
- Smale, M., ed. 2005. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Steglich, M. y K. J. Peters. 2002. *Agro-Pastoralists' Trait Preferences in N'dama Cattle: Participatory Methods to Assess Breeding Objectives*. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, Francia.
- Swanson, T. 1997. *Global Action for Biodiversity*. Londres: Earthscan.
- Tano, K., M. Faminow, M. Kamuanga y B. Swallow. 2003. Using conjoint analysis to estimate farmers' preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45(3):393-407.
- Tisdell, C. 2003. Socioeconomic causes of loss of animal diversity genetic: Analysis and assessment. *Ecological Economics* 45(3):365-376.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1995. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Waters-Bayer, A. y W. Bayer. 1994. *Planning with Pastoralists: PRA and More, a Review of Methods Focused on Africa*. Eschborn, Alemania: GTZ.
- Weitzman, M. 1993. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *Quarterly Journal of Economics* February:157-183.

## 18 Papeles ecológico y económico de la biodiversidad en los agroecosistemas

---

M. CERONI, S. LIU Y R. COSTANZA

A medida que los ecosistemas se vuelven menos diversos como consecuencia de la conversión y la intensificación en el uso de la tierra, aumenta la preocupación por el funcionamiento de estos sistemas y su capacidad de proporcionar un flujo continuo de servicios a la humanidad (Ehrlich y Wilson 1991). Durante más de una década se han venido investigando las consecuencias ecológicas de la pérdida de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas, pero sólo recientemente ha surgido interés en las consecuencias que la pérdida de agrobiodiversidad tiene en las funciones de los agroecosistemas. La intensificación de la agricultura, medida en diferentes niveles, ha resultado en una amplia disminución de la agrobiodiversidad, que incluye una reducción en la cantidad de variedades de los cultivos y del ganado, una disminución en la diversidad de la comunidad del suelo y la extinción de una gran cantidad de especies de enemigos naturales a nivel local.

Cada vez que se extingue una especie, se pierden rutas de flujo de energía y de nutrientes, alterando la eficiencia de los ecosistemas y la capacidad de las comunidades de responder a las fluctuaciones ambientales. Los agroecosistemas de monocultivo generalmente tienen poca resiliencia para responder a perturbaciones como la sequía, las inundaciones, los brotes de plagas o la presencia de especies invasoras, y a las incertidumbres relacionadas con las fluctuaciones en los mercados. Se necesitan entonces grandes cantidades de energía en forma de insumos agrícolas como fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y riego. Además de producir la biomasa comestible y la fibra, se espera que la agricultura multifuncional y sostenible —en la cual la producción se logra respetando las funciones y los procesos del

ecosistema y buscando minimizar el impacto sobre otros sistemas— produzca toda una gama de servicios ambientales, incluyendo el control de la erosión del suelo, secuestro de carbono, reciclaje de nutrientes, hábitat para la vida silvestre y fuentes para el esparcimiento espiritual y cultural.

El funcionamiento de un ecosistema se refiere a las tasas y magnitudes de los procesos del ecosistema, como la producción primaria, la descomposición y el reciclaje de nutrientes. Los servicios ambientales son las funciones que directa o indirectamente afectan el bienestar humano. Aunque existen medidas bien establecidas del funcionamiento de un ecosistema — como las tasas de mineralización y la producción de materia orgánica— es difícil traducir lo que los ecologistas miden en servicios ambientales. Puesto que los servicios ambientales representan las propiedades antropocéntricas de los ecosistemas, la noción de valor es parte inherente de su definición. Debido a esto, los servicios ambientales frecuentemente se miden en términos económicos más que en términos ecológicos, como serían el flujo de energía y de materia (ver Costanza et al. 1997). Aunque las economías locales e internacionales dependen mucho de los sistemas ambientales, los mercados generalmente los han ignorado y les han dado poco valor en la formulación de políticas.

El estudio de Costanza y sus colegas (1997) sobre el valor económico de los servicios ambientales en escala mundial ejemplifica bien esta situación. El estudio estimó el valor económico total, para el planeta, de los servicios ambientales con base en la valoración económica de estos servicios para cada uno de los 16 biomas (comunidades de plantas y animales bien adaptadas a las diferentes regiones climáticas de la Tierra, como los desiertos, los pastizales o los bosques templados).

Los autores encontraron que los cálculos de las actividades económicas en el mundo, como el producto interno bruto a escala mundial, no logran dar cuenta de la contribución económica sustancial de los servicios ambientales que proporcionan los diferentes biomas del planeta. Mientras que se estimó el producto interno bruto a escala mundial en US\$18 billones (109) por año, el valor económico de los servicios ambientales osciló entre US\$16 y 54 billones por año, con un promedio de US\$33 billones por año (cifras calculadas en dólares americanos de 1994). El estudio no deja claro hasta qué punto los diferentes agroecosistemas contribuyen al valor total de los servicios ambientales. Las tierras agrícolas, con un valor total de US\$ 128 mil millones anuales (0.38% del valor total estimado) parecen contribuir poco al flujo global de servicios ambientales más allá de la producción de alimentos (Cuadro 18.1). Sin embargo, este resultado es principalmente una consecuencia de la poca información disponible so-

bre los servicios ambientales en los sistemas de producción de alimentos y de la suposición de que las tierras agrícolas no proporcionan un hábitat para la vida silvestre, ni representan un recurso valioso para la recreación. Cuando se incluyen los pastizales y las pasturas —la mayoría de los cuales se supone que están sujetos a diversos niveles de pastoreo con fines agrícolas— el valor total de los servicios ambientales anuales proporcionados por las tierras agrícolas sube a US\$1.03 billones (3.1% del valor total estimado). Las tierras cultivadas, y los pastizales y pasturas, en conjunto contribuyen principalmente a la producción de alimentos (US\$336 mil millones), seguidos por el control biológico (US\$121 mil millones) y los servicios de polinización (US\$117 mil millones). El tratamiento de desechos (US\$339 mil millones) y el control de erosión (US\$113 mil millones) son los principales servicios que contribuyen al componente pastizales y pasturas del total de las tierras agrícolas. Considerando la magnitud de la escala de este estudio y las categorías amplias que se utilizaron para identificar los principales biomas, estas cifras no captan el papel que desempeñan los diferentes usos de las tierras agrícolas (como la cría de camarones, la acuicultura, los campos inundados y la agrosilvicultura) y, por tanto, subestiman inevitablemente la contribución de los agroecosistemas del planeta. Independientemente de cuales sean las cifras finales de la contribución total de los agroecosistemas al bienestar de la humanidad, la agrobiodiversidad es la que apoya los servicios ambientales de los cuales dependen nuestras sociedades. Sin embargo, sigue siendo un reto inmenso estimar las contribuciones económicas específicas de la agrobiodiversidad y de la biodiversidad en general al valor de los servicios ambientales (ver Turner et al. 2003 y Smale 2005).

Para los efectos de la valoración económica de la biodiversidad, se puede hacer una distinción entre los recursos biológicos y la diversidad biológica (OECD 2002). Los *recursos* biológicos (como los genes o las especies) son elementos de los ecosistemas, y tienen importancia directa para las economías humanas. Se cree que la *diversidad* biológica es de valor para las sociedades humanas como fuente de interacciones ecológicas, tolerancias fisiológicas, ordenamientos estructurales en el espacio y estructuras genéticas de la variedad de las especies, responsables en última instancia, del funcionamiento del ecosistema.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) reconoce la importancia de valorar la biodiversidad en términos económicos. La Decisión IV/10 de la Conferencia de las Partes en el CDB reconoce que “la valoración económica de la diversidad biológica y de los recursos biológicos es

**Cuadro 18.1.** Resumen del valor global promedio de los servicios ambientales anuales (en US\$/ha/año).

Biomás	Area (ha x 10 <sup>6</sup> )	Regulación de gases	Regulación del clima	Regulación de las perturbaciones	Regulación del agua	Abstracción de agua	Control de la erosión	Formación de suelos	Reciclaje de nutrientes	Tratamiento de desechos	Polinización	Control biológico	Habitat o refugios	Producción de alimentos	Materias primas	Recursos genéticos	Recreación cultura	Valor total por ha*	Valor total del flujo global†
Marinos	36,302																	577	20,949
Mar abierto	33,200	38							118		5		15	0			76	252	8,381
Costero	3,102		88						3,677		38	8	93	4		82	62	4,052	12,568
Planicies inundadas	180		567						21,100		78	131	521	25		381	29	22,832	4,110
Praderas y algas marinas	200								19,002					2				19,004	3,801
Arrecifes de coral	62		2,750								58	5	7	220	27	3,008	1	6,075	375
Plataforma continental	2,660								1,431		39		68	2			70	1,610	4,283
Terrestres	15,323																	804	12,319
Bosque	4,855	141	2		2	3	96	10	361	87	2	43	138	16	66	2	2	969	4,706
Tropical	1,900	223	5		6	8	245	10	922	87		32	315	41	112	2	2	2,007	3,813
Templado y boreal	2,955	88			0			10		87	4	50	25		36	2		302	894
Pastizales y pasturas	3,898	7	0		3		29	1		87	25	23	67	0	2			232	906

Humedales	330	133	4,539	15	3,800	4,177	304	256	106	574	881	14,785	4,879					
Ciénagas y manglares	165		1,839			6,696	169	466	162	658		9,990	1,648					
Pantanos y planicies inundadas	165	265	7,240	30	7,600	1,659	439	47	49	491	1,761	19,580	3,231					
Lagos y ríos	200				5,445	2,117		41		230		8,498	1,700					
Desiertos	1,925																	
Tundra	743																	
Hielo y rocas	1,640																	
Tierras agrícolas	1,400							14	24			92	128					
Tierras urbanizadas	332																	
<b>Total</b>	<b>51,625</b>	<b>1,341</b>	<b>684</b>	<b>1,115</b>	<b>1,692</b>	<b>576</b>	<b>53</b>	<b>17,075</b>	<b>2,277</b>	<b>117</b>	<b>417</b>	<b>124</b>	<b>1,386</b>	<b>721</b>	<b>79</b>	<b>815</b>	<b>3,015</b>	<b>33,268</b>

Fuente: Adaptado de Costanza et al. (1997).

Nota: Los totales de las filas y las columnas están en US\$ x10<sup>9</sup>/año. Las celdas sombreadas indican servicios que no se prestan o se sabe que son insignificantes. Las celdas en blanco indican que no hay información disponible.

\* Valor total por hectárea en US\$/ha/año.

† Valor total del flujo global en US\$ x 10<sup>9</sup>/año

un instrumento importante para la elaboración de incentivos económicos bien dirigidos y sopesados”.

La mayoría de los estudios sobre valoración de la diversidad han evaluado el valor directo de los *recursos biológicos* (es decir, el valor que los mercados comerciales captan de manera más fácil), y se enfocan en determinados recursos genéticos (plantas, cultivos o animales) o en el uso directo de especies de plantas para usos medicinales u ornamentales (para mayor información sobre el valor directo de los recursos genéticos en el fitomejoramiento de los cultivos, consultar las reseñas de Alston et al. 1998; Evenson y Gollin 2003). En algunos casos se han evaluado los valores no comerciales de los recursos genéticos, incluyendo los recursos genéticos del ganado (Drucker, Capítulo 17) y, más recientemente, los componentes de la agrobiodiversidad en los huertos familiares (Birol 2004; Birol et al. 2004). Recientemente se publicaron dos colecciones de estudios sobre la valoración de los recursos genéticos de los cultivos conservados en bancos de germoplasma (Koo et al. 2004) y de la diversidad biológica de los cultivos en fincas (Smale 2005; ver también el Capítulo 16), ambos usando datos primarios. Estos estudios se basan en investigaciones de campo detalladas y usan métodos de avanzada para valorar algunos componentes, o puntos de entrada, de la diversidad biológica.

Existe muy poca información sobre el valor económico de la mayoría de los componentes de la diversidad biológica para las sociedades humanas, y en particular, de su valor indirecto. La diversidad de las especies o de los grupos funcionales en una comunidad ecológica, por ejemplo, es de valor para nuestra sociedad en la medida en que es importante para el suministro de los servicios de los cuales nos beneficiamos, como el reciclaje de nutrientes, la producción de biomasa y la estabilidad de la producción de biomasa. Pero probar que la diversidad de una comunidad es de hecho importante es extremadamente difícil; y es aún más difícil identificar las reglas ecológicas generales que puedan servir para los amplios propósitos de la evaluación económica. En este capítulo reportamos los resultados de estudios ecológicos empíricos que midieron la relación entre la diversidad y las funciones de los ecosistemas (principalmente en sistemas agrícolas), trabajando con el supuesto de que las mediciones de las funciones de un ecosistema proporcionan indicadores útiles de la dirección y la intensidad del flujo de los servicios ambientales sin que necesariamente se traduzcan directamente en servicios ambientales. Nosotros nos enfocamos principalmente en el papel de la agrobiodiversidad (en vez de en los recursos biológicos). Además de proporcionar evidencia de los estudios ecológicos empíricos, cada sección describe brevemente la manera en la que el cono-

cimiento ecológico de la agrobiodiversidad se puede aplicar para informar la valoración económica. Recientemente, varios autores (Wilson 1988; Orians et al. 1990; Drucker et al. 2001; Nunes y van den Bergh 2001) revisaron exhaustivamente los métodos de valoración de la biodiversidad y los servicios ambientales, por lo cual nuestra discusión no incluye consideraciones metodológicas. Iniciamos el capítulo revisando los principales conceptos y hallazgos de una década de literatura sobre biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas. Luego discutimos cómo la agrobiodiversidad está relacionada con la estabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas. Examinamos después el papel que desempeña la heterogeneidad de los hábitats en sustentar las especies silvestres y posteriormente hacemos referencia a la agrobiodiversidad en escala del paisaje. Concluimos con observaciones sobre las necesidades de investigar para evaluar la relación entre la agrobiodiversidad y los servicios ambientales, y sus implicaciones para los estudios de valoración económica de la agrobiodiversidad.

#### Diversidad de productores y producción de biomasa

Durante la última década, la investigación empírica sobre los vínculos entre la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas que ha tenido mayor influencia es la de una serie de experimentos que manipularon la diversidad de las especies vegetales y la riqueza de los grupos funcionales en los pastizales (como por ejemplo las investigaciones de Naeem et al. 1994; Tilman et al. 1996, 2002; Hector et al. 1999) y en el microcosmos microbiano acuático (revisado por Petchey et al. 2002).

Puesto que hay una serie de publicaciones recientes que cubren extensamente el tema de la investigación en el funcionamiento de la biodiversidad (Chapin et al. 2000; Loreau et al. 2001, 2002; Kinzig et al. 2002; ver también los Capítulos 9 y 10), nosotros sólo revisaremos brevemente los temas centrales.

En muchos casos, los estudios empíricos y teóricos han confirmado las relaciones entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, pero se han identificado muchas relaciones —desde insignificantes hasta significativas, desde positivas hasta negativas— dependiendo de la escala de la investigación (Naeem 2001). Muchos factores, como la fertilidad del sitio, la perturbación, el tamaño del hábitat, el clima (Wardle et al. 1997), la presencia o ausencia de grupos tróficos (Mulder et al. 1999; Naeem et al. 2000), y la composición funcional de las especies (Hooper y Vitousek

1997; Tilman et al. 1997a) pueden determinar la relación entre la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas.

Diversos estudios encontraron correlaciones positivas significativas entre la riqueza de especies y la acumulación de biomasa en las plantas (revisada por Schmid et al. 2002). El debate sobre los mecanismos que están detrás de estas correlaciones giró durante mucho tiempo en torno a dos hipótesis, aunque se discutieron también algunas explicaciones alternativas (revisadas por Eviner y Chapin 2003). Aarssen (1997), Huston (1997) y Tilman et al. (1997b) sugirieron que el aumento de la productividad primaria en las parcelas más diversas, tantas veces observado, puede haber reflejado un efecto del muestreo. Una comunidad con una mayor cantidad de especies tiene inherente una mayor probabilidad de incluir especies con características superiores. Otra explicación de los efectos de la diversidad en el funcionamiento de los ecosistemas es la complementariedad de los nichos (Naeem et al. 1995; Tilman et al. 1997a). La mayor diversidad de especies en una comunidad aumenta el rango de características ecológicas —y consecuentemente la variedad de nichos disponibles— y conduce a un uso más eficiente de los recursos en un ambiente variable. El debate parece haberse reconciliado recientemente (Loreau et al. 2002; Naeem 2002). La complementariedad de los nichos y los efectos del muestreo parecen haber desempeñado diferentes papeles en diferentes fases de las manipulaciones experimentales. Inicialmente, se observa una respuesta de rápido crecimiento que parece compatible con el mecanismo de muestreo, en la que las parcelas con la mejor diversidad alcanzan una productividad casi igual a la de los mejores monocultivos. Después de dos o más años, una respuesta a más largo plazo muestra que las parcelas con la mejor diversidad producen mayores rendimientos que los mejores monocultivos, patrón que se puede explicar por la competencia interespecífica resultante de la diferenciación del nicho (Pacala y Tilman 2002).

Entre los resultados y las interpretaciones contrastantes generadas por una década de investigación sobre el funcionamiento de la diversidad parece surgir una conclusión y es que el papel de las especies en el funcionamiento de estas comunidades experimentales puede variar ampliamente. Algunas especies pueden ser indispensables para mantener el funcionamiento de un ecosistema, como es el caso de las especies clave (Paine 1966) o de los ingenieros de los ecosistemas (Jones et al. 1994; Wright et al. 2002). Otras especies podrían parecer redundantes en sus funciones ecológicas y podrían ser fácilmente reemplazadas por otras especies sin consecuencias apreciables en el funcionamiento del ecosistema, en caso de que se extinguieran (Walker 1992; Gitay et al. 1996; Naeem 1998).

Como se discutió en el Capítulo 10, una de las limitaciones de los estudios sobre la función de la biodiversidad es que han sido realizados en parches pequeños y controlados, que están lejos de imitar las condiciones de ecosistemas naturales o incluso de ecosistemas manejados. Por ejemplo, es difícil extrapolar las implicaciones de este tipo de investigación para los sistemas agrícolas donde la cantidad de especies de cultivos utilizadas normalmente es baja y los ciclos de rotación gobiernan las dinámicas temporales del sistema.

Muy pocos experimentos han manipulado la riqueza de las especies en sistemas agrícolas para evaluar los efectos en la producción de biomasa. Los resultados de un estudio sobre campos de heno en el sur de Gran Bretaña muestran que la restauración de la riqueza de las especies en campos previamente empobrecidos en términos de especies tuvo efectos positivos en la producción de heno. Bullock et al. (2001) reportaron un aumento en el rendimiento del 60% en tratamientos de riqueza de especies aplicados en experimentos de restauración de praderas de heno, en siete sitios al sur de Gran Bretaña. En un experimento de bloques al azar, se aplicaron en cada sitio dos mezclas de semillas (pobreza de especies, con  $6 \pm 17$  especies, y riqueza de especies, con  $25 \pm 41$  especies). El rendimiento de heno fue mayor en el tratamiento rico en especies, a partir del segundo año, con un incremento del 60% (Figura 18.1). Al comparar los dos tratamientos en todos los sitios, se observó una relación linear simple de la diferencia entre la cantidad de especies y el volumen del aumento en la producción de heno. La calidad del forraje fue la misma en los dos tratamientos. Esto sugiere que los agricultores pueden maximizar su producción de forraje en pasturas resemebradas maximizando la biodiversidad. Los resultados de este estudio son especialmente sorprendentes si pensamos que existe una concepción equivocada entre los agricultores de que todo esfuerzo por aumentar la biodiversidad resulta en una menor producción de alimentos.

La única deficiencia aparente de este estudio fue el mayor costo de la mezcla de semilla de alta diversidad; contrarrestar estos costos adicionales requeriría un mayor aumento en el rendimiento. Los mecanismos ecológicos detrás de los patrones observados parecen ser el resultado de diferencias en la cantidad de especies entre las parcelas del tratamiento y las de control, pero los autores advierten que debido a que no se varió independientemente la cantidad y la composición de las especies (como lo hicieron Hector et al. 1999), las diferencias en la composición también habrían podido contribuir a las diferencias en el rendimiento.

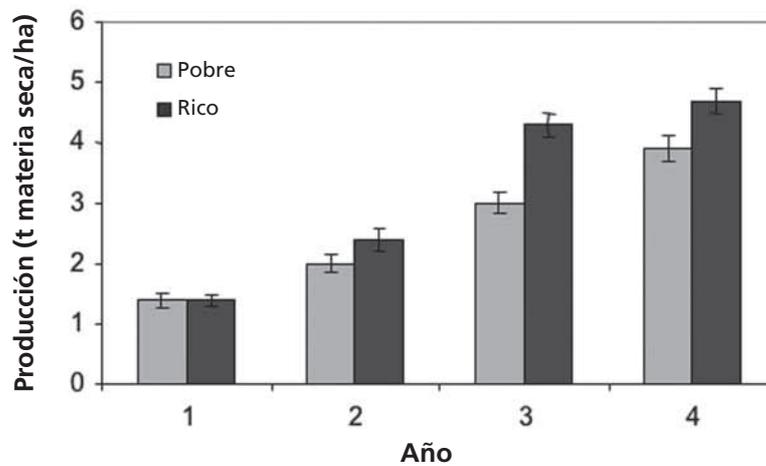


FIGURA 18.1. Efectos del tratamiento de biodiversidad en la producción de heno en diferentes años (se presenta la media de todas las parcelas y los sitios  $\pm 1 SE$ ). El tratamiento de riqueza de especies presentó un mayor rendimiento de materia seca del segundo año en adelante (adaptado de Bullock et al. 2001)

### Consideraciones económicas

En este estudio de caso, la contribución económica de la riqueza de las especies a la producción de heno es fácil de evaluar como la diferencia entre los resultados de producción de dos tratamientos con diferente riqueza de especies. Este tipo de valoraciones se podrían usar para desarrollar incentivos con el fin de que los agricultores promuevan una mayor diversidad de plantas en los sistemas de campos de heno.

En la mayoría de los casos, sin embargo, la evaluación de la contribución económica de la riqueza de las especies cultivadas a otros servicios del ecosistema, como el reciclaje de nutrientes o la regulación de CO<sub>2</sub>, no es tan sencilla. En el escenario más afortunado, aun suponiendo que se hayan identificado claramente las casualidades ecológicas entre la agrobiodiversidad y las funciones del ecosistema, sería improbable que las evaluaciones económicas alcanzaran una validez más allá de la escala del sitio estudiado.

Se están haciendo intentos para evaluar las contribuciones ecológicas y económicas específicas de la riqueza de las especies a la productividad primaria neta y al reciclaje de nutrientes en ambientes naturales y seminaturales a escala regional con base en múltiples modelos de regresión (Costanza et al. sin publicar).

## Diversidad de consumidores y saprótrofos

La mayoría de los estudios se han enfocado en el papel de la diversidad de los productores primarios en el suministro de servicios ambientales fundamentales. Sin embargo, se sabe muy poco acerca de los factores que influyen en los servicios ambientales dados por los niveles tróficos más altos en las cadenas tróficas naturales. Un estudio reciente de 19 cadenas tróficas de plantas, herbívoros y parasitoides (Montoya et al. 2003) mostró que las diferencias en la estructura de la cadena trófica y la riqueza de los herbívoros influyen en las tasas de parasitismo de los hospedantes, promoviendo la provisión de servicios de los enemigos naturales. Entre sus principales resultados, este estudio encontró que los parasitoides funcionan mejor en cadenas tróficas simples que en cadenas complejas, lo que indica que la riqueza de especies per se podría no ser un factor clave en el suministro de servicios ambientales de mayor nivel cuando se investigan comunidades multitróficas más complejas.

Como lo señalan Brown et al. (Capítulo 9), gran parte de la evidencia sugiere que en los suelos no existe una relación predecible entre la diversidad de las especies y determinadas funciones edáficas, lo cual dificulta anticipar las consecuencias de una disminución en la riqueza de las especies del suelo (Mikola y Setälä 1998). En muchos casos, pareciera que la función del ecosistema edáfico estuviera controlada por las características específicas de las especies dominantes y por la complejidad de las interacciones bióticas que se presentan entre los componentes de las cadenas tróficas del suelo (Cragg y Bardgett 2001).

El aumento de la diversidad funcional en las comunidades microbianas se ha asociado con una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Por ejemplo, en un estudio realizado durante 21 años, en el que se compararon los sistemas agrícolas biodinámicos, orgánicos y convencionales de Europa central (Mäder et al. 2002), las comunidades microbianas más diversas, típicas de los suelos manejados orgánicamente, transformaron el carbón en biomasa a partir de desechos, con menores costos energéticos.

### *Consideraciones económicas*

En los sistemas en los que el papel de una sola especie determina la tasa de un determinado conjunto de procesos ecológicos y el flujo de determinado servicio ambiental, esa especie se podría valorar independientemente. Pero esto casi nunca ocurre. Las interacciones ecológicas complejas normalmente dificultan dilucidar el papel de determinada especie y el efecto

de la diversidad en el apoyo a funciones específicas del ecosistema. Por estas razones, los economistas ecológicos tienden a valorar la biodiversidad indirectamente, valorando los servicios que la biodiversidad apoya. Por ejemplo, Walker y Young (1986) estiman que la erosión del suelo fue responsable de pérdidas del orden de US\$10 a US\$15 por hectárea en los ingresos generados por la agricultura en la región de Palouse, ubicada al norte de Idaho y al oeste de Washington, en los Estados Unidos. Esta estimación es un indicador agregado de las funciones ecológicas responsables de controlar la erosión en los agroecosistemas de esa región.

### La diversidad y la resiliencia en los agroecosistemas

La mayoría de los estudios sobre biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas se han desarrollado en condiciones estables. Los agroecosistemas normalmente están sujetos a perturbaciones cíclicas de intensidad variable, como consecuencia de las prácticas agrícolas, y a eventos impredecibles como la sequía o el brote de una plaga. Sin embargo, la relación entre la diversidad y las funciones de los ecosistemas puede cambiar en un ambiente en fluctuación (consultar los Capítulos 13 y 14).

Existe un consenso sobre que uno de los principales papeles de la diversidad en relación con los servicios ambientales es asegurarlos contra los cambios ambientales (ver, por ejemplo, Holling et al. 1995; Perrings 1995). La presencia de una mayor cantidad de especies funcionalmente similares garantiza que cuando las condiciones ambientales giren en contra de las especies dominantes, otras especies podrán fácilmente sustituirlas en sus funciones, manteniendo así la estabilidad del ecosistema (Yachi y Loreau 1999) y robusteciendo su fiabilidad (es decir, la probabilidad de que un sistema proporcione un nivel de rendimiento constante durante determinado tiempo; Naeem y Li 1997).

Por ejemplo, la diversidad de los polinizadores es esencial para los sistemas de producción de alimentos, no sólo debido a la carencia generalizada de polen para el establecimiento de frutos y semillas (Burd 1994), sino debido principalmente a las actuales tendencias de perturbación de los polinizadores (Nabhan y Buchmann 1997; Kremen y Ricketts 2000; Cane y Tepedino 2001; consultar también el Capítulo 8). Kremen et al. (2002) encontraron que la diversidad de polinizadores era determinante para sostener los servicios de polinización en fincas convencionales (en comparación con las fincas orgánicas) de California debido a la variación anual en la composición de la comunidad de polinizadores.

La redundancia en las comunidades microbianas del suelo parece ser muy común y crucial para mantener la resiliencia del suelo frente a las perturbaciones (consultar el Capítulo 9). Por ejemplo, las disminuciones de la biodiversidad del suelo, ocurridas debido a las técnicas de fumigación, muestran que los suelos con una mayor biodiversidad son más resistentes al estrés que aquellos cuya biodiversidad ha sido afectada (Griffiths et al. 2000).

Realizar estudios en regiones extremas del mundo, como el Valle Seco de la Antártida, donde las comunidades del suelo son mucho menos diversas, ofrece oportunidades experimentales únicas para estudiar el papel de la complejidad de la cadena trófica en la función edáfica. Las comunidades de nematodos de esta región, que incluyen un máximo de tres especies, generalmente carecen de redundancia y son especialmente sensibles a los cambios ambientales (Freckman y Virginia 1997).

La agrobiodiversidad a nivel genético también proporciona un valor de garantía frente a condiciones ambientales en permanente cambio. Los Capítulos 2 al 6 describieron evidencia empírica de como la diversidad genética en los sistemas de producción de alimentos asegura la adaptabilidad y la evolución en tanto suministra materia prima de cultivos y ganado con características genéticas deseables. En el Capítulo 15, Johns demostró cómo la diversidad agrícola y el conocimiento incorporado a su manejo son esenciales para la diversidad en la dieta y la salud humana.

Los ecosistemas capaces de absorber un mayor grado de perturbación antes de que su funcionamiento se vea significativamente alterado (es decir, que son más resilientes ecológicamente, *sensu* Holling 1973) pueden suministrar servicios ambientales de manera más permanente y continua. La siembra de mezclas varietales con diferentes niveles de resistencia a las plagas ha resultado ser una estrategia exitosa en la lucha contra los patógenos fúngicos (consultar también los Capítulos 11 y 12, y a Zhu et al. 2002).

La resiliencia en los monocultivos industriales se logra mediante el uso de insumos externos como fertilizantes y plaguicidas químicos, y combustibles fósiles. Como se observó en los Capítulos 12, 13, 14, 16 y 17, en los sistemas agrícolas menos intensivos, la biodiversidad puede actuar como colchón de fluctuaciones impredecibles en el ambiente y en el mercado. Diversos científicos han solicitado con insistencia que se reconozca el vínculo indisoluble entre la resiliencia ecológica y sociológica en sistemas manejados (Scoones 1999; Folke et al. 2003; Milestad y Hadatsch 2003). De hecho, los sistemas pueden ser ecológicamente resilientes pero socialmente vulnerables o socialmente resilientes pero ambientalmente degradables (Folke et al. 2003). Por tanto, se puede decir que los sistemas agrícolas

se pueden considerar como sistemas socio-ecológicos que se comportan como sistemas complejos y con capacidad de adaptación, en los cuales los administradores son componentes integrales del sistema (Conway 1987). En el Capítulo 13 se usó el término agrobiodiversidad para interrelacionar la *agrobiodiversidad*, el manejo de la diversidad y la diversidad biofísica en una diversidad organizacional. Para ser resilientes a las fluctuaciones naturales y del mercado, los agroecosistemas deben soportar la perturbación, deben poderse reorganizar después de la perturbación, y deben tener la capacidad de aprender y adaptarse cuando hay cambios (Walker et al. 2002). Los defensores de la Alianza de la Resiliencia argumentan que la resiliencia es algo que se puede mantener y se debe hacer para “evitar que el sistema se mueva hacia configuraciones no deseadas ante el estrés y las perturbaciones externas” y para “cuidar y preservar los elementos que le permiten al sistema renovarse y reorganizarse después de cambios masivos” (Walker et al. 2002). Tanto los componentes ecológicos como las capacidades humanas pueden desempeñar un papel importante en el manejo de la resiliencia. Por ejemplo, el valor del seguro de la agrobiodiversidad tiene un papel reconocido en la protección de la resiliencia de un ecosistema (Heywood 1995). Adicionalmente, los sistemas agrícolas con altos niveles de recursos sociales y humanos son más flexibles y más capaces de incorporar innovaciones frente a la incertidumbre (Pretty y Ward 2001).

#### *Consideraciones económicas*

La identificación y medición del valor del seguro de la biodiversidad es un ejercicio nada trivial. Por ejemplo ¿qué prima se pagaría por conservar la resiliencia de un determinado sistema? Una opción sería considerar el costo de mantener un sistema no resiliente. En los agroecosistemas esta prima sería equivalente al costo total de mantener las prácticas agrícolas intensivas mediante el uso de insumos externos, incluyendo los costos de los plaguicidas y fertilizantes químicos. Como se señaló anteriormente en este capítulo y en el Capítulo 8, la diversidad de los polinizadores es necesaria para mantener la resiliencia de los sistemas de producción en caso de que los polinizadores disminuyeran. Southwick y Southwick (1992) calcularon, para 62 cultivos en Estados Unidos, el grado al cual los polinizadores silvestres podrían reemplazar las funciones de las abejas melíferas, si éstas disminuyeran hasta el punto predicho por su modelo. Si los polinizadores silvestres no hicieran la compensación, las pérdidas de rendimiento de la alfalfa serían equivalentes al 70% de la producción total, es decir, US\$315 millones por año.

El mantenimiento o el incremento de la función de garantía de la diversidad genética y de las especies podrían tener un costo para las otras funciones relevantes en el bienestar humano, como la producción de alimentos y fibras. Por ejemplo, Heisey et al. (1997) evaluaron las pérdidas de rendimiento de variedades de trigo en Pakistán, asociadas con el cambio hacia un portafolio genéticamente más diverso de variedades, en decenas de millones de dólares estadounidenses por año. Widawsky y Rozelle (1998), Di Falco y Perrings (2003), Meng et al. (2003), y Smale et al. (1998) encontraron asociaciones tanto positivas como negativas entre la diversidad varietal de cultivos, la productividad de los cultivos y la variabilidad del rendimiento, dependiendo del contexto en que se presentara el sistema de cultivo. Mientras que se ha evaluado, por lo menos en algunos casos, el valor del seguro de la diversidad genética en los sistemas de producción de alimentos (consultar, por ejemplo, los estudios que revisan Drucker et al. 2001, en los que se calculan los costos de los programas de conservación de recursos genéticos), no hay estudios que analicen el valor del seguro de un portafolio diversificado de funciones y rasgos fenotípicos suministrados por las especies de cultivos, los organismos del suelo o los enemigos naturales. Las dificultades para determinar el valor del seguro se relacionan con la naturaleza intangible de este servicio y la incapacidad de contabilizar adecuadamente los beneficios en el futuro. Además, los resultados del estudio de valoración podrían variar dependiendo del nivel percibido de amenaza de colapso.

### Hábitats agrícolas y diversidad de paisajes

Varios estudios muestran que la diversidad de los paisajes agrícolas puede disminuir las pérdidas en el rendimiento causadas por plagas, en tanto afecta las poblaciones de insectos herbívoros y de enemigos naturales (consultar la revisión hecha por Andow 1991). Por ejemplo, las poblaciones más sanas de coleópteros carábidos depredadores se pueden encontrar en sistemas de fincas heterogéneas (donde la heterogeneidad se mide como la tasa entre el perímetro y el área) y en sistemas con una mayor diversidad de especies cultivadas (Ostman et al. 2001).

La composición y la distribución espacial de los cultivos perennes y anuales de un paisaje agrícola también pueden ser cruciales a largo plazo para la dinámica de la población de depredadores (Bommarco 1998; Thies y Tscharrntke 1999).

En otros casos, el policultivo no parece ofrecer ninguna ventaja para las poblaciones de enemigos naturales en comparación con el monocultivo (Tonhasca y Stinner 1991).

La inconsistencia en los resultados de experimentos que han manipulado la estructura del paisaje y la diversidad de la vegetación podría ser el reflejo de la variación relacionada con las diferentes escalas espaciales de las parcelas experimentales de vegetación. Un metaanálisis exhaustivo de los resultados en este campo encontrados en la literatura durante un período de 18 años muestra que la heterogeneidad espacial tiende a tener un efecto negativo considerable en los herbívoros en experimentos realizados en parcelas pequeñas, mientras que las parcelas de tamaño mediano tienen un efecto intermedio y las más grandes un efecto casi insignificante (Bommarco y Banks 2003).

La búsqueda de patrones generales en la relación entre la diversidad de los paisajes y de las especies se vuelve aún más complicada cuando se investiga la diversidad de múltiples taxones (Tews et al. 2004 y las referencias allí citadas; ver también los Capítulos 13 y 14). Esta relación depende específicamente de por lo menos tres factores: de los grupos de especies estudiadas, de la medición de la diversidad de los paisajes y de las escalas temporal y espacial.

Los paisajes agrícolas más diversos proporcionan hábitats importantes no sólo para los enemigos naturales sino también para los polinizadores, con lo cual se favorece el suministro de servicios de polinización (consultar también el Capítulo 8). Un estudio sobre los efectos de la estructura del paisaje agrícola en las abejas encontró que la riqueza de especies y la abundancia de abejas solitarias silvestres estaban positivamente correlacionadas con el porcentaje de hábitats seminaturales, lo cual es un indicador de la diversidad del paisaje (Steffan-Dewenter et al. 2002). La correlación dependió de la escala espacial y del grupo de especies. Por ejemplo, mientras que las abejas silvestres solitarias respondieron a la complejidad del paisaje en las escalas pequeñas, las abejas melíferas se correlacionaron con características estructurales del paisaje sólo a gran escala. En otros casos, la disponibilidad de hábitats adecuados para cosechar forraje fue más importante que la heterogeneidad del paisaje en la determinación de la riqueza de especies de polinizadores (Steffan-Dewenter 2003).

La diversidad del paisaje agrícola también puede aumentar la riqueza de las especies de aves y mamíferos. Una revisión reciente (Benton et al. 2003) presenta abundante evidencia de que la heterogeneidad del hábitat es importante para la biodiversidad de las tierras agrícolas desde la parcela individual hasta el paisaje en su totalidad. Por ejemplo, al parecer hubo

una mayor cantidad de aves que consumen semillas en las áreas de pastoreo que contenían parches pequeños de tierra cultivable que en los paisajes de pastizales puros (Robinson et al. 2001). Algunas especies de aves dependen específicamente de los hábitat abiertos que brindan los sistemas agrícolas en África (Söderström et al. 2003), al igual que en Europa (Pain y Pienkowski 1997) y en América Central (Daily et al. 2001).

Los parches de agrosilvicultura pueden albergar una cantidad de especies silvestres similares o mayores que los parches de bosques originales. Ricketts et al. (2001), por ejemplo, no encontraron una diferencia significativa en la abundancia y riqueza de especies de mariposas nocturnas entre fragmentos de bosque y de tierras agrícolas compuestos por monocultivo de café, café cultivado a la sombra, pasturas y fincas mixtas. Como se aprecia en la Figura 18.2, las plantaciones policultivos de café, diseñadas para imitar los sistemas naturales, en muchos casos mostraron riqueza de especies equivalente o mayor que las de los parches adyacentes de bosque natural (Perfecto et al. 1997; Daily et al. 2003). En los sistemas agrosilviculturales se puede observar una disminución en la diversidad de especies a medida que aumenta la distancia desde los parches de bosque (Ricketts et al. 2001; Armbrrecht y Perfecto 2003), aunque este resultado no es consistente en todos los estudios (como en Daily et al. 2003). Se ha documentado que las plantaciones de café bajo sombra, de América Central y del Sur, que incluyen árboles de leguminosas, de fruta, de leña y de forraje, contienen más de 100 especies de plantas por parcela y hasta 180 especies de aves (Michon y de Foresta 1990; Altieri 1991; Thrupp 1997).

Las áreas no cultivadas (por ejemplo las zonas de amortiguamiento ribereñas, los rompevientos o los sembrados en los bordes), los barbechos mejorados y la vegetación leñosa desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la biodiversidad de malezas, insectos, artrópodos y aves (Benton et al. 2003 y las referencias allí citadas; McNeely y Scherr 2003). Los setos vivos y la vegetación leñosa proporcionan hábitats para la biodiversidad silvestre, al tiempo que aumentan otros servicios ambientales como la estabilización edáfica, el control de la erosión del suelo y el secuestro de carbono.

### *Consideraciones económicas*

Una vez que se ha documentado un vínculo fuerte entre la diversidad del hábitat agrícola y la diversidad de las especies silvestres, se puede evaluar el valor de la agrobiodiversidad para proteger el hábitat de la vida silvestre, mediante los gastos asociados al disfrute de un ambiente biológicamente

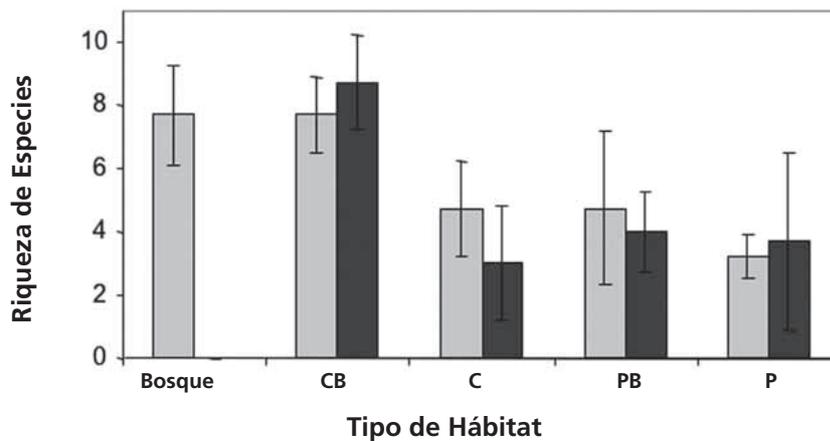


FIGURA 18.2. Riqueza de especies mamíferas por tipo de hábitat y distancia hasta un parche extenso de bosque (media  $\pm$  1 SE). Las barras sombreadas representan sitios en y cerca (<1km) del bosque; las barras negras representan sitios lejos (5-7 km) del bosque. La riqueza de especies varió significativamente entre los tipos de hábitat pero no con la distancia desde el extenso bosque. Los pequeños remanentes de bosque contiguos a las plantaciones de café (CB) no fueron diferentes de los extensos bosques en cuanto a riqueza de especies y fueron más ricos que las plantaciones de café (C), las pasturas adyacentes a remanentes del bosque (PB) y las pasturas (P) (adaptado a partir de Daily et al. 2003).

más rico. Otra alternativa es que las evaluaciones incluyan los costos de proteger la diversidad de los hábitats que proporciona la agrobiodiversidad. Por ejemplo, los ciudadanos de los Países Bajos estaban dispuestos a pagar entre 16 y 45 florines por hogar por año (equivalentes a \$10.80 y \$30.35 dólares americanos de 2003) para financiar las prácticas de manejo que mejoraran el hábitat de la vida silvestre en la región de las praderas holandesas (citado por Nunes y van den Bergh 2001).

#### Papel recreativo y cultural de la agrobiodiversidad

La variedad de usos de las tierras agrícolas puede mejorar la belleza escénica, con efectos positivos en la economía de las comunidades. Se sabe, por ejemplo, que las características estéticas se asocian con la heterogeneidad del paisaje (Stein et al. 1999). Comunidades enteras de la región Toscana de Italia se benefician de la economía del turismo rural, basado en la diversidad de parches agrícolas que incluyen viñedos, trigales, pasturas, huertos y olivares. Igualmente, el Montado, en la región Alentejo del sur

de Portugal, es un paisaje agrícola muy diverso. Los alcornoques y las encinas se cultivan en diferentes densidades, en combinación con rotaciones de cultivos, barbechos y pasturas, lo que resulta en un valor natural, escénico y recreativo (Pinto-Correia 2000). Otro ejemplo de una región agrícola rica es la provincia de Pinar del Río en Cuba, donde una sana industria de agroturismo depende de diferentes atracciones naturales intercaladas en un mosaico de tierras agrícolas, que integran áreas tabacaleras, cañaverales y árboles frutales (Honey 1999). Varios países europeos y estados de los Estados Unidos tienen políticas para preservar el carácter tradicional de los paisajes agrícolas. Suiza, por ejemplo, otorga un subsidio a los agricultores de las zonas montañosas por mantener una mezcla de coberturas del suelo agrícolas y naturales en razón del valor recreativo de estos sistemas heterogéneos (McNeely y Sherr 2003). Las organizaciones conservacionistas como Land Trust en los Estados Unidos frecuentemente compran los derechos de desarrollo como una manera de mantener el carácter rural y de múltiples usos de estos paisajes agrícolas, lo cual se percibe como una fuente de actividades culturales y de esparcimiento.

La biodiversidad agrícola es una fuente crucial de bienestar no material que se deriva de las tradiciones nutricionales, la diversidad en las dietas y un conocimiento de muchos años (Capítulo 15). La diversidad de plantas y animales en la agricultura de pequeña escala frecuentemente puede cumplir el objetivo del disfrute personal o la realización de la tradición de la comunidad o la familia, o puede satisfacer necesidades espirituales. Por ejemplo, la variedad de plantas domesticadas y de razas de ganado en varias regiones del mundo ha suministrado materias primas para la expresión artística a través de la fabricación de textiles y otras artesanías durante siglos. Otro ejemplo lo constituyen los huertos familiares, que se cultivan no sólo para obtener alimentos sino también por su valor ornamental y estético (Kumar y Nair 2004).

### *Consideraciones económicas*

Aunque no se ha hecho un análisis exhaustivo del valor de la diversidad agrícola de los paisajes para fines recreativos, abundan las fuentes de datos sobre gastos recreativos en regiones que incluyen diversos usos agrícolas de la tierra (por ejemplo Fleischer y Tsur 2000). Otra opción es calcular el valor de la heterogeneidad del paisaje agrícola mediante encuestas para estimar el valor económico que los visitantes le darían al mantenimiento del paisaje. Por ejemplo, Drake (1992) encontró que los ciudadanos suecos estarían dispuestos a pagar US\$130/ha cada año para preservar las tierras

agrícolas a cambio de que las conviertan en bosques —un valor superior al retorno de la producción agrícola en la mayoría de las regiones de Suecia.

Mientras que los ecólogos han identificado medidas de las funciones de los ecosistemas (como la biomasa para la productividad primaria o las tasas de mineralización para el reciclaje de nitrógeno), no hay cantidades correspondientes que se puedan usar como medidas de la función social relacionada con la diversidad agrícola. En muchas sociedades rurales, el valor cultural de ciertas plantas reside más allá de cualquier noción de medida monetaria. Se podría argumentar que el valor intrínseco de estos usos de las plantas no se puede medir. Hay casos en los que las valoraciones de los servicios de la biodiversidad pueden ser inapropiadas. Para este tipo de contribuciones se deben desarrollar métodos de evaluación alternativa, relevante para la toma de decisiones y la formulación de políticas. Un paso inicial en esta dirección se presenta en un estudio reciente, que analiza el valor histórico y cultural de la diversidad ganadera en Italia (Gandini y Villa 2003). Los autores evaluaron cualitativamente nueve razas locales de bovinos con base en su valor para el folklor, la gastronomía, las artesanías y el mantenimiento de las tradiciones locales.

## Conclusiones

Los servicios que la diversidad agrícola suministra son críticos para el funcionamiento de los sistemas que sustentan la alimentación. Contribuyen al bienestar humano, tanto directa como indirectamente, y por tanto representan parte del valor económico total del planeta.

Muchos están de acuerdo en que el manejo de la agrobiodiversidad puede proporcionar formas de aumentar la producción de alimentos, al tiempo que afecta positivamente otros servicios ambientales. Aunque se espera que la agricultura multifuncional y sostenible produzca mayores flujos de servicios ambientales, aún no se ha cuantificado el alcance de estas contribuciones y su valor económico. Muchas veces se pasan por alto los resultados positivos de los estudios de los sistemas agrícolas multifuncionales porque estos resultados generalmente se logran a pequeña escala y son difíciles de documentar. No obstante, la agricultura a pequeña escala es la manera predominante de cultivar en muchas regiones del mundo y se espera que permanezca así en las zonas marginales donde se espera que haya muy poca inversión en nuevas tecnologías agrícolas (Wood et al. 2000). La identificación de modelos experimentales alternativos puede ser crucial si se ha de lograr una mejor comprensión de la relación entre

la agrobiodiversidad y las funciones y servicios de los ecosistemas. Por ejemplo, se sabe que se podrían realizar experimentos de agricultura a gran escala (que involucran cientos de pequeños agricultores) sólo como resultado de una fuerte voluntad política y en los casos en los que se proyecten claramente los beneficios económicos para los agricultores, como es el caso del uso de mezclas de variedades de arroz en la provincia de Yunnan en China (Zhu y colegas, Capítulo 12).

Sin embargo, muchas veces los beneficios para los pequeños agricultores de experimentar o adoptar nuevas prácticas para mantener la agrobiodiversidad en su tierra podrían no estar disponibles o hacerse evidentes inmediatamente. Este es el caso específico de los valores de la agrobiodiversidad que no se pueden rastrear directamente hasta el mercado (Capítulo 16). Estos valores incluyen el valor del seguro contra el riesgo y la incertidumbre, el valor de apoyar servicios ambientales relevantes, y las funciones culturales y estéticas. Una evaluación completa de estos valores (que incluya una valoración tanto monetaria como ecológica) es clave para alentar a los formuladores de políticas a invertir en programas para la protección y el mantenimiento activo de la agrobiodiversidad. Las valoraciones económicas de los beneficios no comerciales de la agrobiodiversidad se pueden usar especialmente para identificar incentivos para que los agricultores adopten métodos de cultivo innovadores que puedan ser beneficiosos para la agrobiodiversidad aunque no sean económicamente viables.

En general, los actuales métodos de valoración se deben apoyar en una mejor comprensión de las relaciones entre la agrobiodiversidad y las funciones de los ecosistemas, al igual que en la identificación de funciones irremplazables.

Un desarrollo reciente en el campo de la valoración de los servicios ambientales muestra que las representaciones espaciales de la valoración de datos, basadas en sistemas de información geográfica, son una herramienta valiosa de visualización para facilitar el planeamiento del manejo y para identificar zonas objeto de conservación. Por ejemplo, en un estudio por encargo de la sociedad Audubon de Massachusetts, los investigadores M. Wilson y A. Troy lograron visualizar los valores no comerciales de los servicios ambientales a escala de la cuenca (Breunig 2003).

A la fecha, los estudios de valoración llevados a cabo a escala regional no diferencian entre los diversos usos de las tierras agrícolas, dificultando la evaluación a una escala mayor del valor económico de los servicios ambientales suministrados por los ecosistemas agrícolas.

Cuando se usan para informar y rediseñar las políticas, los estudios de valoración económica de la agrobiodiversidad se deben ver como estima-

ciones indicativas, reconociendo las incertidumbres acerca de las contribuciones reales de la diversidad en diferentes niveles de la organización ecológica.

## Referencias

- Aarssen, L. W. 1997. High productivity in grassland ecosystems: Effected by species diversity or productive species? *Oikos* 80:183-184.
- Alston, J. M., G. W. Norton y P. G. Pardey. 1998. *Science Under Scarcity: Principle and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting*. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Altieri, M. A. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems? *Outlook on Agriculture* 20:15-23.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36:561-586.
- Armbrrecht, I. e I. Perfecto. 2003. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97:107-115.
- Benton, T. G., J. A. Vickery y J. D. Wilson. 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18:182-188.
- Birol, E. 2004. *Valuing Agricultural Biodiversity on Home Gardens in Hungary: An Application of Stated and Revealed Preference Methods*. PhD thesis, University College London, University of London.
- Birol, E., M. Smale y Á. Gyovai. 2004. *Agri-environmental Policies in a Transitional Economy: The Value of Agricultural Biodiversity in Hungarian Home Gardens*. Environment and Production Technology Division Discussion Paper No. 117. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Bommarco, R. 1998. Reproduction and energy reserves of a predatory carabid beetle relative to agroecosystem complexity. *Ecological Applications* 8:846-853.
- Bommarco, R. y J. E. Banks. 2003. Scale as modifier in vegetation diversity experiments: Effects on herbivores and predators. *Oikos* 102:440-448.
- Breunig, K. 2003. *Losing Ground: At What Cost? Changes in Land Uses and Their Impact on Habitat, Biodiversity, and Ecosystem Services in Massachusetts*. Lincoln: Massachusetts Audubon Summary Report.
- Bullock, J. M., R. F. Pywell, M. J. W. Burke y K. J. Walker. 2001. Restoration of biodiversity enhances agricultural production. *Ecology Letters* 4:185-189.
- Burd, M. 1994. Bateman's principle and plant reproduction: The role of pollen limitation in fruit and seed set. *Botanical Review* 60:81-109.

- Cane, J. H. y V. J. Tepedino. 2001. Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: Detection, evidence, and consequences. *Conservation Ecology* 5:1. Disponible en <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art1>.
- Chapin, F. S. III, E. S. Zavaleta, V. T. Eviner, R. L. Naylor, P. M. Vitousek, H. L. Reynolds, D. U. Hooper, S. Lavorel, O. E. Sala, S. E. Hobbie, M. C. Mack y S. Diaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405:234-242.
- Conway, G. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24:95-117.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R. V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton y M. Van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Cragg, R. G. y R. D. Bardgett. 2001. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. *Soil Biology and Biochemistry* 33:2073-2081.
- Daily, G. C., G. Ceballos, J. Pacheco, G. Suzan y A. Sanchez-Azofeifa. 2003. Countryside biogeography of neotropical mammals: Conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. *Conservation Biology* 17:1814-1826.
- Daily, G. C., P. E. Ehrlich y G. A. Sanchez-Azofeifa. 2001. Countryside biogeography: Use of human-dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecological Applications* 11:1-13.
- Di Falco, S. y C. Perrings. 2003. Crop genetic diversity, productivity and stability of agroecosystems. A theoretical and empirical investigation. *Scottish Journal of Political Economy* 50:207-216.
- Drake, L. 1992. The non-market value of the Swedish agricultural landscape. *European Review of Agricultural Economics* 19:351-364.
- Drucker, A., V. Gomez y S. Anderson. 2001. The economic valuation of farm animal genetic resources: A survey of available methods. *Ecological Economics* 36:1-18.
- Ehrlich, P. R. y E. O. Wilson. 1991. Biodiversity studies: Science and policy. *Science* 253:758-762.
- Evenson, R. E. y D. Gollin. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* 300:758-762.
- Eviner, V. T. y F. S. Chapin III. 2003. Biogeochemical interactions and biodiversity. En J. M. Melillo, C. B. Field y B. Moldan, eds., *Interactions of the Major Biogeochemical Cycles. Global Change and Human Impacts*, 151-173. Washington, DC: Island Press.
- Fleischer, A. y Y. Tsur. 2000. Measuring the recreational value of agricultural landscape. *European Review of Agricultural Economics* 27:385-398.
- Folke, C., J. Colding y F. Berkes. 2003. Synthesis: Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. En F. Berkes, J. Colding y C. Folke, eds., *Naviga-*

- ting Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*, 352–387. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Freckman, D. W. y R. A. Virginia. 1997. Low-diversity Antarctic soil nematode communities: Distribution and response to disturbance. *Ecology* 78:363–369.
- Gandini, G. C. y E. Villa. 2003. Analysis of the cultural value of local livestock breeds: A methodology. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120:1–11.
- Gitay, H., J. B. Wilson y W. G. Lee. 1996. Species redundancy: A redundant concept? *Journal of Ecology* 84:121–124.
- Griffiths, B. S., K. Ritz, R. D. Bardgett, R. Cook, S. Christensen, F. Ekelund, S. J. Sorensen, E. Baath, J. Bloem, P. C. de Ruiter, J. Dolfing y B. Nicolardot. 2000. Ecosystem response of pasture soil communities to fumigation-induced microbial diversity reductions: An examination of the biodiversity–ecosystem function relationship. *Oikos* 90:279–294.
- Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M. C. Caldiera, M. Diemer, P. G. Dimitrakopoulos, J. A. Finn, H. Freitas, P. S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Högberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P. W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C. P. H. Mulder, G. O. O'Donovan, S. J. Otway, J. S. Pereira, A. Prinz, D. J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.-D. Schulze, A.-S. Siamantziouras, D. E. M. Spehn, A. C. Terry, A. Y. Troumbis, F. I. Woodward, S. Yachi y J. H. Lawton. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286:1123–1127.
- Heisey, P., M. Smale, D. Byerlee y E. Souza. 1997. Wheat rusts and the cost of genetic diversity in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 79:727–737.
- Heywood, V. H. 1995. *Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environmental Programme (UNEP). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Holling, C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1–23.
- Holling, C. S., D. S. Schindler, B. W. Walker y J. Roughgarden. 1995. Biodiversity in the functioning of ecosystems: An ecological synthesis. En C. Perrings, K.-G. Mäler, C. Folke, C. S. Holling y B.-O. Jansson, eds., *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*, 44–83. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Honey, M. 1999. *Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns the Paradise?* Washington, DC: Island Press.
- Hooper, D. U. y P. M. Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277:1302–1305.
- Huston, M. A. 1997. Hidden treatments in ecological experiments: Re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449–460.
- Jones, C. G., J. H. Lawton y M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373–386.

- Kinzig, A. P., D. Pimentel y D. Tilman, eds. 2002. *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Koo, B., P. G. Pardey y B. D. Wright. 2004. *Saving Seeds: The Economics of Conserving Crop Genetic Resources Ex Situ in the Future Harvest Centres of the CGIAR*. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Kremen, C. y T. Ricketts. 2000. Global perspectives on pollination disruptions. *Conservation Biology* 14:1226–1228.
- Kremen, C., N. M. Williams y R. W. Thorp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:16812–16816.
- Kumar, B. M. y P. K. R. Nair. 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61:135–152.
- Loreau, M., S. Naeem y P. Inchausti, eds. 2002. *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Loreau, M., S. Naeem, P. Inchausti, J. Bengtsson, J. P. Grime, A. Hector, D. U. Hooper, M. A. Huston, D. Raffaelli, B. Schmid, D. Tilman y D. A. Wardle. 2001. Ecology—Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science* 294:804–808.
- Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried y U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694–1697.
- McNeely, J. A. y S. J. Scherr. 2003. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Biodiversity*. Washington, DC: Island Press.
- Meng, E. C. H., M. Smale, S. Rozelle, H. Ruifa y J. Huang. 2003. Wheat genetic diversity in China: Measurement and cost. En S. Rozelle y D. A. Sumner, eds., *Agricultural Trade and Policy in China: Issues, Analysis and Implications*. Burlington, VT: Ashgate.
- Michon, G. y H. de Foresta. 1990. Complex agroforestry systems and the conservation of biological diversity. Agroforests in Indonesia: The link between two worlds. En *Proceedings of the International Conference on Tropical Biodiversity*, Kuala Lumpur, Malaysia. Kuala Lumpur: United Selangor Press.
- Mikola, J. y H. Setälä. 1998. No evidence of trophic cascades in experimental microbial-based soil food web. *Ecology* 79:153–164.
- Milestad, R. and S. Hadatsch. 2003. Organic farming and social-ecological resilience: The alpine valleys of Sölktäler, Austria. *Conservation Ecology* 8:3. Disponible en <http://www.consecol.org/vol8/iss1/art3>.
- Montoya, J. M., M. A. Rodriguez y B. A. Hawkins. 2003. Food web complexity and higher-level ecosystem services. *Ecology Letters* 6:587–593.

- Mulder, C. P. H., J. Koricheva, K. Huss-Danell, P. Högborg y J. Joshi. 1999. Insects affect relationships between plant species richness and ecosystem processes. *Ecology Letters* 2:237–246.
- Nabhan, G. P. y S. Buchmann. 1997. Services provided by pollinators. En G. C. Daily, ed., *Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*, 133–150. Washington, DC: Island Press.
- Naeem, S. 1998. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology* 12:39–45.
- Naeem, S. 2001. Experimental validity and ecological scale as tools for evaluating research programs. En R. H. Gardner, W. M. Kemp, V. S. Kennedy y J. E. Petersen, eds., *Scaling Relationships in Experimental Ecology*, 223–250. New York: Columbia University Press.
- Naeem, S. 2002. Ecosystem consequences of biodiversity loss: The evolution of a paradigm. *Ecology* 83: 1537–1552.
- Naeem, S. y S. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390:507–509.
- Naeem, S., D. Hahn y G. Shuurman. 2000. Producer–decomposer codependency modulates biodiversity effects. *Nature* 403:762–764.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton y R. M. Woodfin. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368:734–737.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton y R. M. Woodfin. 1995. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 347:249–262.
- Nunes, P. A. L. D. y J. C. J. M. van den Bergh. 2001. Economic valuation of biodiversity: Sense or nonsense? *Ecological Economics* 39:203–222.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2002. *Handbook of Biodiversity Valuation. A Guide for Policy Makers*. París: OECD.
- Orians, G. H., G. M. Brown, W. E. Kunin y J. E. Swierzbinski, eds. 1990. *Preservation and Valuation of Biological Resources*, 203–226. Seattle: University of Washington Press.
- Ostman, O., B. Ekbom, J. Bengtsson y A. C. Weibull. 2001. Landscape complexity and farming practice influence the condition of polyphagous carabid beetles. *Ecological Applications* 11:480–488.
- Pacala, S. W. y D. Tilman. 2002. The transition from sampling to complementarity. En A. P. Kinzig, D. Pimentel y D. Tilman, eds., *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 151–166. Princeton, NJ: Princeton University Press.

- Pain, D. J. y M. W. Pienkowski. 1997. *Farming and Birds in Europe: The Common Agricultural Policy and Its Implications for Bird Conservation*. Cambridge, UK: Academic Press.
- Paine, R. T. 1966. Food web complexity and species diversity. *American Naturalist* 100:65-75.
- Perfecto, I., J. Vandermeer, P. Hanson y V. Cartin. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935-945.
- Perrings, C. 1995. Biodiversity conservation as insurance. En T. Swanson, ed., *Economics and Ecology of Biodiversity Decline*, 69-77. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Petchey, O. L., P. J. Morin, F. D. Hulot, M. Loreau, J. McGrady-Steed y S. Naeem. 2002. Contributions of aquatic model systems to our understanding of biodiversity and ecosystem functioning. En M. Loreau, S. Naeem y P. Inchausti, eds., *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*, 127-138. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Pinto-Correia, T. 2000. Future development in Portuguese rural areas: How to manage agricultural support for landscape conservation? *Landscape and Urban Planning* 50:95-106.
- Pretty, J. y H. Ward. 2001. Social capital and the environment. *World Development* 29:209-227.
- Ricketts, T. H., G. C. Daily, P. R. Ehrlich y J. P. Fay. 2001. Countryside biogeography of moths in a fragmented landscape: Biodiversity in native and agricultural habitats. *Conservation Biology* 15:378-388.
- Robinson, R. A., J. D. Wilson y H. Q. P. Crick. 2001. The importance of arable habitat for farmland birds in grassland landscapes. *Journal of Applied Ecology* 38:1059-1069.
- Schmid, B., J. Joshi y F. Schläpfer. 2002. Empirical evidence for biodiversity-ecosystem functioning relationships. En A. P. Kinzig, S. W. Pacala y D. Tilman, eds., *Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 120-150. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Scoones, I. 1999. New ecology and the social sciences: What prospects for a fruitful engagement? *Annual Review of Anthropology* 28:479-507.
- Smale, M., ed. 2005. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Smale, M., J. Hartell, P. W. Heisey y B. Senauer. 1998. The contribution of genetic resources and diversity to wheat production in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 80:482-493.

- Söderström, B., S. Kiema y R. S. Reid. 2003. Intensified agricultural land-use and bird conservation in Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99:113-124.
- Southwick, E. E. y L. Southwick. 1992. Estimating the economic value of honeybees (Hymenoptera, Apidae) as agricultural pollinators in the United States. *Journal of Economic Entomology* 85:621-633.
- Steffan-Dewenter, I. 2003. Importance of habitat area and landscape context for species richness of bees and wasps in fragmented orchard meadows. *Conservation Biology* 17:1036-1044.
- Steffan-Dewenter, I., U. Munzenberg, C. Burger, C. Thies y T. Tscharntke. 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83:1421-1432.
- Stein, T. V., D. H. Anderson y T. Kelly. 1999. Using stakeholders' values to apply ecosystem management in an upper midwest landscape. *Environmental Management* 24:399-413.
- Tews, J., U. Brose, V. Grimm, K. Tielborger, M. C. Wichmann, M. Schwager y F. Jeltsch. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31:79-92.
- Thies, C. y T. Tscharntke. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893-895.
- Thrupp, L. A. 1997. *Linking Biodiversity and Agriculture: Challenges and Opportunities for Sustainable Food Security*. Washington, dc: World Resources Institute.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin y P. Reich. 1997a. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277:1300-1302.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin y P. Reich. 2002. Experimental and observational studies of diversity, productivity, and stability. En A. P. Kinzig, D. Pimentel y D. Tilman, eds., *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 42-70. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tilman, D., C. L. Lehman y K. T. Thompson. 1997b. Plant diversity and ecosystem productivity: Theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Science* 94:1857-1861.
- Tilman, D., D. Wedin y J. Knops. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379:718-720.
- Tonhasca, A. y B. R. Stinner. 1991. Effects of strip intercropping and no-tillage on some pests and beneficial invertebrates of corn in Ohio. *Environmental Entomology* 20:1251-1258.
- Turner R. K., J. Paavola, P. Cooper, S. Farber, V. Jessamy y S. Georgiou. 2003. Valuing nature: Lessons learned and future research directions. *Ecological Economics* 46:493-510.

- Walker, B. H. 1992. Biological diversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18–23.
- Walker, B., S. Carpenter, A. Anderies, N. Abel, C. Cumming, M. Janssen, L. Lebel, J. Norberg, G. D. Peterson y R. Pritchard. 2002. Resilience management in social-ecological systems: A working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6:14. Disponible en <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14>.
- Walker, D. J. y D. L. Young. 1986. The effect of technical progress erosion damage and economic incentives for soil conservation. *Land Economics* 62:83–93.
- Wardle, D. A., O. Zackrisson, G. Hörnberg y C. Gallet. 1997. The influence of island area on ecosystem properties. *Science* 277:1296–1299.
- Widawsky, D. y S. Rozelle. 1998. Varietal diversity and yield variability in Chinese rice production. En M. Smale, ed., *Farmers, Gene Banks, and Crop Breeding*, 159–187. Boston: Kluwer.
- Wilson, E. O., ed. 1988. *Biodiversity*. Washington, DC: National Academy Press.
- Wood, S., K. Sebastian y S. J. Scherr. 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute and World Resources Institute.
- Wright, J. P., C. G. Jones y A. S. Flecker. 2002. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* 132:96–101.
- Yachi, S. y M. Loreau. 1999. Biodiversity and ecosystem functioning in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science* 96:1463–1468.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, J. X. Fan, S. S. Yang, L. P. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. H. Wang y C. C. Mundt. 2002. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718–722.

