

CIENCIA

Basado en 20 años de investigación global, esta es la primera referencia integral sobre la diversidad genética de cultivos tal como se mantiene en las tierras agrícolas de todo el mundo. A través de los hallazgos de 7 expertos que representan el campo de la ecología, el mejoramiento de cultivos, la genética, la antropología, la economía y la política, este recurso invaluable coloca la biodiversidad de los cultivos administrada por los agricultores directamente en el centro de la ciencia necesaria para alimentar al mundo y restaurar la salud de nuestros paisajes productivos. Este libro será una herramienta esencial en la formación de científicos agrícolas y ambientales que buscan las soluciones necesarias para garantizar ecosistemas saludables y resilientes para las generaciones futuras.

“El texto definitivo que coloca la diversidad genética de los cultivos y la agrobiodiversidad en el contexto de la biología evolutiva y la adaptación a cambios rápidos en el Antropoceno... una herramienta esencial en la formación de científicos jóvenes para producir información y soluciones que contribuirán a la salud y resiliencia de los ecosistemas para las generaciones futuras.” -Desde el Prólogo de **Cristián Samper**

“La sabiduría y el arduo trabajo de millones de agricultores desde el advenimiento de la agricultura son finalmente reconocidos y explicados en este libro de referencia, que es un libro de lectura obligada para cada estudiante o agrónomo practicante, ecologista, ambientalista y conservacionista. Los autores necesitan ser felicitados por la descripción detallada del valor y la necesidad de conservar las variedades tradicionales, que es el elemento clave para transformar la actual agricultura sin salida en un modelo sostenible basado en la composición genética de diversos cultivos, complementado por diversos sistemas de cultivo “. -**Hans R. Herren**, Co-Presidente IAASTD

“Un texto completo, de gran alcance y autoridad de un virtual ‘equipo de ensueño’ de estudios sobre el tema de la diversidad genética de cultivos en fincas. Recursos excelentes para estudiantes e investigadores de todo el mundo interesados en el futuro de la agricultura y la seguridad alimentaria.” -**Christine Padoch**, Center for Internacional Forestry Research

Devra Jarvis es científica principal, Bioversity International, y Profesora Adjunta, en la Universidad Estatal de Washington, Pullman. **Toby Hodgkin** es Coordinador de la Plataforma para la Investigación de la Agrobiodiversidad y miembro honorario de Bioversity International. **Anthony H.D. Brown** es investigador honorario de CSIRO Plant Industry. **John Tuxill** es profesor adjunto en el Fairhaven College of Interdiscipline Studies. **Isabel López Noriega** es experta legal en Bioversity International. **Melinda Smale** es profesora, Departamento de Economía Agrícola, Alimentaria y de Recursos de la Universidad Estatal de Michigan. **Bhuwon Sthapit** es científico principal en Bioversity International.

SERIE DE ESTUDIOS AGRARIOS DE YALE
JAMES C. SCOTT, EDITOR DE LA SERIE

Yale
UNIVERSITY
PRESS

New Haven & London
yalebooks.com
yalebooks.co.uk



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

Foto de la cubierta: Observación de un campo de cebada con diversas variedades para determinar la variación en la resistencia a los daños causados por enfermedades en Shangri-La, Condado de la Prefectura Autónoma Tibetana de Diding, en China. La propietaria del campo, en traje tibetano, junto con un estudiante de etnobotánica del Instituto de Bótanica de Kunming, observan las diferencias entre las plantas de cebada. Foto de D. Jarvis.



Diversidad Genética de los Cultivos en el Campo y en la Finca

Principios y aplicaciones en la Práctica de la Investigación

DEVRA I. JARVIS, TOBY HODGKIN, ANTHONY H. D. BROWN,
JOHN TUXILL, ISABEL LOPEZ, MELINDA SMALE Y BHUWON STHAPIT
Prólogo por CRISTIÁN SAMPER

Yale

Elogios anticipados para la *Diversidad Genética de los Cultivos en el Campo y en la Finca*:

“El texto definitivo que coloca la diversidad genética de los cultivos y la agrobiodiversidad en el contexto de la biología evolutiva y la adaptación a cambios rápidos en el Antropoceno... una herramienta esencial en la formación de científicos jóvenes para producir información y soluciones que contribuirán a la salud y resiliencia de los ecosistemas para las generaciones futuras.” -Desde el Prólogo de **Cristián Samper**

“La sabiduría y el arduo trabajo de millones de agricultores desde el advenimiento de la agricultura son finalmente reconocidos y explicados en este libro de referencia, que es un libro de lectura obligada para cada estudiante o agrónomo practicante, ecologista, ambientalista y conservacionista. Los autores necesitan ser felicitados por la descripción detallada del valor y la necesidad de conservar las variedades tradicionales, que es el elemento clave para transformar la actual agricultura sin salida en un modelo sostenible basado en la composición genética de diversos cultivos, complementado por diversos sistemas de cultivo “. -**Hans R. Herren**, Co-Presidente IAASTD

“Un texto completo, de gran alcance y autoridad de un virtual ‘equipo de ensueño’ de estudios sobre el tema de la diversidad genética de cultivos en fincas. Recursos excelentes para estudiantes e investigadores de todo el mundo interesados en el futuro de la agricultura y la seguridad alimentaria.” -**Christine Padoch**, Center for Internacional Forestry Research

“Sensibilidad y conocimiento original. Retener la diversidad genética de los cultivos es importante para el futuro de la civilización humana, y este libro proporciona una buena y moderna referencia general a la ciencia de la diversidad genética de los cultivos.” -**Tim Murray**, Washington State University

Serie de Estudios Agrarios de Yale
James C. Scott, editor de la serie

La Serie de Estudios Agrarios de la Editorial Universitaria de Yale busca publicar trabajos interdisciplinarios sobresalientes y originales sobre la agricultura y la sociedad rural —en cualquier momento y en cualquier lugar. Se fomentan especialmente las obras que cuestionan los paradigmas existentes y llenan categorías abstractas con la experiencia vivida de la población rural, que sean especialmente alentadoras.

—James C. Scott, *Editor de la Serie*.

James C. Scott, *Seeing Like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed*

Steve Striffler, *Chicken: The Dangerous Transformation of America's Favorite Food* Alissa Hamilton, *Squeezed: What You Don't Know About Orange Juice*

James C. Scott, *The Art of Not Being Governed: An Anarchist History of Upland Southeast Asia*

Sara M. Gregg, *Managing the Mountains: Land Use Planning, the New Deal, and the Creation of a Federal Landscape in Appalachia*

Michael R. Dove, *The Banana Tree at the Gate: A History of Marginal Peoples and Global Markets in Borneo*

Edwin C. Hagenstein, Sara M. Gregg, and Brian Donahue, eds., *American Georgics: Writings on Farming, Culture, and the Land*

Timothy Pachirat, *Every Twelve Seconds: Industrialized Slaughter and the Politics of Sight*

Andrew Sluyter, *Black Ranching Frontiers: African Cattle Herders of the Atlantic World, 1500–1900*

Brian Gareau, *From Precaution to Profit: Contemporary Challenges to Environmental Protection in the Montreal Protocol*

Kuntala Lahiri-Dutt y Gopa Samanta, *Dancing with the River: People and Life on the Chars of South Asia*

Alon Tal, *All the Trees of the Forest: Israel's Woodlands from the Bible to the Present*

Felix Wemheuer, *Famine Politics in Maoist China and the Soviet Union*

Jenny Leigh Smith, *Works in Progress: Plans and Realities on Soviet Farms, 1930–1963*

Graeme Auld, *Constructing Private Governance: The Rise and Evolution of Forest, Coffee, and Fisheries Certification*

Jess Gilbert, *Planning Democracy: Agrarian Intellectuals and the Intended New Deal*

Jessica Barnes y Michael R. Dove, eds., *Climate Cultures: Anthropological Perspectives on Climate Change*

Shafqat Hussain, *Remoteness and Modernity: Transformation and Continuity in Northern Pakistan*

Edward Dallam Melillo, *Strangers on Familiar Soil: Rediscovering the Chile-California Connection, 1786–2008*

Devra I. Jarvis, Toby Hodgkin, Anthony H. D. Brown, John Tuxill, Isabel Lopez, Melinda Smale y Bhuwon Sthapit, *Crop Genetic Diversity in the Field and on the Farm: Principles and Applications in Research Practices*

Para encontrar una lista completa de títulos en la Serie de Estudios Agrarios de la Editorial Universitaria de Yale, visite yalebooks.com/agrarian.

Diversidad Genética de los Cultivos en el Campo y en la Finca

*Principios y aplicaciones en
la Práctica de la Investigación*

Devra I. Jarvis, Toby Hodgkin,
Anthony H. D. Brown, John Tuxill,
Isabel Lopez, Melinda Smale
y Bhuwon Sthapit

Prólogo por Cristián Samper



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

Yale UNIVERSITY PRESS
NEW HAVEN & LONDON

Versión original en inglés publicada por asistencia de María Cady Tem Memorial Fund

Desde el 1º de diciembre de 2016, el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) y la Red Internacional para la Mejora de Banano y Plátano (INIBAP) operan bajo el nombre de “Bioversity International”.

Las denominaciones empleadas y la presentación del material en estas publicaciones no implican la expresión de ninguna opinión de parte del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, con respecto al estado legal de cualquier país, territorio, ciudad o área o de sus autoridades o en relación con la delimitación de sus fronteras o límites.

La denominación económica “desarrollado” y “en desarrollo” está destinada a la conveniencia estadística y no expresa necesariamente un juicio sobre el estado alcanzado por un país, territorio o área en particular en el proceso de desarrollo.

Las opiniones expresadas en este documento son las de los autores y no representan necesariamente las de Bioversity International, ni las de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Derechos de autor © 2016 de Bioversity International

Todos los derechos reservados

Este libro no se puede reproducir, completo o en parte, incluyendo ilustraciones, en ninguna forma, más allá de la copia permitida por la Sección 107 y 108 de la ley de derechos de autor de U.S.A. y excepto por los revisores para la prensa pública, sin el permiso por escrito de los editores.

Los libros de la Editorial Universitaria de Yale se pueden comprar en cantidades para fines educativos, comerciales o promocionales. Para obtener información, envíe un correo electrónico a sales.press@yale.edu (oficina en U.S.A.) o sales@yaleup.co.ku (oficina de U.K.).

Crop Genetic Diversity in the Field and on the Farm: Principles and Applications in Research Practices (authors: Devra I. Jarvis, Toby Hodgkin, Anthony H. D. Brown, John Tuxill, Isabel López Noriega, Melinda Smale, Bhuwon Sthapit (ISBN 978-0-300-16112-0) was originally published in English by Yale University Press in 2016. This translation is published by arrangement with Bioversity International

Traducción en español por Leonor Castiñeiras

Editado por Paola De Santis

Número de Control de la Biblioteca del Congreso para la versión original en inglés: 2015943897

ISBN 978-92-9255-204-6

Un registro de catálogo para este libro está disponible desde la Biblioteca Británica.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

A los muchos participantes cuyos nombres y afiliaciones pueden no aparecer en este volumen; numerosos agricultores, comunidades, trabajadores de desarrollo, educadores, investigadores y funcionarios del gobierno que colaboraron en el trabajo presentado aquí, y solo través de sus esfuerzos es posible este libro.

Esta edición está dedicada a dos pioneros que trabajaron a nivel mundial para apoyar la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos.



Dr. Bhuwon Ratna Sthapit

Coautor de este volumen, científico principal de Bioversity International y miembro de la junta ejecutiva de la ONG nepalesa de reconocimiento internacional, Iniciativas Locales para la Biodiversidad, la Investigación y el Desarrollo (LI-BIRD), fue un verdadero pionero. Fue un destacado experto y mentor en métodos participativos para evaluar y utilizar la biodiversidad agrícola, mejoramiento participativo de cultivos, conservación in situ y en fincas, huertos familiares, biodiversidad comunitaria de cultivos y manejo de árboles frutales tropicales y bancos comunitarios de semillas. Bhuwon siempre puso a los agricultores en el centro de su trabajo. Su pasión, compromiso y conocimiento que compartió con las comunidades locales durante más de 30 años serán retomados por las futuras generaciones de investigadores que se han inspirado a él. Nacido en 1954 en Pokhara, Nepal, el Dr. Sthapit recibió una maestría y una maestría (M Phil) en agricultura de la Universidad de Reading, Reino Unido y un doctorado en fitomejoramiento de la Universidad de Gales, Reino Unido. Antes de unirse a Bioversity International, trabajó para el Centro de Investigación Agrícola Lumle en Kaski, Nepal y fue uno de los miembros fundadores y ex presidente de la Junta Ejecutiva de LI-BIRD. El Dr. Sthapit fue un líder mundial en el desarrollo y fortalecimiento de metodologías de investigación participativa para la agrobiodiversidad y en la institucionalización de estos enfoques en programas nacionales. Fue un escritor prolífico y sus trabajos de investigación que abarcan áreas de mejoramiento, políticas, agronomía, economía y ciencias sociales se publicaron en numerosos libros y revistas nacionales e internacionales.



Dr. Wagdi George Ayad

Ex Director de la Oficina Regional de Asia Central, Occidental y África del Norte del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (ahora Bioversity International) fue un pionero en la conservación y el uso de recursos genéticos, con su trabajo con la Junta de Internacional de Recursos Fitogenéticos desde la década de los años 80. El Dr. Ayad recibió una licenciatura en ciencias agrícolas de la Universidad de El Cairo, Giza, Egipto, una maestría en Conservación y Utilización de Recursos Fitogenéticos y un Doctorado en Biología Vegetal de la Universidad de Birmingham, Reino Unido. El Dr. Ayad fue uno de los más firmes partidarios de la creación de programas nacionales sobre recursos fitogenéticos y fue uno de los primeros en reconocer la importancia de la participación de los actores involucrados en la gestión de la biodiversidad agrícola en el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Pasó más de 40 años planificando, organizando y participando en misiones de exploración y recolección para diversos cultivos, desarrollando metodologías para evaluar y monitorear el estado y nivel de erosión genética en cultivos y recursos genéticos forestales. El Dr. Ayad brindó asesoramiento técnico a los programas nacionales en el establecimiento de prioridades para los planes y estrategias nacionales de recursos fitogenéticos y la ejecución de operaciones de bancos de germoplasma y la preparación de programas nacionales de capacitación técnica sobre conservación y uso de recursos fitogenéticos. Siempre creyó en la importancia central de la colaboración internacional, en la importancia de los programas nacionales y siempre reconoció la contribución continua de los agricultores al mantenimiento de la diversidad. Un colega amable y atento de inmensa integridad, su tutoría, apoyo y conocimientos fueron de la mayor importancia para muchos de sus colegas.

Contenido

Prólogo 11

Prefacio 13

Agradecimientos 15

CAPÍTULO 1. Introducción y Visión General 21

CAPÍTULO 2. Los Orígenes de la Agricultura, la Domesticación de los Cultivos y los Centros de Diversidad 34

CAPÍTULO 3. Recursos Fitogenéticos, Conservación y Política: Una Historia de los Desarrollos Internacionales y Nacionales que Apoyan la Conservación y el Uso de la Diversidad de los Cultivos 57

CAPÍTULO 4. La Diversidad y Su Evolución en Poblaciones de Cultivos 87

CAPÍTULO 5. Midiendo la Diversidad en los Cultivos 115

CAPÍTULO 6. Componentes Abióticos y Bióticos de los Ecosistemas Agrícolas 151

CAPÍTULO 7. Diversidad en, y Adaptación a, Ambientes Adversos en Fincas	181
CAPÍTULO 8. ¿Quiénes son los Administradores de la Diversidad?	220
CAPÍTULO 9. Caracterización de los Ambientes Sociales, Culturales y Económicos	220
CAPÍTULO 10. Midiendo los Valores de la Diversidad en Fincas	243
CAPÍTULO 11. Política y Diversidad Genética en Fincas	264
CAPÍTULO 12. Finca, Comunidad y Paisaje:	288
CAPÍTULO 13. Diversidad Genética y Presiones de Selección a Diferentes Escalas Sociales, Espaciales y Temporales	288
CAPÍTULO 14. Estrategias para la Colaboración e Intervención	318
CAPÍTULO 15. Conclusiones:	351
CAPÍTULO 16. Variedades Tradicionales y Productividad Agrícola	351
Anexo A: Paquetes de Softwares Útiles para Analizar Datos Moleculares	366
Anexo B: Sistemas de Información Geográfica y Recursos de Teledetección Disponibles en Internet	368
Anexo C: Una Selección de Campeones de PPB A Través de las Edades.	369
Glosario	371
Referencias	391
Sobre los autores	403

Prólogo

Hace un par de años tuve la oportunidad de visitar algunas de las comunidades indígenas en Otavalo, Ecuador. Nos reunimos en una pequeña escuela de madera al final de un camino de tierra para unirnos con varias mujeres y aprender sobre los cultivos que tenían en sus fincas. Había una gran mesa cubierta de frijoles y maíz, cuidadosamente dispuesta en hileras, cada una de ellas con un pequeño pedazo de papel y un nombre. Fue un festival de colores, formas y tamaños. Pasé la siguiente hora aprendiendo sobre cada una de estas variedades, y cómo cada una de ellas tenía una historia de vida diferente: algunas crecían mejor en temporadas secas, otras eran más resistentes a ciertos tipos de insectos, otras eran mejores para comer. Fueron varios cientos de años de conocimientos condensados en un espacio pequeño, mantenido vivo por estos agricultores y sus prácticas agrícolas a través de generaciones. Ellas reconocieron que la diversidad de cultivos era importante para la producción de sus ecosistemas agrícolas y estaban tomando medidas para garantizar que esta diversidad continúe estando disponible en sus sistemas agrícolas.

Los autores de este libro son expertos mundiales en ecología, mejoramiento de cultivos, genética, antropología, economía y política que se han unido para llenar una larga brecha, es decir, colocar la biodiversidad de los cultivos manejada por los agricultores en el centro de la ciencia que necesitamos para alimentar al mundo y restaurar la salud en nuestros paisajes productivos. Este trabajo es más que un llamado de atención para la conservación de la biodiversidad; se trata de usar la diversidad para revitalizar la agricultura y alimentar a una población en crecimiento. Representa casi veinte años de investigación global con agricultores y comunidades de todo el mundo que mantienen la diversidad

genética en forma de variedades tradicionales de un gran número de cultivos, incluidos aquellos descuidados por la ciencia. Este trabajo transdisciplinario es el texto definitivo que coloca la diversidad genética de los cultivos y la agrobiodiversidad dentro del flujo científico de la biología evolutiva y la adaptación a los rápidos cambios en el Antropoceno.

Una de las fortalezas de este libro es que centra la atención en los agricultores y en la diversidad genética de los cultivos que mantienen y crean. La documentación científica transdisciplinaria está ligada estrecha y coherentemente, colocando a los agricultores y sus medios de subsistencia, sus servicios y sus respuestas a las necesidades y cambios sociales en el centro del análisis. Este enfoque es compatible con herramientas que documentan cuánto y qué tipo de diversidad existe, dónde y cuándo se usa. El resultado es un texto científico convincente que muestra a los estudiantes y otros lectores interesados que los resultados de las interacciones de los agricultores con el proceso evolutivo y la diversidad genética dentro de la agricultura han producido tal vez el patrimonio más importante que poseemos.

Como biólogo que trabaja en conservación en mi propio país, un punto caliente de la mega-biodiversidad está en su propia e importante biodiversidad agrícola, y en las instituciones globales relacionadas con la ecología de todas las plantas y los animales, en especial me complace ver finalmente la biodiversidad agrícola directamente dentro de la biología evolutiva y la ecología humana. Este libro es una herramienta esencial en la formación de jóvenes científicos para producir la información y las soluciones que contribuirán a tener ecosistemas saludables y resilientes para las generaciones futuras. Mi esperanza es que sea ampliamente utilizado en todas las escuelas agrícolas, así como en las instituciones de capacitación e investigación relacionadas con la conservación de la biodiversidad, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sostenible.

Espero que algunos de ustedes tengan la oportunidad de visitar Otavalo u otras comunidades rurales y aprender de ellos, apoyar los esfuerzos para utilizar nuestro patrimonio cultural en el mantenimiento y mejora de la producción y la resiliencia de los medios de vida rurales. El mundo será más rico y las personas más saludables como resultado de su trabajo.

Cristián Samper
Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre
Bronx, Nueva York, mayo de 2013

Prefacio

Este libro presenta una visión única, basada en la experiencia de investigar la diversidad genética de los cultivos en fincas, como es evidente en los abundantes ejemplos y figuras que contiene el libro. La visión vincula firmemente la investigación sobre la diversidad genética de los cultivos que crece en los campos de los agricultores con la conservación de esta diversidad y su uso para la producción sostenible y para el sustento de los medios de vida rurales. El libro cubre principios y prácticas para la recopilación y el uso de datos que pueden provenir de variedades tradicionales y sistemas agrícolas tradicionales a través de diagnósticos participativos y enfoques empíricos. Estos incluyen métodos para identificar las formas de apoyar a los agricultores que cultivan estas variedades.

Por lo tanto, el libro presenta al lector los diversos métodos e información que los autores consideran esenciales para comprender el alcance, la distribución y la naturaleza de la diversidad genética aún presente en las variedades tradicionales de las fincas de los agricultores de todo el mundo. El libro es una monografía integrada, en lugar de un volumen editado de capítulos concebidos por separado. Enfatiza la importancia de reunir datos y perspectivas biológicas (agronómicas, ecológicas, genéticas, etc.), sociales, económicas y culturales mediante análisis multivariados. Para un cuadro tan amplio, el libro es una guía de los principales conceptos motivadores (por ejemplo, que más diversidad mejora la resiliencia) y preguntas de investigación en la evaluación, manejo y uso en la finca de la diversidad genética de los cultivos. En lugar de presentar una lista exhaustiva de toda la literatura académica, o una revisión crítica detallada de áreas temáticas, remitimos al lector a una selección de literatura primaria rele-

vante, que proporciona una entrada que permite al lector hacer un seguimiento de puntos específicos.

En un mundo de creciente cambio ambiental y social, nuestra visión de la conservación y el uso de la diversidad genética de los cultivos en la finca es algo de evolución dinámica. Damos evidencia, integrada por varias disciplinas, de que las variedades tradicionales siguen siendo importantes para los agricultores y las comunidades. Esta diversidad puede contribuir a mejorar la sostenibilidad de sus sistemas de producción agrícola. Por lo tanto, los principios y las prácticas que vinculan la investigación con el uso de las variedades tradicionales se tratan en el contexto del mejoramiento de la vida de los agricultores y las comunidades rurales. Hacemos hincapié en la necesidad de trabajar en conjunto con los agricultores y las comunidades rurales garantizando el respeto por todos los involucrados.

Las variedades tradicionales de los cultivos siguen siendo importantes para la vida de millones de agricultores de todo el mundo. Se usan y mantienen porque juegan un papel central en las estrategias de subsistencia de los productores individuales y las comunidades rurales. Las preocupaciones actuales de mejorar la sostenibilidad agrícola y enfrentar los desafíos del cambio, especialmente el cambio climático, sugieren que estas propiedades serán cruciales para mejorar los medios de vida rurales y los más amplios objetivos de desarrollo. Por lo tanto, este libro ofrece las herramientas necesarias no solo para investigar la diversidad genética en variedades tradicionales, sino también para apoyar su conservación y uso continuo.

Agradecimientos

El trabajo presentado aquí no habría sido posible sin el tiempo y la energía de numerosos agricultores, sus familias y comunidades rurales, cuya colaboración permitió el núcleo del contenido de este volumen.

Los autores agradecen al gobierno de Suiza (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación) por su generoso apoyo financiero a este libro. Muchos de los estudios presentados a lo largo de este libro se realizaron como parte de un programa global llevado a cabo por Bioversity International (anteriormente el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos -IPGRI), con el amable apoyo de los gobiernos de Suiza (SDC- Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación), Países Bajos (DGIS-Dirección General de Cooperación Internacional), Alemania (BMZ / GTZ- Ministerio Federal de Cooperación Económica/Sociedad Alemana de Cooperación Técnica), Japón (JICA), Canadá (IDRC-Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo), España y Perú, así como del Fondo Mundial de Medio Ambiente (GEF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNDP), el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNEP), la Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), la Fundación Ford, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (IFAD).

Este libro surgió de un esfuerzo anterior para crear una “base científica para la conservación *in situ* en fincas”, que comenzó a mediados de la década de 1990 y fue el primero compilado en el volumen informal “Una Guía Técnica para la Conservación *In Situ* en Fincas”, que luego se tradujo al ruso, espa-

ñol, árabe y chino para su amplia difusión. Muchos colegas dieron sus aportes al volumen original y continuaron haciéndolo durante el largo proceso de finalización de este libro. Incluyen a los miembros originales de la “familia *in situ* de IPGRI” –Burkina Faso: Didier Balma, Mamounata Belem, Madibaye Djimadougou, Issa Drabo, Omer Kabore, Tiganadaba Lodun, Jean-Baptiste Ouedraogo, Jérémy Ouedraogo, Mahamadi Ouedraogo, Oumar Ouedraogo, Mahamadou Sawadogo, Bernadette Some, Leopold Some, Jean-Baptiste Tignegre, Roger Zangre, Jean-Didier Zongo; Etiopía: Zemedede Asfaw, Abebe Demissie, Tesema Tanto; Hungría: Györgyi Bela, Ágnes Gyovai, László Holly, István Már, György Pataki; México: Luis Arias-Reyes, Luis Burgos-May, Tania Carolina Camacho-Villa, Jaime Canul-Kú, Fernando Castillo-González, Esmeralda Cázares-Sánchez, José Luis Chávez-Servia, Teresa Duch-Carballo, Jorge Duch-Gary, Víctor Manuel Interián-Kú, Luis Latournerie-Moreno, Diana Lope-Alzina, Fidel Márquez-Sánchez, Carmen Morales-Valderrama, Rafael Ortega-Paczka, Juan Rodríguez, Enrique Sauri-Duch, José Vidal Cob-Uicab, Elaine Yupit-Moo; Marruecos: Ahmed Amri, Mustapha Arbaoui, Riad Balghi, Loubna Belqadi, Ahmed Birouk, Abdelaziz Bouisgaren, Mariam El Badraoui, Noureddine El Ouadghiri, Maria El Ouatil, Brahim Ezzahiri, Daoud Fanissi, Lamia Ghaouti, Abouchrif Hrou, Mohammed Mahdi, Hamdoun Mellas, Fattima Nassif, Keltoum Rh’Rib, Mohammed Sadiki, Seddik Saidi, Mouna Taghouti, Amar Tahiri, Bouchta Taik; Nepal: Annu Adhikari, Niranjan Adhikari, Resham Amagain, Jwala Bajracharya, Bimal Baniya, Krishna Baral, Bharat Bhandari, Bedanand Chaudhary, Pashupati Chaudhary, Devendra Gauchan, Salik Ram Gupta, Sanjaya Gyawali, Bal Krishna Joshi, Madhav Joshi, Ashok Mudwori, Yama Raj Panday, Diwakar Paudel, Indra Paudel, Ram Rana, Hom Nath Regmi, Deepak Rijal, KK Sherchand, Pitambar Shrestha, Pratap Shrestha, Surendra Shrestha, Deepa Singh, Abishkar Subedi, Anil Subedi, Sriram Subedi, Sharmila Sunwar, RK Tiwai, MP Upadhyaya, RB Yadav; Perú: María Arroyo, Luis Collado-Panduro, Alfredo Riesco, Ricardo Sevilla-Panizo, Roberto Valdivia; Turquía: Alptekin Karagoz, Ayfer Tan; Vietnam: Nguyen Tat Canh, Pham Hung Cuong, Din Vao Dao, Nguyen Ngoc De, Nguyen Phung Ha, Nguyen Thi-Ngoc Hue, La Tuan Nghia, Nguyen Huu Nghia, Dan Van Nien, Tran Van, Huynh Quang Tin, Luu Ngoc Trinh, Ha Dinh Tuan, Truong Van Tuyen; IPGRI: Suha Ashtar, George Ayad, Aicha Bammoun, Abdullah Bari, Susan Bragdon, Paola De Santis, Carmen de Vicente, Marlene Diekmann, Bernadette Dossou, Jan Engels, Pablo Eyzaguirre, Francois Gerson, Mikkel Grum, Luigi Guarino, Geoff Hawtin, Sara Hutchinson, Valerie Imbruce, Masa Iwanaga,

Alder Keleman, Rami Khalil, Amanda King, Helen Klemick, Lorenzo Maggioni, Thomas Metz, Landon Myer, Deborah Nares, Nouredine Nasr, Julia Ndung'u-Skilton, Nicky O'Neill, Abdou Salam Ouedraogo, Stefano Padulosi, Paul Quek, V. Ramanatha Rao, Ken Riley, Percy Sajise, Patrizia Tazza, Awegechew Teshome, Helen Thompson, Judith Thompson, Imke Thormann, Muhabbat Turdieva, Raymond Voduohe, David Williams, Issiaka Zoungrana; Otros colegas: Ekin Birol, Stephen Brush, Dindo Campilan, Linda Collette, David Cooper, Erle Ellis, Carlo Fadda, Elizabeth Fajber, María Fernández, Esbern Friis-Hansen, Christina Grieder, Helen Jensen, Peter Kenmore, Liang Luohui, Leslie Lipper, Erika Meng, Christine Padoch, Roberto Papa, Jean Louis Pham, René Salazar, Dan Schoen, William Settle, Louise Sperling, Robert Tripp y Bert Visser.

A estos les siguen los muchos otros que se unieron a la “familia *in situ*” más tarde, entre ellos, Argelia: Malek Belguedj; Bolivia: Alejandro Bonifacio; China: Bao Shiyang, Chen Bin, Chen Hong, Dai Liyuan, Chengxin, Huang Yaqin, Huang Yuan, Li Chunyan, Long Chunlin, Lu Chunming, Ma Junhong, Peng Huaxian, Wang Fuyou, Wang Yunyue, Wu Jie, Xu Furong, Yang Xuehui, Yang Yayun, Yu Guo, Yuan Jie, Zhang Enlai, Zhang Feifei; Cuba: Leonor Castiñeiras, Zoila Fundora-Mayor, Tomás Shagarodsky; Ecuador: Catalina Bravo, Hugo Carrera, Jorge Coronel, Polivio Guaman, Carlos Nieto, José Ochoa, Juan Pazmino, Carmen Suárez, Cesar Tapia, Danilo Vera, Kirguistán: Kubanichbek Turgunbaev; Mali: Amadou Sidibe; Marruecos: Mustafa Bouzidi, Ghita Chlyeh, Selsabil Taoufiki, Nawal Touati, Abdelmalek Zirari; Níger: B. Danjimo; Túnez: Abdelmajid Rhouma; Uganda: Joyce Adokorach, Grace Atuahire, Enid Katungi, Catherine Kiwuka, Marjorie Kyomugisha, John Wasswa Mulumba, Josephine Namaganda, Michael Otim, Pamela Papanu, Michael Ugen; Uzbekistán: Karim Baymetov; Bioversity International: Adriana Alercia, Bai Keyu, Mauricio Bellón, Nadia Bergamini, Evelyn Clancy, Carlo Fadda, Emile Frison, Michael Halewood, Michael Hermann, Deborah Karamura, Prem Mathur, Dunja Mijatovic, Rose Nankya, Paul Neate, Arshiya Noorani, Qi Wei, Marleni Ramirez, Frederik van Oudenhoven, Barbara Vinceti, Zhang Zongwen y otros: Rima Alcadi, Irene Bain, Walter de Boef, Salvatore Ceccarelli, Maria Finckh, Agnes Fonteneau, Barbara Gemmill, Stefania Grando, Hans Herren, Timothy Johns, Richard C. Johnson, Michael Milgroom, David Molden, Tim Mur Ray, Chris Pannkuk, Miguel Pinedo-Vasquez, Massimo Reverberi, Marieta Sakalian, Dan Skinner, Peter Trutmann, Eva Weltzien, John Witcombe y, además, los muchos otros trabajadores de desarrollo y extensión, educadores, investiga-

dores y funcionarios gubernamentales que participaron en el trabajo realizado e hicieron posible este volumen.

Nuestro agradecimiento específico a Daniela Horna por su revisión y adiciones a temas económicos en los Capítulos 8 y 9, a David Williams por su revisión y comentarios sobre la domesticación en el Capítulo 2, a Alessandra Giuliani por su revisión y aportes al análisis de la cadena de mercado en el Capítulo 9, a Tim Murray y Marco Pautasso por sus útiles sugerencias para mejorar el Capítulo 7, a Paolo Colangelo por sus aportes sobre métodos estadísticos en los Capítulos 5, 6 y 7, a Pablo Eyzaguirre por sumar sugerencias para fortalecer los componentes de manejo humano en todo el libro, a Patrick Mulvany por sus aportes al Capítulo 12 sobre la soberanía alimentaria, y a Jan Engels, Christophe Bonneuil y Marianna Fenzi por sus estimulantes aportes y puntos de vista que ayudaron a dar forma al Capítulo 3. Un agradecimiento especial a Collin McAvinchey por su ayuda en la búsqueda de referencias y en la solicitud de permisos para utilizar obras de arte publicadas, a Maria Garruccio y Francesca Giampieri por proporcionar apoyo bibliotecario, a Silvia Ticconi por proveer soporte de computadora en cualquier momento, Safal Khatiwada por revisar figuras en el último minuto, y Bai Keyu, Nadia Bergamini, Michele Bozzano, Nora Capozio, Carmen de Vicente, Carlo Fadda, Yasuyuki Morimoto, Rose Nankya, Stefano Padulosi, Peng Huaxian, Devin R. See, Ambika Thapa, Raymond Vodouhe, Camilla Zanzanaini y el grupo de comunicación de Bioversity por su ayuda en localizar rápidamente fotos de alta resolución a tiempo para el volumen. Nuestro especial agradecimiento a Paola De Santis por sus aportes, logística y sugerencias innovadoras de principio a fin en la preparación de este libro. Raffaella Krista Jarvis ayudó a preparar figuras para este volumen y junto con su padre y su abuela, Lillian B. Jarvis, brindaron aliento y paciente apoyo a su madre durante el largo proceso de escritura. Le debemos nuestro muy especial agradecimiento a Linda Sears por la edición inspirada, precisa y rápida de este volumen; ella tomó nuestros diversos insumos y estilos y se aseguró de que tejiéramos juntos el producto final presentado aquí.

Diversidad Genética de los Cultivos en el Campo y en la Finca

CAPÍTULO 1

Introducción y Visión General

Introducción

Este libro trata sobre la diversidad genética de los cultivos que se mantiene y usa en los campos de los agricultores de todo el mundo. En particular, se trata de la diversidad que se encuentra en las variedades tradicionales o variedades locales desarrolladas y mantenidas por los agricultores durante siglos: nuestro patrimonio de cultivos. La mayor parte del libro describe principios y prácticas para recopilar y usar datos sobre variedades tradicionales y sistemas agrícolas tradicionales a través de diagnósticos participativos y enfoques empíricos para vincular la investigación sobre la diversidad genética de los cultivos que crece en los campos con la conservación de esta diversidad y su uso para una producción sostenible y para apoyar los medios de vida rurales.

Se han utilizado varios términos para describir las variedades desarrolladas y mantenidas por los agricultores en sus sistemas de producción durante muchos siglos. Estos incluyen variedades locales, variedades de los agricultores y variedades populares. A lo largo de este libro usamos el término “variedades tradicionales” a menos que el contexto requiera un término diferente.

Durante milenios, los agricultores domesticaron las especies de plantas y crearon los cultivos y las variedades tradicionales que conocemos hoy en día. Mantuvieron y modificaron la diversidad genética encontrada en diferentes especies de plantas a través del manejo de los sistemas de producción, las prácticas agrícolas que usaban y las formas en que mantenían y seleccionaban cultivos y variedades para asegurar sus propios medios de subsistencia y producir un excedente para ayudar a alimentar la población creciente del mundo.

En los últimos 100-150 años se ha observado un uso cada vez mayor de insumos químicos, mecanización y dependencia de variedades uniformes desarrolladas recientemente por mejoradores profesionales de plantas. Estos cambios condujeron a una simplificación de muchos sistemas de producción y una menor dependencia de la diversidad biológica, que, en los sistemas agrícolas tradicionales, proporciona beneficios tales como control de plagas y enfermedades, mantenimiento de la calidad del suelo y fertilizantes orgánicos.

A medida que se modernizó la agricultura y se introdujeron nuevas variedades uniformes, se asumió ampliamente que las variedades tradicionales desaparecerían rápidamente, dado que estaban poco adaptadas a las prácticas agrícolas modernas y a menudo tenían rendimientos relativamente bajos. Si bien han sido reemplazadas en muchos sistemas agrícolas, contrariamente a las expectativas, han seguido siendo importantes para muchos pequeños agricultores de todo el mundo, especialmente para aquellos que cultivan en entornos de producción menos favorables. Muchos investigadores reconocieron el valor de las variedades tradicionales en muchos sistemas agrícolas diferentes en los años ochenta y noventa, particularmente Altieri y Merrick (1987) y Brush (1995, 1999).

El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (IFAD) calcula que actualmente hay alrededor de 500 millones de explotaciones a pequeña escala, a menudo dentro o cerca de zonas ricas en biodiversidad. En el mundo en desarrollo, las fincas familiares a pequeña escala sostienen a casi 2,000 millones de personas y producen alrededor del 80 por ciento de los alimentos que se consumen en Asia y África Subsahariana. El uso continuo de variedades tradicionales por un amplio número de estos agricultores refleja el valor de estas variedades en condiciones agrícolas de bajos insumos y su importancia continúa como parte de las estrategias de subsistencia de los agricultores pobres (ver Jarvis et al. 2011 para una discusión más detallada del valor de las variedades tradicionales). Ahora hay un consenso cada vez mayor de que muchas prácticas agrícolas modernas son insostenibles, causan daños ambientales y una pérdida de la función ecosistémica que subraya la producción agrícola (MEA 2005; Go-Science/Foresight 2011). Esto ha llevado a un interés renovado en las prácticas agrícolas que tienen más en cuenta los procesos biológicos y mantienen o mejoran los servicios ecosistémicos (FAO 2012) y en la forma en que la diversidad biológica puede utilizarse para mejorar la sostenibilidad y la productividad (por ejemplo, intensificación sostenible, FAO 2012).

El cambio climático también ha llevado a una mayor preocupación con el mantenimiento y uso de la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas, particularmente en la diversidad de los cultivos y el ganado. En muchas partes del

mundo, el cambio climático conducirá a entornos de producción modificados y, con frecuencia, esto requerirá nuevas y diferentes variedades de cultivos y razas de animales (Hodgkin y Bordoni 2012).

Otros dos factores favorecen un interés continuo en el mantenimiento y uso de las variedades tradicionales. En primer lugar, existe una creciente preocupación de que los alimentos que consumimos se produzcan de manera que no perjudiquen nuestra salud, la salud de los productores o la salud del medio ambiente (Pollan 2006). Segundo, hay un reconocimiento en desarrollo de la importancia de la soberanía alimentaria, donde quienes producen, distribuyen y consumen alimentos están en el centro de los sistemas alimentarios y agrícolas, en lugar de responder únicamente a las demandas de los mercados y corporaciones que reducen los alimentos a productos comercializables internacionalmente (Practical Action 2011).

Si bien el creciente reconocimiento del valor de la agrobiodiversidad y de la importancia de las variedades de cultivos tradicionales es vital, a menudo no está respaldado por información real sobre cuánto y qué tipo de diversidad existe, y dónde y cuándo debería usarse. En los últimos 20 años, un creciente grupo de trabajo ha proporcionado un conjunto de experiencias, prácticas y procedimientos que abordan esta falta de información. El trabajo en muchos países ha explorado el mantenimiento y uso de variedades de cultivos tradicionales, la cantidad de diversidad presente, las formas en que se mantienen y los factores que aseguran su continua relevancia para los pequeños agricultores. Los resultados de este trabajo se reúnen en este libro, junto con algunos antecedentes relevantes, a fin de proporcionar la información, las herramientas y los métodos que pueden utilizarse para garantizar que la diversidad encontrada en las variedades tradicionales pueda cuantificarse, comprenderse su valor y apoyar su mantenimiento continuo por parte de los agricultores apoyados, donde ésta es su opción preferida.

Este libro considera que las variedades tradicionales y, en términos más generales, la diversidad genética dentro de las especies de cultivos continúa desempeñando un papel importante en los sistemas de producción en todo el mundo y constituyen un componente relevante en la evolución de la producción agrícola.

Diversidad Genética de Cultivos y Variedades Tradicionales

La diversidad genética de cultivos incluye toda la diversidad que se encuentra entre y dentro de los diferentes cultivos y variedades que se cultivan en todo el mundo. Incluye toda la diversidad de caracteres y la variación en los

genes que determinan su expresión. Esta diversidad genética proporciona la base para el desarrollo, reconocimiento y evolución de las variedades tradicionales dentro de cualquier cultivo. Una de las mejores descripciones de las variedades tradicionales (o variedades nativas, como él las llamaba) fue dada por Harlan (1975), quien afirmó que: “las variedades locales tienen cierta integridad genética. Lógicamente son morfo reconocibles, los agricultores tienen nombres para ellas y se entiende que diferentes razas nativas difieren en la adaptación al tipo de suelo, el momento de la siembra, la fecha de madurez, la altura, el valor nutritivo, el uso y otras propiedades. Lo más importante es que son genéticamente diversas. Tales poblaciones balanceadas -variables, en equilibrio con el medio ambiente y los patógenos, y genéticamente dinámicas- son nuestra herencia de las anteriores generaciones y agricultores”.

Una breve descripción de Harlan capta la naturaleza esencial de las variedades tradicionales y de muchos de los temas y preguntas que se encuentran en el corazón de este libro. ¿Cuál es la naturaleza o el contenido de la integridad genética que identifica Harlan? ¿Qué rasgos morfológicos son importantes para identificar, y bajo qué condiciones para diferentes cultivos? ¿Cuán consistente es el uso de nombres para conferir identidad? ¿Cuál es la naturaleza de la adaptación y cómo los agricultores equilibran las diferentes preocupaciones de adaptación al medio ambiente, adaptándose a los diferentes sistemas de producción y satisfaciendo diferentes necesidades? Lo más importante, ¿cómo se equilibra el mantenimiento de la diversidad genética con preocupaciones tales como maximizar la producción o asegurar la resistencia contra plagas o enfermedades específicas? ¿Cuál es la naturaleza del equilibrio que mantiene tanto la variabilidad como las poblaciones a las que se refiere Harlan, y cómo se mantiene a lo largo de generaciones de campesinos y agricultores?

Como se señaló anteriormente, las variedades tradicionales están asociadas con lo que comúnmente se denomina agricultura de “bajos insumos”. En comparación con las variedades modernas desarrolladas por los fitomejoradores, pueden ser de bajo rendimiento, pero parecen ofrecer estabilidad y evitar riesgos; es decir, producirán algo bajo condiciones adversas y exposición a condiciones climáticas extremas o epidemias de enfermedades. Son el sello distintivo de la agricultura de subsistencia, lo que ayuda a mantener al agricultor y a la familia vivos hasta la próxima cosecha y, a menudo, proporciona un excedente para la venta o el intercambio. El mantenimiento continuo de variedades tradicionales en el sistema de producción agrícola también satisface una necesidad social más amplia de materiales en evolución y adaptados a satisfacer las cambiantes necesidades y desafíos de la producción.

Como parte de un análisis de las formas en que podría apoyarse el mantenimiento y el uso de variedades tradicionales para la agricultura sostenible, Jarvis et al. (2011) han revisado las razones por las cuales los agricultores mantienen variedades tradicionales. Ellos citan evidencia de que las variedades de cultivos tradicionales se mantienen, entre otras cosas, debido a su adaptación a ecosistemas agrícolas marginales o específicos y a ambientes o condiciones de producción heterogéneos y variables, como un seguro contra riesgos ambientales y de otro tipo para satisfacer las demandas cambiantes del mercado, el manejo de plagas y enfermedades, a sus características de postcosecha (incluido su valor nutricional), para cumplir las condiciones sociales y económicas de producción, y para apoyar las prácticas culturales y religiosas. Proponen que la diversidad de variedades tradicionales y la diversidad dentro de estas variedades permiten la adaptación y la evolución que necesitan los agricultores para enfrentar los desafíos en condiciones de producción difíciles, inciertas y cambiantes.

Esto sugiere que las propiedades clave de las variedades tradicionales incluyen su capacidad para producir en condiciones de estrés biótico o abiótico, su posesión de genes adaptativos y complejos genéticos, su heterogeneidad genética y su valor sociocultural local. Otra característica que a menudo se atribuye a las variedades tradicionales es la interacción favorable de los diferentes componentes o individuos en una población para que se complementen, en lugar de competir entre sí.

Ciertamente, en muchos cultivos hay pruebas de que las variedades tradicionales poseen genes útiles que les confieren un mejor rendimiento, resistencia a muchas plagas y enfermedades y tolerancia al estrés abiótico (Frankel et al. 1995). En algunos entornos de producción, las variedades tradicionales han superado a las variedades modernas en condiciones de estrés. Los experimentos realizados con cebada (Ceccarelli 1994) han demostrado que, bajo condiciones extremas de sequía y salinidad, las variedades tradicionales de cebada se desempeñaron mejor que las variedades modernas.

También hay evidencia de que la posesión de heterogeneidad contribuye a la resistencia a las enfermedades que se puede encontrar en muchas variedades tradicionales. El trabajo sobre mezclas de variedades y multilíneas (líneas que son casi isogénicas a excepción del gen de resistencia) ha demostrado que la heterogeneidad puede reducir el daño de una enfermedad y proporcionar un efecto amortiguador, o “efecto de mezcla” observado por Wolfe (1985:255): “Las mezclas de huéspedes pueden restringir la propagación de la enfermedad considerablemente en relación con la media de sus componentes, siempre que los componentes difieran en su susceptibilidad”.

Las comunidades rurales a menudo mantienen un gran número de variedades tradicionales distintas e identificables, proporcionando otro nivel de heterogeneidad importante para las estrategias de producción de las comunidades y los agricultores. Esto parece ser más evidente en el caso de los cultivos principales autofertilizados y propagados vegetativamente, como el arroz, la papa y la yuca (Rana et al. 2007; Brush et al. 1995; Salick et al. 1997). Donde se reconocen y mantienen un gran número de variedades, cada una tiene sus propias características específicas y, como señaló Harlan, la comunidad las utiliza de diferentes maneras que son complementarias, algunas pueden ser más o menos productivas, otras pueden usarse para ceremonias, incluso otras pueden ser adaptadas a campos específicos con problemas de cultivo o para cumplir con ciertos requisitos de estacionalidad.

También se ha sugerido que las variedades tradicionales consisten en genotipos complementarios, que de alguna manera “encajan” para formar una población de plantas, que pueden hacer un mejor uso de los recursos limitados o enfrentar estreses de diferentes tipos y son, debido a esta característica, especialmente adaptados a la agricultura de bajos insumos. Esta es una propuesta mucho más controvertida. Marshall (1977) encontró poca evidencia de tales interacciones en las mezclas, aunque los estudios sobre poblaciones cruzadas de compuestos de cebada han sugerido que pueden ocurrir interacciones positivas (Allard y Adams 1969).

Cultivos Mayores y Menores

La investigación y el desarrollo agrícola se han centrado en los cultivos mayores, sin tener en cuenta los otros muchos cultivos que son importantes para el bienestar humano (Mangelsdorf 1966; Kahane et al. 2013). Tres cultivos (trigo, arroz y maíz) proporcionan el 50 por ciento de la ingesta calórica mundial, y 15 cultivos suministran el 90 por ciento de nuestra ingesta total de alimentos (Ceccarelli 2009). Sin embargo, en las comunidades agrícolas donde las variedades tradicionales siguen siendo importantes, a menudo se puede encontrar una gama más amplia de cultivos que en los sistemas agrícolas dominados por variedades modernas. A los cultivos menos importantes se les han dado varios nombres, como cultivos menores, descuidados, subutilizados o incluso “cultivos perdidos”.

Los cultivos menores tienden a incluir a todos los que caen fuera del grupo de cultivos de importancia mundial que dominan los sistemas modernos de producción. Pueden estar distribuidos globalmente (como el alforfón), regional-

mente significativo como *Lathyrus sativus* en la India (que contiene factores anti-nutricionales significativos), o muy local, como las raíces y tubérculos menores (por ejemplo, maca y ulluco) en los Andes. Los cultivos desatendidos suelen ser los descuidados por la agricultura moderna, aunque siguen siendo importantes para las comunidades locales. Ejemplos de tales cultivos incluirían el tef de Etiopía o fonio de África occidental. Las especies infrautilizadas (siguiendo la descripción utilizada por la Academia Nacional de Ciencias–Academy of Sciences [1975]) incluyen aquellos cultivos que se cree tienen potencial de expansión pero que, por algún motivo, no están adaptados a la agricultura moderna o las prácticas de producción actuales. Las categorías a menudo se superponen, y obviamente hay una gradación continua de cultivos bastante conocidos como sésamo, trigo sarraceno y cacahuete de bambarra, que son extremadamente locales y casi completamente marginados, como algunos de los mijos menores en el sur de la India (por ejemplo, *Panicum sumatrense* y *Paspalum scrobiculatum*).

En los sistemas agrícolas tradicionales estos cultivos son importantes porque contribuyen directamente a los medios de subsistencia locales, a la salud y la nutrición, proporcionan una fuente de ingresos y aún constituyen una parte del sistema de producción total que respalda la funcionalidad del agroecosistema (por ejemplo, la provisión de abonos verdes como parte de las rotaciones, o la capacidad de los cultivos para producir en tierras más marginales). A menudo, las variedades tradicionales están mucho menos definidas como cultivos menores. La cantidad de diversidad genética presente en estos cultivos también es mucho menos conocida. Algunas veces se mantienen poblaciones tan pequeñas (una o dos plantas por hogar en el caso de la calabaza esponjosa de polinización abierta en las aldeas nepalesas en la mitad de la montaña) que plantean preguntas interesantes sobre su mantenimiento y mejora por parte de los agricultores.

Contenido del Libro

Si las variedades tradicionales siguen siendo importantes para los agricultores y las comunidades para hacer contribuciones definitivas, y si es probable que sean importantes para mejorar la sostenibilidad, entonces debemos comprender cómo ayudar a mantenerlas en el contexto de mejorar las vidas de los agricultores, las comunidades rurales y la sostenibilidad de los sistemas productivos. Por lo tanto, este libro proporciona herramientas para identificar formas de apoyar a los agricultores que desean mantener estas variedades. Proporciona los principios para la recopilación y el uso de datos reales del tipo que puede provenir de las variedades tradicionales y los sistemas agrícolas tradicionales,

tanto a través del enfoque participativo como del enfoque empírico. Enfatiza la importancia de reunir las perspectivas biológicas (agronómicas, ecológicas, genéticas, etc.), sociales, económicas y culturales, y el respeto por todos los socios involucrados.

Un tema común en todo el libro es la forma en que las variedades tradicionales pueden adaptarse a las condiciones cambiantes. Esta adaptabilidad implica garantizar la existencia de materiales de siembra, que continuarán evolucionando para (1) hacer frente a los cambios (ambientales, económicos, sociales) y (2) proporcionar resiliencia a lo largo del tiempo en condiciones de cambio constante. En este sentido, una propiedad importante de estas variedades es su capacidad evolutiva. Con esto en mente, se presentan herramientas centradas en descifrar lo que implica mantener la capacidad evolutiva en los sistemas de producción. Esta no es una tarea simple, ya que cuando hablamos de mantener la capacidad evolutiva, podemos hacer las siguientes preguntas: ¿Para qué? ¿Para cual uso? ¿De qué manera el mantenimiento y el uso de las variedades de cultivos tradicionales respaldan la soberanía alimentaria y los derechos de los agricultores y las comunidades que mantienen y usan esas variedades? ¿Cuánta diversidad necesitamos tener para permitir esta evolución, ya sea la capacidad evolutiva para la mejora de los cultivos (la composición genética de los cultivos que necesitaremos para las condiciones futuras), o para las necesidades cambiantes en la utilización de la diversidad en los sistemas de productivos de los agricultores en cuanto a la productividad y la resiliencia?

Los Capítulos 2 y 3 de este libro proporcionan información básica sobre el origen de los cultivos actuales y sobre el desarrollo de agendas internacionales y nacionales sobre la conservación y el uso de su diversidad genética. El Capítulo 2 describe los procesos de domesticación, los caracteres o rasgos involucrados y los cambios genéticos que ocurrieron durante los procesos de domesticación. También se describe la importancia de los centros de diversidad genética y los centros de origen de los cultivos. El Capítulo 3 proporciona una imagen histórica del desarrollo del trabajo sobre la conservación deliberada de los recursos fitogenéticos. Se examinan el desarrollo y la evolución de programas nacionales sobre recursos fitogenéticos, los orígenes y el desarrollo de un compromiso internacional para la conservación de los recursos fitogenéticos, y el trabajo del Convenio sobre Diversidad Biológica, la Comisión de Recursos Genéticos de la FAO y el Tratado de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. El capítulo también explora las diferentes formas en que los pueblos indígenas, las comunidades rurales, los programas nacionales sobre recursos genéticos y

las organizaciones internacionales abordan cuestiones sobre la conservación y definen el uso de la diversidad genética de los cultivos.

El Capítulo 4 presenta los conceptos básicos de la diversidad genética y su medición en poblaciones de plantas, incluyendo cómo el tamaño de la población y las fuerzas evolutivas –selección, mutación, recombinación y migración– afectan la extensión y distribución de la diversidad genética, los efectos de la biología reproductiva, los sistemas de cruzamiento (apareamiento), la polinización y la dispersión de semillas son introducidos en la genética. El Capítulo 5 tiene como objetivo proporcionar al lector las herramientas y los métodos en los que se obtienen y analizan datos para comprender el alcance y la distribución de la diversidad genética de los cultivos, desde métodos agronómicos hasta métodos bioquímicos y moleculares. Los métodos presentados incluyen los utilizados cuando se trabaja con los agricultores para obtener información y datos sobre el alcance y la distribución de la diversidad, y sobre cómo los propios agricultores ven y clasifican la diversidad. El capítulo enfatiza la importancia de los enfoques participativos y de tener acuerdos comunes claros con las comunidades de agricultores y el consentimiento previo de todas las partes con respecto a la recopilación y el uso de los datos.

Las diferencias en altitud, pendiente, apariencia, precipitación, temperatura, intensidad de la luz, velocidad del viento y niveles de CO₂, junto con la textura, fertilidad, toxicidad del suelo, los polinizadores, las plagas y los organismos subterráneos juegan un papel en la inclusión del alcance y la distribución de las variedades de cultivos tradicionales en los ecosistemas agrícolas. El Capítulo 6 proporciona las herramientas básicas para identificar y caracterizar los factores ambientales clave que afectan la diversidad genética y la productividad de los cultivos. Estos incluyen herramientas para recopilar y analizar información sobre el conocimiento de los agricultores sobre su entorno biofísico y las percepciones sobre los procesos ecológicos que los rodean. El capítulo también incluye información introductoria sobre los servicios de los ecosistemas y el papel potencial de la diversidad genética de los cultivos para apoyar las funciones de los ecosistemas. El Capítulo 7 explora la evolución de las variedades de cultivos en ambientes de estrés, proporcionando los principios básicos de adaptación al estrés en ambientes adversos, y la variación genética dentro y entre las variedades de cultivos tradicionales con respecto al estrés ambiental. El capítulo presenta conceptos básicos y herramientas para medir la tolerancia y la resistencia al estrés, y a los estreses abióticos y bióticos, al comparar variedades modernas y tradicionales. El uso de una variedad elegida deliberadamente como adaptada

a un entorno específico se distingue del uso de la diversidad *per se* como un seguro para mantener la productividad en entornos heterogéneos o en climas cambiantes. Se brinda una discusión más detallada sobre la interrelación de (1) la diversidad genética, (2) la reducción del daño actual y (3) la reducción de la vulnerabilidad genética o la reducción del potencial de futuras pérdidas en los cultivos por plagas y enfermedades.

La cultura se puede definir como una expresión de la interacción en el tiempo entre las comunidades y sus entornos naturales, históricos y sociales. Estos entornos no solo satisfacen las necesidades materiales de las personas, como alimentos, forraje, agua, medicinas y otros recursos naturales, sino que también proporcionan las bases para valores éticos, conceptos de espacios sagrados, experiencias estéticas e identidades personales o grupales derivadas del entorno local. El Capítulo 8 trata sobre la caracterización de los agricultores y las comunidades agrícolas que mantienen la diversidad genética de los cultivos en sus entornos sociales, culturales y económicos. Las características a considerar incluyen edad, género, parentesco, educación, estado económico, riqueza relativa, estatus social, etnicidad e idioma. Las herramientas para caracterizar las relaciones sociales y el capital social también son fundamentales para comprender el papel que los seres humanos juegan en el uso y la gestión de sus recursos genéticos vegetales. Se introducen métodos cualitativos y cuantitativos para analizar cómo determinados roles sociales, culturales y económicos configuran los patrones de la diversidad genética de los cultivos entre los agricultores y sus hogares, redes o asociaciones formales de agricultores y comunidades agrícolas.

El Capítulo 9 está orientado a proporcionar herramientas y métodos para valorar la diversidad agrícola desde una perspectiva económica. Un punto de partida es diferenciar entre los valores privados y públicos de los recursos genéticos en los sistemas de producción y proporcionar herramientas para determinar lo que los economistas llaman “valor económico total”. El capítulo analiza la “elección varietal” (qué variedades cultivar) y en qué proporciones de área de cultivo se siembra cada variedad. Se brinda orientación para probar las relaciones entre los factores sociales, culturales y económicos y la diversidad en la finca e identificar los factores externos que afectan la toma de decisiones de los agricultores sobre la diversidad. Esto incluye comprender el efecto del rendimiento directo de la diversidad genética de los cultivos, que está relacionado con el uso de insumos productivos como fertilizantes, mano de obra o tipo de semilla y puede tener un efecto directo en el rendimiento del cultivo y el efecto de reducción del daño, relacionado con el efecto del uso de insumos de control como insecticidas, fungicidas o variedades resistentes que no aumentan directamente la producción

pero sí reducen el efecto de plagas o enfermedades en el cultivo. Los modelos econométricos se introducen para probar las relaciones causales y probarlos con análisis de regresión múltiple. El Capítulo 9 también incluye herramientas para comprender los valores comerciales y no comerciales de la diversidad genética de los cultivos, y presenta los principios para crear un enfoque de cadena de mercado para el uso de la diversidad genética de los cultivos.

El Capítulo 10 explica cómo las políticas y los marcos legales crean desincentivos u obstáculos para que los agricultores mantengan y gestionen la diversidad vegetal y presenta una visión general de conceptos y métodos para analizar y desarrollar medidas políticas orientadas a la creación de incentivos para que los agricultores continúen utilizando los recursos fitogenéticos en la finca, en línea con el concepto de los derechos de los agricultores, tal como lo reconoce el Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. El capítulo analiza cómo los instrumentos de política aseguran que las tecnologías respondan al propósito de la modernización de la agricultura. Estos incluyen leyes de semillas, cuestiones de derechos de propiedad intelectual y enfoques alternativos para la protección de variedades vegetales. El capítulo proporciona un marco para desarrollar un proceso de políticas que incluye la identificación de áreas para la reforma de políticas, la comprensión del contexto en el que se desarrolla el proceso de políticas y el establecimiento de herramientas participativas de investigación y desarrollo. El capítulo también proporciona herramientas para identificar a las partes interesadas que estarán involucradas en la evaluación y la formulación de políticas.

El Capítulo 11 analiza de manera más detallada los procesos que continúan configurando la estructura y la evolución de la diversidad de los cultivos desde la perspectiva de su producción. Se describen las vías en que diferentes fuerzas evolutivas como la migración, el flujo de genes y la selección pueden influir en la diversidad en diferentes etapas del proceso de producción del cultivo. La importancia de la selección como una gran fuerza evolutiva se discute en una sección separada. Se describen los sistemas de semillas (procesos y prácticas utilizadas por los agricultores y las comunidades para asegurar que las semillas de variedades tradicionales estén disponibles), ya que esto constituye una característica central del mantenimiento de las variedades tradicionales. Una sección final considera las cuestiones de escala espacial y temporal, así como las formas en que la gestión comunitaria de los recursos puede influir en el mantenimiento de las variedades tradicionales.

Desarrollar y llevar a cabo un programa que respalde el uso y la conservación de la diversidad genética de los cultivos en el sistema de producción agrícola

requiere más de recursos y experiencia para recopilar y asimilar los datos de investigación. También requiere cultivar asociaciones entre muchos individuos e instituciones y movilizar a las organizaciones comunitarias para acciones concretas. Aunque los aspectos colaborativos pueden pasarse por alto fácilmente, son un elemento fundamental de una iniciativa exitosa en las fincas. El Capítulo 12 presenta primero la gama de actores, los tipos de relaciones que son necesarias y las vías en que se pueden compartir las responsabilidades y los beneficios. Entonces, el capítulo presenta un enfoque de portafolio utilizando los tipos de información cubiertos en los capítulos anteriores para identificar una gama de acciones en apoyo a la conservación y el uso de variedades de cultivos tradicionales.

El capítulo final lleva al lector nuevamente a la pregunta central de por qué tenemos que mantener la diversidad genética de nuestro patrimonio de cultivos en el sistema de producción agrícola.

Lecturas Adicionales

- Altieri, Miguel A. 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*, 2nd ed. Westview Press, Boulder, CO.
- Brush, S. B. 1999. *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity*. IPGRI/IDRC/Lewis, Ottawa, ON.
- FAO. 2012. *Save and Grow*. FAO, Rome.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, y J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Harlan, J. R. 1975. *Crops and Man*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Pollan, M. 2006. *The Omnivore's Dilemma*. Bloomsbury, London.
- Zimmerer, K. S. 2010. "Biological Diversity in Agriculture and Global Change." *Annual Review of Environmental Resources* 35:137–66.



Ilustración 1. Las variedades tradicionales, también denominadas variedades locales, variedades de los agricultores o variedades populares, son variedades de cultivos que a menudo albergan cierta variabilidad genética, aunque con cierta integridad genética. Los agricultores reconocen las características de una variedad tradicional, seleccionan los rasgos que desean y generalmente le dan un nombre. Arriba a la izquierda: variedades tradicionales de arroz de Nepal. Arriba a la derecha: agricultor marroquí que separa las semillas de dos variedades de habas. Abajo a la izquierda: variedades de taro tradicionales plantadas en una parcela de demostración de diversidad local en Hue, Vietnam. Abajo a la derecha: mujer de Burkina Faso describiendo sus variedades locales de mijo perla. Créditos de las fotos: R. Vodouhe (arriba a la izquierda), B. Sthapit (abajo a la izquierda), D. Jarvis (abajo a la derecha y arriba a la derecha).

CAPÍTULO 2

Los Orígenes de la Agricultura, la Domesticación de los Cultivos y los Centros de Diversidad

Al final de este Capítulo, el lector debe tener una comprensión de:

- El surgimiento de la agricultura y de los cultivos.
- Las características o rasgos asociados con la domesticación.
- Los procesos involucrados en la domesticación y los cambios genéticos que han ocurrido.
- Los centros de diversidad de los cultivos alrededor del mundo.

La primera mitad de este capítulo proporciona una visión general de los orígenes de la agricultura y de la domesticación de los cultivos, los procesos que estuvieron involucrados y los cambios que ocurrieron en las especies que los humanos decidieron domesticar. La diversidad presente en los cultivos de hoy refleja los procesos de domesticación y la historia subsiguiente de los diferentes cultivos, a medida que las sociedades humanas cambiaron y se desarrollaron, los humanos se movieron alrededor del mundo. Ciertas partes del mundo están asociadas con altos niveles de diversidad, y estos “centros de diversidad” a menudo parecen haber estado asociados con la domesticación de muchos de nuestros cultivos mayores y con la posterior evolución de un alto rango de diferentes tipos encontrados hoy en día.

La segunda mitad del capítulo describe la identificación de estos centros de diversidad y el posterior desarrollo del concepto. El proceso continuo de domesticación y evolución –y las formas cambiantes en que los agricultores, las comunidades y las sociedades manejan sus cultivos– continúa influenciando los

patrones cambiantes de diversidad que vemos hoy, tanto dentro como fuera de los centros de diversidad aceptados.

Se pueden encontrar tratamientos completos de la evolución de los cultivos y la domesticación en Harris y Hillman (1989), Barker (2009) y, desde una perspectiva arqueológica, Weiss et al. (2004). Los tratamientos más recientes que incluyen información de estudios moleculares incluyen revisiones de Fuller (2007) para cultivos del Viejo Mundo, Pickersgill (2007) para cultivos del Nuevo Mundo, Burger et al. (2008) y Purugganan y Fuller (2009) para el proceso de domesticación, y Miller y Gross (2011) sobre las diferencias en la domesticación de cultivos anuales versus perennes. Las descripciones de las vías de domesticación para cultivos individuales se pueden encontrar en Sauer (1993) y en Smartt y Simmonds (1995).

Los Orígenes de la Agricultura y de los Cultivos

El registro arqueológico muestra que los humanos ingirieron granos silvestres hace al menos 20,000–25,000 años (Weiss et al., 2004). La búsqueda de alimento comenzó a dar paso a la labranza hace unos 13,000–11,000 años durante los períodos Epipalaeolítico y Neolítico. En las Américas, los animales domesticados aparecieron poco después de la llegada de los humanos, hace al menos 13,000 años. La evidencia sugiere que los grupos de cazadores-recolectores de forma independiente comenzaron a cultivar plantas alimenticias en hasta 24 regiones diferentes del mundo. Los cultivos de granos fueron los más tempranos en quizás 13 regiones diferentes (Purugganan y Fuller 2009). Durante los siguientes miles de años, la domesticación de muchas especies diferentes ocurrió en regiones tan diversas del mundo como el Medio Oriente (Creciente Fértil y cuencas de los ríos Eufrates y Tigris), Mesoamérica, los Andes Centrales, el oeste subsahariano de África, las tierras altas de África Oriental y Etiopía, diferentes regiones de India, Nueva Guinea y Wallacea (Indonesia y Nueva Guinea) y Asia Central. La Tabla 2.1 resume la información sobre los cultivos, el área de domesticación y las presuntas fechas (donde se conocen) en que fueron domesticadas.

En el Medio Oriente, los primeros cultivos que fueron domesticados incluyeron el trigo einkorn y emmer, la cebada, las habas, el guisante, el garbanzo y la lenteja, junto al olivo y el higo. En Asia, la domesticación del mijo tuvo lugar en el norte de China, mientras que la domesticación del arroz japónica se produjo en la cuenca del Yangtze, y el arroz Indica probablemente fue domesticado en la India. La domesticación de la calabaza y el maíz ha sido fechada como ocu-

TABLA 2.1 DÓNDE Y CUÁNDO SE DOMESTICARON ALGUNOS CULTIVOS MAYORES DE SEMILLAS Y RAÍCES.

<i>Lugar</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Fecha en que fue domesticado (años antes del presente)</i>
Este de América del Norte	<i>Chenopodium berlandieri</i>	4,500-4,000
	<i>Helianthus annuus</i> -girasol	4,000
	<i>Cucurbita pepo</i> -calabaza	10,000
Mesoamérica	<i>Zea mays</i> -maíz	9,000-2,500
	<i>Phaseolus vulgaris</i> -frijol común	
Tierras bajas neotropicales del norte de América del Sur	<i>Manihot esculenta</i> -yuca	6,000
	<i>Cucurbita moschata</i> -calabaza	9,000-8,000
	<i>Ipomea batatas</i> -boniato	4,000
	<i>Arachis hypogaea</i> -maní	8,500
	<i>Chenopodium quinoa</i> -quinoa	5,000
Andes	<i>Solanum tuberosum</i> -papa	8,000
	<i>Oxalis tuberosa</i> -oca	3,000
	<i>Phaseolus lunatus</i> -frijol de lima	5,000
	<i>Phaseolus vulgaris</i> -frijol común	4,000
	<i>Pennisetum glaucum</i> -mijo perla	4,500
África occidental	<i>Vigna unguiculata</i> -caupí	3,700
	<i>Oryza glaberrima</i> -arroz de África	<3,000
	<i>Dioscorea rotunda</i> -yame	Incierto
Este de Sudáfrica Tierras altas de África Oriental	<i>Sorghum bicolor</i> -sorgo	>4,000
	<i>Eragrostis tef</i> -tef	¿4,000?
	<i>Eleusine corocana</i> -mijo de dedo	
	<i>Triticum</i> spp. -trigo duro, trigo de pan	13,000-10,000
	<i>Hordeum vulgare</i> -cebada	
Cercano Oriente	<i>Lens culinaris</i> -lenteja	
	<i>Pisum sativum</i> -guisante	
	<i>Cicer arietinum</i> -garbanzo	
	<i>Vicia faba</i> -haba	
Asia Central	<i>Malus x domestica</i> -manzana	
	<i>Pyrus communis</i> -pera	
	<i>Vigna mungo</i> -frijol urd	5,000
India	<i>Vigna radiata</i> -frijol mungo	
China	<i>Oryza sativa</i> spp. <i>indica</i> -arroz	8,500-3,500
	<i>Setaria italica</i> -mijo cola de zorra	8,000
	<i>Glycine max</i> -soya	¿4,500?
	<i>Oryza sativa</i> spp. <i>japonica</i> -arroz	
	<i>Colocacia</i> -taro	Incierto
Nueva Guinea y Wallacea	<i>Prunus persica</i> -melocotón	¿3,000?
	<i>Colocacia esculenta</i> -taro	7,000
	<i>Dioscorea esculenta</i> -yame	
	<i>Musa acuminata</i> -banano	

Adaptado de Purugganan y Fuller (2009) y Miller y Gross (2011)

rrida hace 10,000-7,000 años en Mesoamérica, mientras que, en Sudamérica, la domesticación de *Phaseolus vulgaris* (frijol común), el boniato y de la papa se ha fechado hace unos 8,000 años con la posible domesticación temprana de *Phaseolus lunatus* (frijol de lima) y *Cucurbita ecuadoriensis* (quizás tan temprano como 10,000 años atrás).

En África, donde es probable que la domesticación haya ocurrido más tarde (entre 5,000 y 3,000 años atrás), cultivos como el mijo africano (*Eleusine coracana*), el mijo perla (*Pennisetum glaucum*) y el sorgo (*Sorghum bicolor*) probablemente fueron domesticados en el margen sur del Sahara (Barker 2009). La calabaza de botella (*Lagenaria siceraria*), que se cultiva para utilizarse como contenedor en lugar de un cultivo alimenticio, es originaria de África y puede haber sido domesticada allí hace 10,000 años. Según la evidencia arqueológica, la calabaza de botella fue transportada de Asia a las Américas durante el Pleistoceno tardío (Erickson et al. 2006), lo que implica que esta especie fue una de las primeras en someterse a la domesticación (Zeder et al. 2006).

Los Cambios Asociados con la Domesticación

Un número bastante limitado de familias de plantas proporcionan la mayoría de nuestras especies domesticadas. Las más importantes incluyen las gramíneas (cereales y caña de azúcar), leguminosas (legumbres), solanáceas (papa, tomate y pimiento), cucurbitáceas (calabaza, pepino, melón y calabacín), umbelíferas (verduras, hierbas y especias), Cruciferae (vegetales y semillas oleaginosas), Rosaceae (árboles frutales templados) y Palmae (coco, palma de aceite). Dentro de estas familias, ciertos géneros han demostrado ser particularmente importantes, como *Allium* (cebolla), *Brassica* (semillas oleaginosas y diferentes verduras de la familia de la col), *Phaseolus* (diferentes frijoles), *Dioscorea* (ñame verdadero) y *Gossypium* (algodón).

La domesticación es el proceso selectivo mediante el cual el uso humano de especies de plantas y animales conduce a cambios morfológicos y fisiológicos que distinguen a los taxones domesticados de sus ancestros y parientes silvestres (Hancock 2004, Purugganan y Fuller 2009). Desentrañar la historia de la domesticación en cultivos individuales viene unida a evidencias arqueológicas e históricas con estudios sobre genética y expresión genética, patrones actuales de distribución y formas en que se usan los cultivos en diferentes sociedades.

La domesticación ha adaptado las especies de cultivos al cultivo humano. Ha incluido la selección de rasgos que conducen a la germinación exitosa de semillas y al crecimiento en ambientes alterados y manejados. Los rasgos facilitan

la cosecha y aumentan la cantidad y disponibilidad del producto deseado (por ejemplo, grano, fruta, partes florales, hojas, tallos, raíz y tubérculo). La domesticación implica tanto la selección consciente de los atributos deseados como la selección inconsciente de las características asociadas con los procesos de cultivo y cosecha (es decir, el entorno agroecológico cambiante en el que se cultivan las plantas). El proceso de domesticación continúa en la actualidad, particularmente en áreas donde los agricultores continúan introduciendo plantas silvestres en sus sistemas de producción cultivados.

Los cambios típicos que acompañaron la domesticación en los cultivos de cereales como el trigo, la cebada, el arroz, el mijo y el sorgo fueron la pérdida del desgrane (dispersión libre de la semilla a medida que madura) y un aumento en el tamaño del grano. Otras tendencias incluyen la pérdida de la dormancia de la semilla (que brindó una germinación más uniforme después de la siembra), la sincronización del ahijamiento, un hábito de crecimiento más determinado y una madurez más uniforme. En el maíz acompañaron estos cambios una reducción en la ramificación de la planta para generar un solo tallo grande, y una reducción en el número de inflorescencias masculinas y femeninas. Los cultivos de leguminosas de grano como el frijol común, las lentejas, el garbanzo, la soya y el frijol haba mostraron cambios similares con una maduración más uniforme de las vainas, un aumento en el tamaño de la semilla y un hábito de crecimiento más determinado. En cultivos de semillas oleaginosas como girasol y *Brassica*, las características similares de las semillas se favorecieron, aunque en algunos de estos cultivos el proceso de domesticación es menos completo; por ejemplo, la dehiscencia de las vainas sigue siendo común en el sésamo y es a menudo un problema en las variedades tradicionales oleaginosas de *Brassica*.

En cultivos como la yuca, el ñame, el boniato y la papa, la domesticación produjo un aumento significativo en el tamaño del órgano de almacenamiento de la raíz o el tubérculo cosechado. En estos cultivos, dicha selección también condujo a la pérdida parcial o total de la producción de semillas, y la propagación vegetativa se convirtió en la norma. Los aumentos significativos en el tamaño del órgano particularmente consumido también son característicos de la mayoría de los cultivos de hortalizas: bulbos en cebolla, hojas de col y lechuga, cogollos florales inmaduros en coliflor y las frutas de calabaza, pimiento, tomate, berenjena, quimbombó y plátano, así como árboles frutales perennes como manzana, pera, olivo, dátil, mango, aguacate y muchas otras frutas. La Tabla 2.2 enumera los rasgos asociados con la domesticación, y la Tabla 2.3 brinda ejemplos de los cultivos y de los cambios que ocurren.

TABLA 2.2. RASGOS COMÚNMENTE ASOCIADOS CON LA DOMESTICACIÓN.

<i>Rasgos comúnmente asociados con la domesticación</i>
Aumento del esfuerzo reproductivo
Semillas y frutas más grandes
Germinación más uniforme y más rápida
Germinación desde una mayor profundidad del suelo
Maduración más uniforme
Frutos y semillas no dehiscentes
Autopolinización
Tendencia a la anualidad y ciclos de producción anual
Incremento de la palatabilidad
Cambios de color
Perdida de estructuras de defensa
Aumento de las adaptaciones locales
Aumento de la variabilidad alrededor de ciertos rasgos

En algunos cultivos, la diversidad actual se puede remontar a un solo lugar y parece haber implicado un único proceso que ha dado lugar a un único linaje que se puede remontar a una línea genética única. Este parece ser el caso del maíz, el girasol y el trigo einkorn, aunque estos cultivos pueden haber sido domesticados más de una vez, con los otros linajes muriendo o siendo reemplazados. Esto también puede haber sido el caso en el arroz, de acuerdo con un reciente análisis molecular (Molina et al. 2011). En los casos del frijol común y la calabaza, se pueden identificar al menos dos linajes separados, lo que indica una domesticación separada en diferentes lugares (ver el cuadro 2.1 para la domesticación del frijol común). En el caso de algunos cultivos importantes como el trigo tetraploide y la cebada, la cantidad de veces que se ha domesticado el cultivo sigue siendo incierta (Burger et al. 2008). Incluso cuando los cultivos finalmente desarrollaron barreras reproductivas con las especies silvestres de las que se derivaron, probablemente hubo largos períodos en los que tuvo lugar el flujo de genes entre el supuesto cultivo y su ancestro silvestre. En muchos cultivos, y particularmente en árboles frutales, la domesticación implica una serie de lugares (a menudo diferentes áreas geográficas) con historias complejas de hibridación y selección de nuevos tipos por diferentes sociedades.

La domesticación a menudo ha implicado cambios en la biología reproductiva del cultivo en comparación con su antecesor silvestre. Muchos cultivos como el arroz, el tomate y las brasicas oleaginosas diploides (*Brassica rapa*) son auto-

TABLA 2.3. CAMBIOS ASOCIADOS CON LA DOMESTICACIÓN Y EJEMPLOS DE CULTIVOS ANUALES Y PERENNES DONDE ESTOS CAMBIOS HAN OCURRIDO.

<i>Rasgo</i>	<i>Estado silvestre (ancestral)</i>	<i>Estado domesticado (derivado)</i>	<i>Ejemplo de cultivos anuales</i>	<i>Ejemplo de cultivos perennes</i>
Sistema de cruzamiento	Alógamo	Autógamo	Arroz, haba	Almendra, uva, papaya, ciruela
Modo de reproducción	Dioico	Ginóico, andrónico, hermafrodita		Pimienta negra, uva, algarrobo
	Sexual	Asexual vía partenocarpia		Higo, marañón, plátano, pistacho, peras
Inflorescencia		Asexual vía embrión nuclear		<i>Citrus</i> spp.
	Flores estériles	Asexual vía propagación por humanos (injerto, estratificación, corte)		Aprox. 75% de los perennes cultivados
	Pocas	Asexual vía raíces y tubérculos	Yuca, ñame, papa, boniato	
	Desgrane	Flores estériles se convierten en fértiles		
Semillas	Tamaño pequeño	Muchas	Cereales	
	Grupo de semillas pequeñas	Sin desgrane	Trigo, cebada, arroz	
	Más tóxicas	Gran tamaño	Cereales, girasol, legumbres	
	Bajo contenido de aceite	Grupo de semillas grandes	La mayoría de los cereales, girasol, legumbres	
	Dormancia alta	Menos tóxicas	Lino	Almendra
		Alto contenido de aceite	Cucurbita spp.	Clavo
		Dormancia baja	Lino, girasol	<i>Polaskia</i> (cactus)
			Legumbres, arroz	

	Frutos relativamente homogéneos	Incrementada la variación en color, tamaño y forma	Manzana
Fruto	Tamaño pequeño	Gran tamaño	La mayoría de los frutales, olivo, dátil, uva, granada, manzana, mango, ciruela, plátano
	Bajo contenido de aceite	Alto contenido de aceite	Olivo
	Dehiscente	Indehiscente	Capoc
Grosor de la cáscara	Grueso	Delgado	Pacana, almendra
Estructura defensiva	Delgado	Grueso	Calabaza de botella
	Espinas	Sin espinas	Olivo, ciruela, capoc
	Perenne	Crecimiento como anuales	
Forma de crecimiento	Crecimiento indeterminado	Crecimiento determinado	Aguacate, coco, papaya, manzana, cereza, melocotón, pera, ciruela, cítrico
	Grande	Enano	Kiwi, panapén, cereza agria
Nivel de ploidía	Diploide	Poliploide	
			Trigo duro y de pan, cacahuete

Adaptado de Miller y Gross (2011)

Cuadro 2.1. Caminos de la Domesticación en Diferentes Cultivos

A. *Sorghum* (*Sorghum bicolor*)

Los cazadores-recolectores parecen haber consumido sorgo desde hace 10,000 años, y su domesticación parece haber tenido sus orígenes en Etiopía y los países circundantes, pero la domesticación pudo haber ocurrido en varios lugares diferentes de África, incluyendo África occidental y la sabana de África Central. La selección disruptiva parece haber sido responsable del desarrollo de diferentes razas y numerosas variedades en diferentes partes de África. El sorgo parece haber llegado a la India hace unos 3,000-3,500 años, y llegó más tarde al Medio Oriente y el este de Asia. La domesticación se asoció con un cambio hacia semillas más grandes que no se desgranar y a panículas más compactas. Harlan y DeWet (1971) reconocieron cinco razas principales de sorgo cultivado basadas en la morfología: (1) Bicolor, ampliamente distribuida a través de la sabana africana y Asia; (2) *Caudatum*, que se encuentra en el centro de Sudán y las áreas circundantes; (3) Guinea, que se cultiva en África oriental y occidental; (4) Durra, que se encuentra principalmente en Arabia y Asia Menor, y (5) kafir, que se cultiva principalmente en el sur de África. Se ha identificado domesticación de los QTL (loci de caracteres cuantitativos) en el sorgo y se han mapeado en varias regiones diferentes del genoma (Fuentes: Hancock 2004; Smartt y Simmonds 1995).

B. Frijol común (*Phaseolus vulgaris*)

P. vulgaris silvestre tiene una amplia distribución en las Américas, desde México hasta América Central y al sur a lo largo de las montañas de los Andes hasta Perú, Bolivia y Argentina. Las poblaciones de *P. vulgaris* silvestre del norte de México y América Central son genética y morfológicamente distintas de las del extremo sur en el rango de la especie y muestran un aislamiento reproductivo incompleto. Los restos de frijol común no se conservan particularmente bien, lo que complica el desarrollo de un registro arqueológico, pero los tipos cultivados de *P. vulgaris* aparecen en el registro arqueológico mesoamericano hace unos 2,500 años, mientras que los sitios arqueológicos sudamericanos han producido restos de frijol de fechas sustancialmente anteriores, de 4,400 años atrás. Los estudios sobre proteínas de almacenamiento de semillas y polimorfismo de ADN sugieren que los frijoles fueron domesticados independientemente en al menos una ocasión en Mesoamérica y en los Andes (siendo el sur de Perú la ubicación andina más probable), en lugar de sufrir un único evento de domesticación en América del Sur y posteriormente una dispersión hacia el norte a México. Esto se refleja en los patrones actuales de diversidad en las regiones y en el aislamiento reproductivo parcial de los grupos de genes cultivados mesoamericanos y andinos (Fuentes: Gepts 1998, Kaplan y Lynch 1999, Chacón et al. 2005).

C. Banano

La mayoría de los bananos comestibles pertenecen a la sección *Eu-musa* del género *Musa* y son solo híbridos diploides o triploides de *Musa acuminata* (genoma A) o de hibridación con *Musa balbisiana* (genoma B). Un grupo

menor, incluidos los bananos Fe'i, está confinado a la región del Pacífico y se deriva de especies de *Australimusa*. Las primeras etapas de la domesticación del banano parecen haber implicado la hibridación de subespecies geográficamente aisladas de *M. acuminata* por personas del sudeste asiático y las islas melanesias. La evidencia arqueobotánica sugiere que esto ocurrió hace 6,950-6,440 años. Los diploides partenocárpicos domesticados fueron el resultado de la translocación humana de los llamados silvestres-cultivados fuera de su área de distribución y de la hibridación con especies locales, tanto en *M. acuminata* como en *M. balbisiana*. La evidencia lingüística y de otro tipo sugiere que hubo al menos tres regiones de contacto diferentes: (1) Nueva Guinea y Java, (2) Nueva Guinea y Filipinas, y (3) entre las islas Filipinas, Borneo y el sureste de Asia continental. La aparición de bananos triploides con variaciones entre genomas AAA, AAB o ABB se produjo de forma independiente en estas diferentes áreas de contacto.

De los numerosos subgrupos triploides, tres son notables porque se cultivan en gran medida lejos de la región donde se generaron: AAA africano "Mutika Lu-jugira", AAB "plátano africano" y AAB "plátano del Pacífico". La antigüedad de cada subgrupo es atestiguada por el número extraordinariamente grande de morfotipos cultivados, indicativos de un largo período de variación somaclonal, y por la evidencia de los fitolitos de *Musa* en África Central, que datan de hace 2,500 años (Fuentes: Zeder et al. 2006; Perriera et al. 2011).

fértiles, mientras que sus ancestros silvestres y las especies silvestres relacionadas del género son alógamas. Este es también el caso de una serie de cultivos importantes de frutales y nueces como la almendra, la uva y la papaya. La producción de semillas en cultivos de raíces y tubérculos a menudo se reduce o se suprime más o menos por completo, como en el caso del ñame, la yuca y la papa. Los plátanos cultivados casi nunca producen semillas, lo que hace que la mejora de los cultivos y la producción de nuevas variedades sean extremadamente difíciles. Las barreras de esterilidad pueden ser completas o parciales y parecen haberse desarrollado a lo largo de generaciones a través de diferentes mecanismos que incluyen la separación física, las alteraciones en el tiempo de floración y los cambios citológicos, como niveles alterados de ploidía y reordenamientos intracromosómicos, que impiden el apareamiento exitoso en la meiosis.

Aproximadamente cuatro de cada cinco cultivos son autopoliploides, anfiploides, o ambos (Hancock 2004), lo que proporciona otro mecanismo de aislamiento y puede haber proporcionado otras ventajas desde el punto de vista de la perspectiva humana del cultivo, como el tamaño más grande. Un complejo de cultivo clásico en el que la anfiploidía ha desempeñado un papel principal es el complejo *Brassica*, donde tres especies de cultivos anfiploides (*Brassica carinata*,

B. juncea y *B. napus*) son el resultado de la hibridación entre tres especies diploides (*B. nigra*, *B. oleracea* y *B. rapa*).

Los cultivos domesticados generalmente contienen solo una parte limitada de la diversidad encontrada en sus especies ancestrales o parientes silvestres. A menudo, esto ha resultado de un único proceso de domesticación, como en el caso del trigo o la lenteja, o de un número limitado de procesos, como es el caso de *Phaseolus vulgaris*. Estos ocurrieron en lugares específicos e involucraron una parte limitada del conjunto genético total de las especies ancestrales. Este efecto fundador dio lugar a un cuello de botella genético. Por lo tanto, en *Triticum*, parece que el trigo de pan hexaploide tiene aproximadamente la mitad de la diversidad de nucleótidos encontrada en el ancestro tetraploide silvestre, mientras que el trigo duro (también una especie tetraploide) parece tener incluso menos diversidad que del trigo de pan.

Muchos árboles frutales perennes han pasado al menos por un cuello de botella genético que el experimentado por las plantas anuales, y con frecuencia han mantenido una mayor proporción de la variación genética presente en sus progenitores silvestres que los cultivos anuales (Miller y Gross 2011). Las excepciones a esta observación general incluyen el rambután y el mangostán. La mayoría de los cultivos de frutas perennes tienen largos períodos generacionales y son reproducidos clonalmente. Un único tipo deseable puede mantenerse durante muchos cientos de años, como en el caso de algunas de las variedades europeas de manzanas y peras, que se originaron en los siglos XVIII y XIX.

Una de las consecuencias del cuello de botella genético que se produjo durante la domesticación es que todavía quedan genes útiles en las especies silvestres relacionadas con los cultivos. El interés en usar parientes silvestres en la mejora de los cultivos ha aumentado en los últimos 50 años, particularmente para los parientes más cercanos, que a menudo son las especies ancestrales del cultivo. Han demostrado ser particularmente valiosos como fuente de genes de resistencia a enfermedades. Por ejemplo, más de 35 genes de resistencia a enfermedades encontrados originalmente en especies silvestres de *Lycopersicon* se han utilizado para mejorar la resistencia a enfermedades en el tomate (Bai y Lindhout 2007). Los genes de parientes silvestres han mejorado tanto la tolerancia de los cultivos al estrés abiótico, como los genes que mejoran el rendimiento encontrados en *Oryza rufipogon* y que se transfirieron al cultivo del arroz. Dado que muchos cultivos son interfértiles con sus parientes silvestres, quedan oportunidades para la introducción de nuevos rasgos y para continuar la domesticación a lo largo de los siglos. Incluso hoy en día, los agricultores pueden permitir que los productos de estos cruces permanezcan en sus variedades (Jar-

vis y Hodgkin 1999), o utilizar parientes silvestres para seleccionar material para nuevas especies domesticadas, como en el ñame en África Occidental (Scarcelli et al. 2006b).

Mientras que la domesticación generalmente ha reducido la diversidad genética total presente en los cultivos en comparación con las especies ancestrales silvestres, la variación en ciertas características a menudo ha aumentado. A medida que los cultivos se expandieron y se trasladaron a nuevas áreas de producción, se produjo la adaptación a diferentes entornos agroecológicos. La propagación del trigo, la cebada, las lentejas y el guisante de la Creciente Fértil parece haber sido relativamente rápida hacia el este (hacia Pakistán) y hacia el oeste (hacia Grecia y el Mediterráneo occidental). La propagación hacia el norte más allá de los Balcanes requirió la adaptación a condiciones de producción más frías y diferentes duraciones del día. Esto implicó el desarrollo de una respuesta a la vernalización en cereales hacia tipos neutrales a la duración del día. Los cultivos como la lenteja y el garbanzo no se adaptaron y permanecen asociados con climas más cálidos, mientras que las adaptaciones apropiadas se desarrollaron en la cebada, el trigo, el guisante y el frijol haba (Purugganan y Fuller 2009).

La domesticación es el resultado de la selección humana. Las preferencias culturales y sociales de las personas fueron fundamentales para el desarrollo de la gran variedad de tipos de domesticación que se encuentran hoy en muchos cultivos. En algunas partes de Europa, debido a las preferencias locales para descascarar, las variaciones regionales se hicieron presente en contra de las cebadas desnudas, o de las cebadas de 2 y 6 hileras, preferencias que persistieron por mucho tiempo. Otros ejemplos de selección cultural asociados con las preferencias locales de alimentos, que son característicos de un rango de cultivos, incluyen la selección en maíz de los tipos reventador y elástico (México), los rasgos de fragancia del arroz asociados con el arroz basmati (India) y el arroz jazmín (tailandés), y los muchos ejemplos diferentes de selección para niveles reducidos de amilasa en el almidón del grano que dan lugar al rasgo pegajoso que se encuentra en las variedades modernas de al menos ocho especies diferentes de cereales (Sakamoto 1996).

Con el tiempo, se favorecieron diferentes caracteres útiles cuando el cultivo se usó para diferentes propósitos, y con frecuencia se pueden haber seleccionado caracteres visibles que podían usarse para identificar una variedad (ver Capítulo 5). Los ejemplos incluyen los diferentes tipos de sorgo, que abarcan la selección del dulzor en ciertas variedades; las características de tamaño, forma y madurez de las diferentes variedades de manzana, pera y otras frutas, y las muchas formas diferentes de papa. Varias especies vegetales han dado lugar a muchos

cultivos diferentes en diferentes partes del mundo, como las diferentes especies de *Brassica*, tal vez proporcionando el ejemplo más extremo. En Europa, *B. oleracea* ha dado lugar a al menos 10 tipos de cultivos diferentes (col de medula rizada, col rizada de mil cabezas, col rizada, repollo negro), repollo (muchos -redondo, puntiagudo, savoy, rojo), acelgas, coles de Bruselas, pimienta calabresa, coliflor (muchas -blanca, verde, romanesca) y colinabo como resultado de la selección de caracteres de las hojas, los tallos, las yemas axilares y florales. Una rica diversidad similar se puede encontrar en *B. juncea*, dentro de los cultivos de hortalizas de los chinos.

El Proceso de Domesticación

Incluso antes de la “revolución agrícola”, las sociedades de cazadores-recolectores se unieron en comunidades, como lo hacen hoy en día, y manejaron tanto el paisaje en el que vivían como las plantas y animales que formaban parte de ese paisaje. El conocimiento indígena de los recursos biológicos existía (y aún existe) dentro de estas sociedades. Yen (1989) ha descrito este manejo ambiental como “domesticación del medio ambiente”, el cual incluye ambos aspectos incidentales (la acumulación de desechos alrededor de un espacio central dejando enriquecer el suelo, así como cambios en la vegetación local) y más actividades deliberadas, incluido el control de inundaciones en los valles, el uso del fuego y el manejo de la vegetación en torno a recursos particularmente importantes (especialmente árboles valiosos o especies de plantas medicinales).

El debate rodea a los que impulsan el desarrollo de la agricultura y la domesticación. El desarrollo agrícola coincidió con (y apoyó) una mayor población mundial, así como el desarrollo de estados, ciudades y una sociedad cada vez más estratificada en la que diferentes grupos emprendieron tareas diferentes (véase, por ejemplo, Weisdorf 2005). El cambio climático -particularmente el clima cada vez más seco y cálido del período- también puede haber desempeñado un papel importante como motor de la domesticación. Los tres factores (aumento de la población, aumento del suministro de alimentos a través de la domesticación y el cambio climático) probablemente funcionaron en conjunto en elaborados ciclos de retroalimentación.

Algunos investigadores (por ejemplo, Hillman y Davies 1990) han sugerido que la domesticación ocurrió en un período de tiempo relativamente corto y que, para cada cultivo, la domesticación pudo haber sido relativamente rápida. Esta hipótesis considera la domesticación como un evento en el cual unas pocas (o algunas decenas) generaciones de un cultivo pasaron de ser una especie silvestre

a ser algo reconocible como cultivo en virtud de la adquisición y mantenimiento de algunas mutaciones claves tales como el rasgo de no desgranamiento en los cereales.

Sin embargo, la evidencia arqueológica sugiere que el cambio de “totalmente silvestre” a “totalmente domesticado” tuvo lugar durante un tiempo relativamente largo. Si bien los estudios de modelización podrían indicar que la ausencia de desgrane podría evolucionar en menos de 100 años, los estudios arqueobotánicos argumentan que la fijación del no desgranamiento en la cebada tomó aproximadamente 2,000 años. De manera similar, este rasgo ha evolucionado a lo largo de escalas de tiempo en el trigo y el arroz (Purugganan y Fuller 2009). La evolución del tamaño de la semilla también parece haber tomado un largo período de tiempo (aunque, en 500–1,000 años en algunos sitios en la Creciente Fértil, significativamente menos que el no desgranamiento). Otra conclusión importante de los análisis recientes ha sido que el mayor tamaño de la semilla se desarrolló significativamente antes del desarrollo del no desgranamiento y que, en este aspecto, la evolución de los diferentes rasgos asociados con la domesticación no fue sincrónica (Fuller 2007). Purugganan y Fuller (2009) sugieren que la tasa de aumento de las formas domesticadas que no se desgranar en la cebada, trigo y arroz pudo haber ocurrido a tasas de alrededor de 0.03–0.04 % por año, lo que implica una débil presión de selección para este rasgo.

Los estudios sobre la domesticación han tendido a centrarse en los principales cultivos y especialmente en los principales cultivos de cereales que se originaron en el Medio Oriente, donde hay una cantidad comparativamente mayor de evidencia arqueológica que en otras regiones del mundo. La nueva evidencia de otros cultivos provenientes de otras regiones sugiere que el proceso de domesticación es mucho más variado de lo que se pensaba.

Meyer et al. (2012) han revisado la información disponible sobre domesticación para 203 cultivos alimenticios mayores y menores. Ellos argumentan que muchas de las características “clásicas” asociadas a los pocos cultivos mayores que han sido intensamente estudiados (incluidos los cambios en el nivel de ploidía, la pérdida del desgranamiento, múltiples orígenes) son menos comunes cuando se considera un rango más amplio de cultivos. Quizás esto refleja las diferencias que existen en el grado de domesticación, pero nos recuerda que la generalización es peligrosa y que la domesticación es un proceso dinámico. Las combinaciones de los datos arqueológicos adicionales con información de los análisis moleculares posiblemente arrojen nueva luz sobre los procesos de domesticación en una gama cada vez más amplia de cultivos, ilustrado en el análisis de la vía en que las mutaciones genéticas y la ploidía del genoma abrió el

camino para la domesticación exitosa de variedades modernas de trigo cultivado (ver revisión por Dubcovsky y Dvorak 2007).

Aspectos Genéticos de la Domesticación

La serie de cambios en los cultivos de semillas característicos de la domesticación a veces se denomina el “síndrome de la domesticación” (Hammer 1984), y la identificación de los genes implicados en el control de estos rasgos ha sido objeto de considerable interés durante muchos años. La Tabla 2.4 enumera los principales rasgos involucrados en el síndrome de la domesticación de dos cultivos: trigo y guisante.

Varios de los rasgos asociados con la domesticación están controlados solo por unos pocos genes. El no desgrane en el arroz está bajo el control de un solo locus, mientras que, en el sorgo, el mijo perla y la cebada existen dos loci. Los genes implicados en estos ejemplos son todos recesivos. El crecimiento determinado e indeterminado en el maíz y el frijol común está bajo el control de uno o dos genes, al igual que las ramificaciones en el girasol y el sésamo (Hancock 2004). Aun cuando se piensa que los rasgos son regulados por un mayor número de genes, a menudo los análisis de QTL (Loci de Características Cuantitativas) han demostrado que unos pocos loci tienen gran influencia para cada rasgo investigado (véase, por ejemplo, Koinage et al. 1996 para el frijol común).

Los genes que controlan la variación en los diferentes rasgos asociados con la domesticación se comprenden cada vez más gracias al mapeo con resolución fina, la clonación de genes y otras técnicas moleculares. Un panorama más diverso y complejo está emergiendo. Por ejemplo, Weeden (2007) concluyó que la domesticación del guisante involucraba un mínimo de 15 genes conocidos, en adición a los relativamente pocos loci que gobiernan los principales rasgos cuantitativos. Los genes difieren de los que participan en la domesticación del haba, lo que sugiere que no había una base genética común para el síndrome de la domesticación en Fabaceae. Vaughan et al. (2007) observaron que los rasgos de los alelos de la domesticación a menudo se pueden encontrar en las poblaciones de especies silvestres, que los reguladores de la transcripción que participan en la domesticación frecuentemente pertenecen a diferentes familias de reguladores transcripcionales, y que los genes y la duplicación del genoma han sido importantes.

La caracterización molecular, en particular los QTLs –genes múltiples que afectan una característica fenotípica particular– se ha utilizado como un método principal para comprender la base genética de la domesticación en las plantas

(ver el Capítulo 5 para una descripción más detallada de los métodos moleculares). Los rasgos que fueron objeto de selección y los genes que los afectan han sido llamados “genes de domesticación”. Uno de los primeros genes de domesticación estudiados, *teosinte ramificado 1 (tb1)*, fue el gen que afecta la dominancia apical en la arquitectura del maíz, permitiendo la presencia de ramas en lugar del único tallo dominante de su pariente silvestre, *teosinte*.

TABLA 2.4. ALGUNOS CARACTERES ASOCIADOS CON EL “SÍNDROME DE LA DOMESTICACIÓN” DEL TRIGO Y EL GUISANTE.

<i>Trigo</i>	<i>Guisante</i>
Pérdida del desgrane	Vainas indehiscentes
Pérdida de glumas duras	Incremento en el tamaño de la semilla
Aumento en el tamaño de la semilla	Reducción de la altura de la planta
Reducción en el número de tallos múltiples	Reducción del número de ramas basales
Crecimiento más erecto	Día neutral
Reducción de la dormancia de las semillas	Reducción de la dormancia de la semilla

Adaptado para el trigo de Dubcovsky y Dvorak (2007) y el guisante de Weeden (2007).

El análisis de QTL también permite la detección de regiones genómicas asociadas con rasgos de domesticación y nos ayuda a entender si los cambios en la domesticación se deben a muchos cambios de efectos pequeños o algunos cambios de gran efecto (los efectos más grandes son los rasgos controlados por al menos el 20 por ciento de la varianza fenotípica en el mapeo de la población). Los QTL han demostrado que, en los cultivos anuales, varios rasgos de la domesticación provienen de relativamente pocos cambios de mayor efecto, pero esto no es universal (Burger et al., 2008). Por ejemplo, diez loci controlan el rasgo de domesticación del desgranamiento en el maíz, tres loci en el arroz, pero solo un locus en el sorgo (Zeder et al. 2006).

Centros de Diversidad y Centros de Origen

En las primeras décadas del siglo XX, el botánico agrícola ruso N. I. Vavilov y sus colaboradores llevaron a cabo una serie de investigaciones muy extensas sobre una amplia gama de plantas de cultivo. Vavilov creía que la producción de cultivos en Rusia (más tarde la URSS) necesitaba la introducción de

la diversidad de cultivos en el mayor rango posible de entornos, para enfrentar el desafío de desarrollar variedades mejoradas adaptadas a la gama de entornos de producción que se encontraban en el país. Las propias expediciones de Vavilov lo llevaron primero a todas las diferentes partes de Rusia, especialmente al Cáucaso y Asia Central, y luego a países vecinos como Afganistán y Turquía, así como a otras partes del Oriente Medio, y a los países del Mediterráneo. También visitó Etiopía, el Lejano Oriente (especialmente China, Japón y Corea), América del Sur y Central (Vavilov 1997). Estas exploraciones fueron ampliadas por sus colegas y dieron como resultado la acumulación por parte del Instituto de Plantas Industriales de la Unión (VIR, más tarde Instituto Vavilov) de una de las colecciones de diversidad de plantas más grandes que se haya reunido.

A partir de las observaciones realizadas durante estos viajes y estudios realizados en la URSS sobre la diversidad genética de los materiales recolectados, Vavilov identificó áreas del mundo que describió como centros de diversidad genética. Sugirió que estos también eran centros de origen de cultivos mayores (Vavilov 1929, 1945-50). Estos tendían a estar en áreas montañosas con evidencia de civilizaciones antiguas. Incluyeron México y el norte de América Central, América Central, los Andes centrales, la cuenca mediterránea, Asia Occidental (incluido el Cáucaso), Asia Central, las tierras altas de Etiopía, el subcontinente indio, el sudeste asiático y China (figura 2.1). Análisis adicionales han revelado una imagen mucho más compleja. En algunos casos, los centros de origen y diversidad parecen coincidir, pero en otros no parece ser así. Reconociendo que en algunos cultivos la diversidad estaba mucho más ampliamente distribuida, Harlan (1971) sugirió que había dos centros de diversidad que estaban bastante localizados y otros denominados no-centros que estaban mucho más ampliamente distribuidos en todo un continente, como en el caso de sorgo en África o el banano en el sudeste de Asia.

Los análisis genéticos moleculares de supuestos parientes silvestres ancestrales y de variedades tradicionales están comenzando a proporcionar nueva información sobre la posible ubicación de algunos de los principales eventos de domesticación. Sin embargo, la evidencia molecular debe leerse con cautela. La evidencia arqueobotánica indica que la domesticación ocurrió durante un largo período de tiempo, y probablemente estuvo acompañada de muchos cambios en la dirección y el grado de selección, y variaciones en las prácticas de mantenimiento a medida que las comunidades y civilizaciones se desarrollaron o sufrieron reveses. La evidencia molecular a menudo indica que la ubicación de los supuestos centros de origen de muchos cultivos frecuentemente se encontraba en los márgenes de los centros de aparente diversidad identificados por



Figura 2.1. Ocho centros de origen de plantas cultivadas propuestos por Vavilov: (1) China; (2) India; (2a) región Indo-Malaya; (3) Asia Central, incluidos Pakistán, Punjab, Cachemira, Afganistán y Turquestán; (4) Cercano Oriente; (5) Mediterráneo; (6) Etiopía; (7) sur de México y América Central; (8) América del Sur (8-Ecuador, Perú, Bolivia, 8a-Chile, 8b-Brasil-Paraguay) (de Harlan 1971, reimpresso con permiso de la AAAS).

Vavilov. El concepto de centros de diversidad ha demostrado ser de gran valor para ayudarnos a comprender los patrones de diversidad observados, concentrar los esfuerzos de recolección y conservación, y buscar variaciones potencialmente útiles o rasgos específicos de valor potencial para los obtentores.

El Movimiento de Cultivos Alrededor del Mundo

La distribución de la diversidad genética en los cultivos no es fija. Cultivos y variedades han sido transportados por agricultores y sociedades a lo largo de la historia. La revolución agrícola del Neolítico que comenzó en la Creciente Fértil se movió a través de la región mediterránea y Europa, y la evidencia de los primeros restos de cultivos en diferentes partes de Europa nos da una idea de qué tan rápido pudo haber ocurrido y cuándo se estableció la agricultura en diferentes áreas. Los primeros sitios con el complejo domesticado de trigo, cebada, lenteja y frijol haba encontrados en el sur de Turquía y Siria datan de hace unos 10,000 años. Hace 6,000 años este complejo había llegado a Grecia y luego

a Italia; los cultivos más adaptados a los climas del norte (trigo y cebada) se han encontrado en sitios de Gran Bretaña que datan de hace 3,000 años (Zohary y Hopf 1988). Movimientos similares de cultivos individuales o de complejos de cultivos se han rastreado para muchas especies diferentes. A medida que se movían los cultivos, se desarrollaron nuevos patrones de diversidad genética. Con frecuencia esto implicó una mayor pérdida de diversidad en nuevas áreas ocupadas por el cultivo y la acumulación de nuevas mutaciones asociadas con las necesidades de los agricultores, o la adaptación a nuevos ambientes de producción.

Una de las características más intrigantes de la distribución de la diversidad genética de los cultivos es la existencia de los denominados centros secundarios de diversidad. Estas son áreas de alta diversidad de especies de cultivos particulares que se pueden encontrar lejos de otros centros donde el cultivo parece haber evolucionado. Etiopía, por ejemplo, parece ser un centro secundario de diversidad para varios cultivos, incluida la cebada, el trigo y las lentejas, así como un centro primario de diversidad para tef y *Brassica carinata*. La región central de los Andes, además de ser un centro primario de diversidad para la papa, también es un centro secundario para el maíz.

Los movimientos de especies de plantas y animales apoyados por el hombre a través de los continentes comenzaron no mucho después del establecimiento de especies domesticadas en sus centros de origen. El paquete de cebada, trigo, guisante, lenteja, arveja, haba, lino y vides del Cercano Oriente se extendió a lo largo de las costas del Mediterráneo, el Danubio y hacia abajo en el Rin, noreste de la India y al sur a través de Arabia y Yemen y en Etiopía. Hace 4,000 años, el complejo había llegado a China. Los restos de plantas carbonizadas excavados en la India y fechados hace aproximadamente 4,600 años han sido identificados como granos de cultivos de mijo domesticados en África en el límite sur del Sahara (Zeder et al. 2006). Se estima que el banano, domesticado en el sudeste de Asia, se introdujo en el este de África hace al menos 3,000 años (Zeder et al. 2006). En el otro lado del mundo, la mandioca, los tubérculos y el maíz se han encontrado en Panamá en un sitio de bosque tropical que data de hace más de 5,000 años. Este complejo de cultivos se había extendido desde Brasil en un par de miles de años (Piperno et al. 2000).

En períodos posteriores, los cultivos se movieron a través del continente euroasiático después del comercio floreciente a lo largo de las rutas de la Ruta de la Seda; las especias se trasladaron de Asia al Cercano Oriente y Europa por medio de rutas marítimas y terrestres desde la Antigüedad temprana hasta el período Medieval. Una antigua red comercial del Océano Índico que une a África, Arabia, el sur de Asia y los asentamientos más al este se puede rastrear a través de

la investigación genética y arqueobotánica. El movimiento temprano de la soya está vinculado a la difusión del budismo en toda China y luego desde China a otros países del sur y sudeste de Asia (Du Bois et al. 2008).

El mayor y más rápido movimiento de cultivos se asoció con el desarrollo de vínculos entre América y Europa siguiendo los viajes de Colón en lo que se conoce como el Intercambio Colombino (Crosby 2003). Como se señaló, algunos movimientos y adopciones ocurrieron muy rápidamente mientras que otros aparentemente tomaron más tiempo. Este movimiento de cultivos condujo al establecimiento de nuevos centros secundarios de diversidad. Por ejemplo, las variedades de frijol común encontradas en África oriental son extraordinariamente variables como resultado de la transferencia de materiales de los dos grupos de genes diferentes en América del Sur y su posterior mezcla, entrecruzamiento y selección por parte de los agricultores locales. En sus nuevos entornos, varios cultivos desarrollaron características significativamente cambiantes, y las nuevas mutaciones adaptativas fueron supuestamente identificadas y reparadas por los agricultores en las nuevas ubicaciones. Por lo tanto, aunque las papas del norte de Europa tienen niveles de diversidad relativamente bajos en comparación con las encontradas en los Andes, donde se originaron, poseen genes que las adaptan a las condiciones de día largo de su nuevo entorno.

Es interesante la rapidez con que algunos cultivos se convirtieron en partes establecidas de los sistemas de producción agrícola europeos (y estadounidenses). En una serie de frescos pintados por Giovanni da Udine a partir de un diseño de Rafael en Roma alrededor de 1517 (25 años después del primer viaje de Colón al Nuevo Mundo), ya se puede encontrar maíz y frijoles bellamente representados, aunque todavía no hay papa ni tomate (Caneva 1992).

Domesticación y Análisis de la Diversidad en Variedades Tradicionales

El grado de domesticación, o la medida en que un cultivo posee todos los rasgos que consideramos que representan la expresión más completa de la domesticación, varía significativamente de un cultivo a otro. Algunos cereales como el tef todavía poseen una semilla pequeña, que es difícil de manejar; muchos “domesticados”, como los diferentes tipos de yuca, aun poseen toxinas perjudiciales para los humanos que requieren un tratamiento especial antes del uso. La dehiscencia de las vainas que contienen las semillas puede estar ausente (como en el caso del ajonjolí) o ser solo parcial. El grado de domesticación de los diferentes cultivos de frutales también es muy variable; algunos, como la man-

zana, están muy adaptados al cultivo intensivo en una amplia gama de entornos, mientras que otros conservan muchas de las características de su antecesor silvestre. En el caso del trigo o el arroz, han transcurrido unas 10,000 generaciones desde los acontecimientos originales que rodearon su domesticación, mientras que, en el caso de los cultivos de frutales de larga duración mantenidos en patrones, el número de generaciones en las que ha tenido lugar la selección para sus características cultivadas es mucho menor y puede ser solo del orden de decenas de generaciones.

La domesticación continúa hoy en día dentro y alrededor de los sistemas agrícolas tradicionales y mediante esfuerzos deliberados de mejora para desarrollar nuevos cultivos. Ejemplos de los primeros incluyen la selección continuada de ñames desde los márgenes del bosque, donde se pueden encontrar especies silvestres y malezas, por agricultores de África Occidental, y la introducción de nuevos árboles frutales silvestres en huertos caseros en Guatemala (Galluzzi et al. 2010).

Los primeros agricultores probablemente ejercieron presión de selección para crear materiales más uniformes, y es probable que, bastante temprano en el proceso de domesticación, comenzaron a surgir variedades más o menos diferentes. Se puede formular la hipótesis de que la selección temprana de este tipo se centró en propiedades o rasgos relacionados con el uso, como el período de madurez, lo que facilitó el manejo y la cosecha del cultivo. En cualquier caso, es posible que, al comienzo del proceso de domesticación hayan comenzado a surgir variedades más o menos diferentes. En el momento de las primeras descripciones escritas de los cultivos (por los griegos hace unos 2,500 años), el concepto de variedades estaba bien establecido y sus propiedades bien conocidas.

Es probable que la naturaleza y la evolución del sistema de reproducción de un cultivo sean de gran importancia para el surgimiento de las primeras variedades tradicionales. Mientras que los sistemas completamente abiertos de exogamia, como la autoincompatibilidad, proporcionan recombinación sexual y la generación de diversidad, por otro lado, arriesgan la falta de polinización adecuada, la seguridad de la producción de frutos o semillas y la producción de propágulos con un rendimiento predecible. La reproducción clonal y la autofertilidad permiten escapar de esta incertidumbre sexual, pero bajo reproducción clonal se congelan los genotipos completamente, o parcialmente bajo autofecundación. Ambos mecanismos reproductivos favorecen la aparición de distintos linajes o variedades, que han sido seleccionados por los agricultores y que pueden nombrarse y tener cierta durabilidad.

Comprender los procesos de domesticación y los genes implicados en la domesticación proporciona información importante sobre las formas en que se puede abordar mejor el análisis de la diversidad de las variedades tradicionales. El conocimiento de la existencia de diferentes linajes en un cultivo, de diferentes orígenes en la historia de la producción de cultivos y de los genes involucrados en la domesticación puede ayudar a orientar las investigaciones sobre el mantenimiento de la diversidad dentro de los sistemas agrícolas y la mejora de los materiales locales mediante la introducción de nueva variación. Del mismo modo, la identificación de los centros de diversidad ha centrado la atención en la importancia de algunas partes del mundo como áreas de particular importancia para la conservación en fincas o como fuentes potencialmente ricas en variación útil.

Lecturas Adicionales

- Barker, G. 2009. *The Agricultural Revolution in Prehistory*. Oxford University Press.
- Harris, D. R., y G. C. Hillman, Eds. 1989. *Foraging and Farming: The Exploitation of Plant Resources*. Unwin and Hyman, London.
- Meyer, R. S., A. E. DuVal, y H. R. Jensen. 2012. "Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops." *New Phytologist* 196:29–48.
- Miller, A. J., y B. L. Gross. 2011. "From forest to field: perennial fruit crop domestication." *American Journal of Botany* 98:1389–414.
- Pickersgill, B. 2007. "Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics." *Annals of Botany* 100:925–40.
- Purugganan, M. D., y D. Q. Fuller. 2009. "The nature of selection during plant domestication." *Nature* 457:843–48.
- Smartt, J., y N. W. Simmonds, Eds. 1995. *Evolution of Crop Plants*, 2nd ed. Longman Scientific and Technical, Harlow.



Ilustración 2. La domesticación es el resultado de la selección humana. Las preferencias culturales y sociales de las personas fueron fundamentales para el desarrollo de la gran variedad de tipos domesticados que se encuentran hoy en muchos cultivos. La foto superior izquierda muestra variedades de papa en Ecuador en los Andes Centrales, mientras que la foto en la esquina superior derecha muestra variedades de mijo (*Eleusine coracana*, una especie desatendida y subutilizada) en Bangalore en el estado de Karnataka, India, sudeste asiático. Tanto los Andes Centrales como el sudeste asiático se consideran dentro de dos de los centros de diversidad genética de cultivos identificados por Vavilov. La foto de abajo a la izquierda muestra el proceso de domesticación en curso, ya que un agricultor ha extraído ñame silvestre (*Dioscorea minutiflora*) de los matorrales para plantar en su huerto familiar en el distrito de Kitui, provincia oriental de Kenia. La foto inferior derecha muestra a un campesino examinando una manzana silvestre (*Malus sieversii*) en el distrito de Parkent, provincia de Tashkent, Uzbekistán, otro centro de Vavilov. Los agricultores de Asia Central continúan llevando parientes silvestres de árboles frutales a sus sistemas de producción, tanto para material de raíces como para injertos. Créditos fotográficos: J. Tuxill (arriba a la izquierda), S. Padulosi (arriba a la derecha), Y. Morimoto (abajo a la izquierda), D. Jarvis (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 3

Recursos Fitogenéticos, Conservación y Política:

Una Historia de los Desarrollos Internacionales y Nacionales que Apoyan la Conservación y el Uso de la Diversidad de los Cultivos

Al final de este capítulo, el lector debe haber comprendido:

- Las diferentes ideas sobre la conservación de los recursos fitogenéticos.
- Cómo esas ideas afectan las actuales políticas y enfoques nacionales e internacionales para apoyar el manejo y el uso de los recursos genéticos en fincas.

Naturaleza, Biodiversidad y Recursos Genéticos

En este capítulo revisamos algunos aspectos de los desarrollos internacionales y nacionales en la conservación de los recursos genéticos de los cultivos que han dado forma a los debates y perspectivas actuales sobre la conservación de las variedades de cultivos tradicionales. Las diferentes formas en que los pueblos indígenas, las comunidades rurales, los programas nacionales sobre recursos genéticos y las organizaciones o acuerdos internacionales abordan las cuestiones de conservación y uso son importantes cuando se desarrolla el trabajo para ayudar a comprender y apoyar el mantenimiento de la diversidad de los cultivos. Comprender los intereses y necesidades, a veces contradictorios, de los diferentes actores involucrados en la generación, conservación y uso de la diversidad de cultivos es necesario para definir e implementar medidas sensatas orientadas a la conservación y uso sostenible de la diversidad de los cultivos.

Existe un marcado contraste entre la visión esencialmente utilitaria de los recursos genéticos, es decir, los recursos que deben administrarse, implementar-

se y utilizarse para alcanzar objetivos específicos, tales como mayor rendimiento y mayores ingresos (esta visión ha caracterizado gran parte de los esfuerzos de los involucrados en desarrollo de programas nacionales de trabajo sobre recursos fitogenéticos) y las opiniones de los pueblos indígenas o de muchas comunidades rurales. Muchas sociedades tradicionales consideran que los seres humanos son una parte inseparable de la naturaleza, que viven en armonía con ella. Por ejemplo: “Cada semilla se despierta y también lo es toda la vida animal. Es a través de este poder misterioso que nosotros también tenemos nuestro ser y, por lo tanto, cedemos a nuestros vecinos animales el mismo derecho que a nosotros mismos, a habitar esta tierra” (Sitting Bull). Esta perspectiva ha llevado a un gran desacuerdo entre los pueblos indígenas y los gobiernos sobre las formas en que se deben abordar el mantenimiento y el uso de la biodiversidad. Como un comentarista ha notado:

Las profundas diferencias culturales, epistemológicas (formas del conocimiento), ontológicas (formas de existencia) y cosmológicas (formas de relacionarse con el mundo) de la Cultura de la Semilla Comercial integrada en las Sociedades Occidentales (ized) y las Culturas de Semillas Nativas integradas dentro de las tierras agrícolas de los Pueblos Indígenas, no han sido consideradas, desde su inicio, por el sistema de redes transnacionales de Investigación, Extensión, Educación, Ciencia, Conocimiento y Tecnología Agrícola y sus respectivos sistemas dominantes, exclusivos, teorías de asimilación y paradigmas del desarrollo rural/agrícola. (Tirso Gonzales en Tauli-Corpuz et al. 2010).

Ha habido divisiones similares entre los involucrados en la conservación de la biodiversidad. En un extremo, se considera que los humanos tienen una responsabilidad con la naturaleza y que se deben encargar de su manejo para las generaciones futuras. En el otro extremo hay perspectivas que ven a los humanos como parte de la naturaleza, como se refleja en las perspectivas presentadas por aquellos que apoyan una ecología profunda, los que argumentan que el mundo natural es un equilibrio sutil de interrelaciones complejas donde la existencia de unos organismos depende de la existencia de otros dentro de los ecosistemas (Næss 1989). Se ha argumentado que los acuerdos internacionales actuales, como el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), y las formas en que se implementan, tienden a confirmar la opinión de que la biodiversidad es algo que debe manejarse, que se puede poseer y puede brindar un beneficio económico.

La diversidad de los cultivos debe su existencia a la intervención, manejo y selección continua por parte de los humanos. En este sentido, podría considerarse como el resultado del dominio humano sobre la naturaleza. Esta perspectiva se

refleja en el concepto de recursos fitogenéticos, que ha enmarcado gran parte del esfuerzo internacional y nacional para conservar la diversidad de los cultivos, sin embargo no es un concepto que muchos pueblos indígenas acepten como apropiado. Incluso entre aquellos que se sienten cómodos con el concepto de recursos genéticos –como algo creado por campesinos, pastores y mejoradores de plantas en todo el mundo– existen diferencias sustanciales de opiniones con respecto al control, la propiedad, el manejo y las formas en que los beneficios de su uso deben ser aprovechados. Por lo tanto, la conservación de variedades de cultivos tradicionales en fincas se encuentra en un intrincado paisaje sociopolítico. Este capítulo resume la historia de la conservación de los recursos fitogenéticos desde una perspectiva internacional, a fin de presentar algunos de los principales debates y puntos de desacuerdo que afectan el trabajo de conservación en fincas.

La biodiversidad es una palabra o concepto relativamente nuevo: una contracción de la diversidad biológica, que se utilizó por primera vez en los años ochenta (véase el cuadro 3.1). De hecho, algunas de las palabras clave utilizadas para describir los conceptos clave de la conservación de la diversidad biológica de los cultivos (como biodiversidad, *in situ* y *ex situ*) son relativamente nuevas. El término “recursos genéticos de plantas” no existía antes de la década de 1960. La idea de conservar deliberadamente materiales biológicos fuera de su hábitat natural o como parte de su hábitat natural (conservación *ex situ* e *in situ*) también es reciente. La conservación, utilizada en el sentido del mantenimiento a lo largo del tiempo de la diversidad biológica, es en sí misma un concepto relativamente reciente y, en la literatura anterior, fue utilizada como sinónimo de preservación, llevando consigo la idea de un conservador, alguien con responsabilidad sobre un área como la naturaleza.

El desarrollo de programas deliberados para apoyar la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos y las variedades tradicionales ha ido acompañado de considerables debates, a menudo fuertes, que han cubierto una serie de aspectos diferentes. Éstos incluyen:

1. La forma en que se percibe la biodiversidad agrícola. ¿Es una parte de la naturaleza que incluye a la humanidad y al resto de los elementos más amplios del paisaje (ver, por ejemplo, el enfoque de la ONG ANDES: <http://www.andes.org.pe/es/>), una parte de la diversidad biológica total (o biodiversidad), o un recurso desarrollado por humanos para su manejo y uso posterior (un recurso genético)?
2. La propiedad de los materiales. ¿La agrobiodiversidad y las variedades tradicionales pertenecen a agricultores, pastores, habitantes del bosques

Cuadro 3.1. Definiciones de Diversidad Biológica

El término “diversidad biológica” fue utilizado primero por el científico y conservacionista de la vida silvestre Raymond F. Dasmann en el libro de 1968 “Un tipo diferente de país abogando por la conservación”. El término fue ampliamente adoptado solo después de más de una década, cuando en la década de 1980 entró en la ciencia y la política ambiental como uso común. Thomas Lovejoy, en el prólogo del libro *Biología de la Conservación*, introdujo el término a la comunidad científica. Hasta entonces, el término “diversidad natural” era común, introducido por la división de ciencia de La Conservación Natural (TNC) en un importante estudio de 1975, *La Preservación de la Diversidad Natural*. A principios de los años ochenta, el programa de ciencia de TNC y su jefe, Robert E. Jenkins, junto con Lovejoy y otros destacados científicos conservacionistas de los Estados Unidos en aquel momento defendían el uso de la “diversidad biológica”.

La forma contraída del término -biodiversidad- puede haber sido acuñada por W. G. Rosen en 1985 mientras se planificaba el Foro Nacional sobre Diversidad Biológica de 1986 organizado por el Consejo Nacional de Investigación (NRC). Apareció por primera vez en una publicación en 1988 cuando el entomólogo E. O. Wilson lo utilizó como el título de las actas de ese foro.

y pescadores que han estado involucrados en su desarrollo y mantenimiento durante siglos, a los países en los que se encontraron los recursos (en su mayoría países del sur en desarrollo) o son estos recursos el patrimonio natural de la humanidad, la visión expresada por aquellos al estar trabajando en la conservación de los recursos genéticos en la década de 1960?

3. Las formas en que los agricultores, las comunidades, los fitomejoradores y, en la actualidad, los ingenieros genéticos deben ser reconocidos y recompensados por sus contribuciones a la evolución y mejora continuas de las variedades de cultivos y las formas en que esas variedades pueden ser protegidas.
4. La importancia de las entidades individuales (como las variedades o poblaciones tradicionales) como cosas en sí mismas o como base para la selección futura versus su papel como parte de los ecosistemas agrícolas en funcionamiento, que junto con todos los demás componentes brindan una gama de beneficios o servicios.

Cazadores de Plantas y Recolectores de Plantas

Como se mencionó en el Capítulo 2, las plantas de cultivo se han movido alrededor del mundo junto con los movimientos de las personas. Se extendieron

desde sus primeros centros de domesticación, se cambiaron por la mezcla y el entrecruzamiento con nuevas formas, se adaptaron a los nuevos entornos y se convirtieron en parte del desarrollo de nuevas culturas adaptadas a las nuevas prácticas de producción. El trigo y la cebada se extendieron por Europa desde el Medio Oriente, de modo que, por 4,500-5,000 años atrás, parece que se cultivaron en el centro de Inglaterra y, en la época romana, se exportaron a Roma. Los romanos trajeron nuevos cultivos a Italia de sus conquistas en todo el Mediterráneo. Incluso si las plantas en sí no se introdujeron, se trajeron de vuelta productos vegetales como mirra, incienso y especias como resultado del comercio. Más tarde, cuando el Islam se extendió por el Mediterráneo en los siglos VIII y IX, cultivos como la berenjena, la espinaca y la sandía se introdujeron en Sicilia y España. La Gran Ruta de la Seda proporcionó una ruta para la transferencia de productos y semillas desde el este de Asia hacia Europa durante muchos siglos.

En las Américas tuvo lugar una difusión similar de cultivos. El maíz, el frijol, la calabaza, el pimiento, el cacao, la papa y la yuca son ejemplos de cultivos que se diseminaron desde las áreas donde se creía que estaban domesticados a una gama mucho más amplia de ambientes dentro del continente (Sauer 1993). Una importante nueva difusión de cultivos comenzó con el establecimiento de conexiones entre Europa y las Américas a fines del siglo XV. Maíz, frijol común, pimiento, tomate y, más tarde, yuca comenzaron a cultivarse en el Viejo Mundo, mientras que los cultivos europeos fueron llevados al Nuevo Mundo por los primeros exploradores y colonos de Inglaterra, Escocia, Francia, España y Portugal.

La transferencia de nuevos cultivos potencialmente útiles y variedades de cultivos continuó con el crecimiento del comercio internacional en los siglos XVIII y XIX. Algunas veces, esto tuvo lugar como parte de una búsqueda de nuevos cultivos para ambientes particulares bajo el control de las principales potencias del momento (como el té en Sri Lanka). A veces fue un intento deliberado de romper los monopolios existentes, como en el caso del caucho, unas 70,000 semillas fueron llevadas por Sir Henry Wickham de Brasil a Kew, Londres, en la década de 1870 y luego distribuidas a Sri Lanka, Malasia y otras áreas de producción potencial. La mayor parte de la atención se centró en los cultivos de plantaciones de alto valor potencial, como el algodón, la caña de azúcar y los cultivos oleaginosos, pero también hubo un interés creciente en las plantas ornamentales.

La investigación en mejoramiento y cruzamiento de plantas se hizo cada vez más importante durante la primera mitad del siglo XX y, como parte de esta empresa, los fitomejoradores comenzaron a desarrollar colecciones de algunos

cultivos importantes, por ejemplo, trigo, cebada, maíz y caña de azúcar. Estas colecciones se usaron para identificar rasgos deseables y como base para el cruce y la selección. Tal vez los mejores practicantes de este enfoque fueron Vavilov y sus colaboradores en la Oficina de Botánica Aplicada en Rusia.

De cientos de misiones de exploración genética en Rusia, la URSS y en todo el mundo, estos recolectores trajeron muestras de una amplia variedad de cultivos, que cultivaron, estudiaron y utilizaron en experimentos de cruzamiento para desarrollar nuevas variedades. Para 1940, el Instituto de Botánica Aplicada y Nuevos Cultivos de la Unión había acumulado una colección de más de 250,000 accesiones de muchos cultivos, incluyendo 30,000 solo para el trigo. Estos se cultivaron en estaciones y subestaciones en toda la Unión Soviética sobre la base de sus demandas con el almacén central de semillas en Leningrado (ahora San Petersburgo). Vavilov utilizó esta gran empresa para desarrollar una comprensión geográfica de la variación en términos de distribución y diversidad de genes y alelos, y desarrolló el concepto de centros de diversidad y origen de los cultivos (ver Capítulo 2). Las descripciones detalladas de la variación en muchos cultivos mayores se publicaron entre 1935 y 1941 (Loskutov 1999).

Los contemporáneos de Vavilov en Europa y América (por ejemplo, Stubbe en Alemania, Percival y Hawkes en el Reino Unido, Harry Harlan en los Estados Unidos) estaban llevando a cabo actividades similares y desarrollando colecciones considerables de variedades tradicionales obtenidas de todo el mundo. Estas colecciones se utilizaron tanto para la investigación sobre evolución y genética como para la base de programas de mejoramiento en los diferentes países de Europa. A fines de la década de 1920 y durante la mayor parte de la década de 1930 parece haber existido intercambio de visitas, bastante frecuentes, de estos investigadores científicos a sus respectivos institutos y laboratorios e intercambio de materiales vegetales. Bateson, LR Jones y Muller de los Estados Unidos, Hawkes del Reino Unido y Frankel de Nueva Zelanda visitaron el instituto de Vavilov durante la década de 1930, y Vavilov continuó sus propios viajes a los laboratorios de otros hasta que los acontecimientos políticos se lo impidieron en la segunda mitad de la década de 1930.

Además de proporcionar datos genéticos, arqueológicos y evolutivos, estos programas de recolección en las regiones con los más ricos recursos genéticos fueron parte de la búsqueda modernista para crear variedades mejoradas de cultivos y que, según se argumentó, ayudarían a crear un mundo nuevo y a construir el “hombre nuevo” (Flitner 2003). La empresa era firmemente utilitaria, con el objetivo de proporcionar nuevas variedades para la agricultura en los países involucrados. La escala de la empresa de Vavilov reflejó el tamaño y

la diversidad climática y agrícola de la nueva Unión Soviética y la necesidad de cultivos y variedades adecuadas para cada parte del país.

Aunque la preocupación de estos coleccionistas, investigadores y mejoradores era por el futuro y por la forma en que los recursos que recolectaban podían ser utilizados para la futura mejora de la agricultura y la humanidad, no siempre desconocían el otro lado de la imagen: la pérdida potencial de los recursos causada por el éxito mismo de su empresa. Harry Harlan había notado ya en 1936 en una monografía sobre la cebada:

Las progenies de estos campos con todas sus variaciones sobrevivientes constituyen el reservorio de germoplasma de valor incalculable del mundo. Ha esperado durante largos siglos. Desafortunadamente, desde el punto de vista del mejorador, ahora está en peligro. Cuando las nuevas cebadas reemplacen las cultivadas por los agricultores de Etiopía o el Tíbet, el mundo habrá perdido algo irremplazable (Harlan y Martini 1936).

La Segunda Guerra Mundial interrumpió este esfuerzo, que surgió con renovada urgencia después de la guerra frente a la hambruna en Europa y en otras partes del mundo. La necesidad percibida de la mayoría de los países era asegurar que poseyeran la capacidad y los recursos para colocar su agricultura en una base firme y productiva. Hubo una importante inversión estatal en investigación agrícola en todo el mundo. La capacidad agrícola de las colonias fue desarrollada por las naciones colonizadoras con énfasis en plantaciones de cultivos útiles para sus imperios. En Europa se hizo hincapié en garantizar que la hambruna nunca regresara, y la mayoría de los países invirtió fuertemente en la agricultura. Una parte de esta inversión implicó un mayor desarrollo de las colecciones. En Europa del Este y la Unión Soviética, las colecciones continuaron desarrollándose y manteniéndose, aunque el dominio de los enfoques de Lysenkoist limitó severamente la forma en que se utilizaron las colecciones. En la década de 1960 hubo importantes colecciones en Alemania del Este, Italia, los Países Bajos, Reino Unido y varios otros países.

Conservando los Recursos Fitogenéticos

El Desarrollo y la Evolución de los Programas Nacionales de Recursos Fitogenéticos

En los años ochenta y noventa se produjo un notable desarrollo de actividades en los países para conservar y utilizar los recursos fitogenéticos (véase el cuadro 3.2). A medida que estos esfuerzos se formalizaron más, se les reconoció

como establecidos programas nacionales de recursos fitogenéticos o sistemas nacionales de recursos genéticos, es decir, los diferentes componentes identificados como necesarios para el mantenimiento y uso de los recursos fitogenéticos. Estos componentes variaban, pero generalmente incluían: un banco de germoplasma *ex situ*, un sistema de información, un programa de investigación, algunas actividades identificadas de creación de capacidades y un procedimiento de manejo y toma de decisiones que supervisaba estas actividades y participaba en debates y procesos de conservación regionales o internacionales. Los programas nacionales solían estar integrados en los sistemas agrícolas del país y tenían poca o ninguna relación con las agencias ambientales o con aquellos involucrados en temas de conservación de la biodiversidad.

Las colecciones nacionales de recursos fitogenéticos se desarrollaron en gran parte dentro del marco de las necesidades de los mejoradores y no tenían una preocupación sustancial *per se* con la conservación de los genes o de las variedades recolectadas. Fueron una base para la identificación de nuevos rasgos deseables y la comprensión de la herencia de caracteres útiles, y para su uso como progenitores en los programas de cruce y selección.

Los bancos de germoplasma que están estrechamente asociados con los institutos de mejoramiento o investigación son a menudo los principales proveedores de su germoplasma. Muchos bancos de germoplasma están en el sector público y, como tales, están financiados por los contribuyentes. Las relaciones entre los bancos de germoplasma y la investigación o el mejoramiento pueden conferir ventajas mutuas, ya que los datos de evaluación obtenidos por un instituto de mejoramiento pueden ponerse fácilmente a disposición de un banco de germoplasma aliado y, a su vez, promover el uso de germoplasma. Como consecuencia, tales colecciones a menudo se usan intensivamente. En algunos países, el manejo de las colecciones de los bancos de germoplasma puede estar muy descentralizado y estar estrechamente vinculado a un instituto de investigación o mejoramiento de determinados cultivos. Tales colecciones de bancos de germoplasma pueden ser más propensas a descuidarse a largo plazo, a menos que el gobierno haya asumido la responsabilidad explícita del mantenimiento continuo de tales colecciones descentralizadas. En otros países se han establecido fuertes vínculos entre bancos de germoplasma (nacionales) y actividades de conservación *in situ* y en fincas. Tales arreglos facilitan en gran medida los llamados enfoques de conservación complementarios, fortalecen la interfaz entre naturaleza/campo por un lado y los usuarios por otro, a través de los servicios de los bancos de germoplasma e investigación, y de esta forma promueven el uso de los recursos genéticos conservados.

Cuadro 3.2. Gestión de colecciones de bancos de germoplasma

Los procedimientos apropiados para conservar *ex situ* los recursos fitogenéticos han sido objeto de un considerable cuerpo de investigación, particularmente durante los años ochenta. La metodología de conservación *ex situ* del germoplasma depende de la naturaleza biológica de la planta en cuestión. Las especies que producen las denominadas semillas ortodoxas, es decir, semillas que pueden secarse y almacenarse a bajas temperaturas durante un período prolongado, generalmente se conservarán en los bancos de germoplasma de semillas. Especies que no producen semillas en absoluto y/o que se propagan vegetativamente (y donde el genotipo necesita ser conservado), y/o que producen las llamadas semillas recalcitrantes (es decir, semillas que no se pueden secar sin que mueran, así que no se pueden almacenar), se mantendrán en el banco de germoplasma de campo o se almacenarán como tejidos, embriones o incluso suspensión celular en un banco de germoplasma *in vitro*. Para algunas especies, también el polen se almacena por períodos de tiempo más cortos o más largos. El objetivo de la conservación *ex situ* es mantener las características genéticas de la muestra original, durante el mayor tiempo posible, sin mutación, deriva genética o cambio.

Para los bancos de germoplasma de semillas el proceso involucra:

Limpieza de semillas. La semilla se debe cosechar en las mejores condiciones posibles cuando está completamente madura y luego se limpia de los materiales no deseados con la eliminación de las semillas dañadas o rotas.

Secado. El siguiente paso consiste en secar los diversos lotes de semillas a la velocidad adecuada para evitar el agrietamiento y a la temperatura adecuada para no afectar la longevidad de las semillas. En general, las semillas oleaginosas pueden secarse más que las semillas con almidón, es decir, los contenidos de humedad de la semilla pueden ser tan bajos como el 1 por ciento para semillas oleaginosas y el 3 por ciento o más para semillas con almidón, y se secan a temperaturas entre 15 y 20°C.

Almacenamiento. El almacenamiento de semillas generalmente se lleva a cabo en cámaras frías. La temperatura real depende del objetivo del almacenamiento; para el almacenamiento a largo plazo de germoplasma (material de colección base) generalmente se usa -18°C, mientras que el almacenamiento a mediano plazo (hasta 5-10 años) se puede lograr a una temperatura de 5°C o superior. Los contenedores utilizados deben ser herméticamente sellables y no permitir el intercambio de gases/aire durante el almacenamiento (por ejemplo, bolsas de papel de aluminio de tres capas). También se ha convertido en práctica estándar la subdivisión de las accesiones individuales en submuestras de un tamaño adecuado para su posterior uso y/o distribución. Para semillas pequeñas ortodoxas, así como para material *in vitro*, es posible el almacenamiento a largo plazo mediante el mantenimiento de semillas o cultivos a temperatura ultra-baja, generalmente mediante el uso de nitrógeno líquido (-196°C) en la crioconservación. A esta temperatura, todas las divisiones celulares y los procesos metabólicos se detienen, y, en consecuencia, el material vegetal puede almacenarse sin alteración o modificación durante un período teóricamente ilimitado (Engelmann 1997).

Monitoreo de la viabilidad. Se debe desarrollar un cronograma de pruebas de viabilidad para las diferentes accesiones de semillas almacenadas. Esto permite predicciones relativamente precisas de cuándo la viabilidad de la semilla comienza a bajar por debajo de los umbrales establecidos, permitiendo así la regeneración oportuna de la accesión.

Regeneración. Cuando la viabilidad de las semillas almacenadas cae por debajo del umbral mínimo establecido, o la cantidad de semillas almacenada para una accesión determinada ha descendido por debajo de una cantidad mínima, las accesiones en cuestión deberán sembrarse en condiciones ecológicamente adecuadas para regenerar el germoplasma y/o para aumentar la cantidad almacenada.

Se pueden encontrar procedimientos detallados sobre el secado de las semillas, el almacenamiento y el control de la viabilidad para muchas especies de cultivos en la Base del Conocimiento del Germoplasma de los Cultivos (<http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/>). Las normas para el almacenamiento de semillas en los bancos de germoplasma han sido desarrolladas y recomendadas para su adopción internacional por la FAO y el IPGRI y actualmente están siendo revisadas y detalladas para la conservación en los bancos de germoplasma *in vitro*.

No obstante, el mantenimiento a largo plazo de estas colecciones fue ciertamente un objetivo, y muchas de las colecciones se mantuvieron durante largos períodos de tiempo. La historia del mantenimiento de las colecciones de recursos genéticos durante el asedio de Leningrado frente al hambre de la ciudad es justamente famosa, pero otras colecciones también se mantuvieron cuidadosamente durante largos períodos de tiempo. Por ejemplo, la Colección Mancomunada de Papa mantenida en el Reino Unido se inició como resultado de las misiones de recolección llevadas a cabo en 1938 y 1939 y se conserva hoy en día en el Instituto James Hutton (anteriormente el Instituto Escocés de Investigaciones de Cultivos).

Con los años, los programas nacionales de recursos genéticos han comenzado a asumir amplios mandatos. Los recursos zoogenéticos a menudo se añaden a los recursos fitogenéticos. Además, los programas nacionales consideran no solo la dinámica de la diversidad genética, sino también las interacciones entre las especies cultivadas (a veces también no cultivadas) y los animales de finca, y sobre las funciones de las especies de plantas y animales en el entorno agroecológico general. En resumen, la integración de las actividades del banco de germoplasma en un programa nacional de recursos genéticos amplía la perspectiva, aumenta las responsabilidades del banco de germoplasma y promueve un establecimiento de prioridades más equilibrado y realista. En general, tales programas o sistemas nacionales apuntan a proporcionar una plataforma de coordinación a nivel

nacional para la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos y, por lo tanto, proporcionan una base críticamente importante para las actividades regionales y mundiales (Spillane et al. 1999). No obstante, y a pesar del reconocimiento cada vez mayor de la biodiversidad agrícola por el CDB, la estructura y las operaciones de la mayoría de los programas nacionales siguen dentro de las agencias agrícolas y a menudo están mal conectadas con otras agencias relacionadas con la conservación de la biodiversidad silvestre.

Los orígenes de un Compromiso Internacional para la Conservación de los Recursos Fitogenéticos

A pesar de las primeras alarmas como las de Harry Harlan en la División de Exploración e Introducción de Plantas en los Estados Unidos (Harlan y Martini 1936), la pérdida de recursos genéticos y la necesidad de mantener la diversidad genética comienzan a surgir como problemas internacionales solo a mediados de la década de los 60. Los genetistas y los fitomejoradores parecen haber estado cada vez más conscientes del problema durante la década de 1950, y Jack Harlan llamó la atención sobre la pérdida de esta diversidad durante un simposio sobre recursos genéticos en la Academia Americana de Ciencias en 1959 (Harlan 1961). Durante las décadas de 1960 y 1970, esta preocupación se transformó en una serie de programas e iniciativas que crearon la base de un esfuerzo internacional para los recursos fitogenéticos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), como parte de las Naciones Unidas, comenzó a verse como un foco importante para las actividades relacionadas con la conservación y el uso de los recursos genéticos. En 1957, la FAO lanzó el *boletín de introducción de plantas de la FAO* para alentar la circulación de material genético entre diferentes institutos y, poco después, proporcionó apoyo a los países para recolectar y crear centros regionales de recursos vegetales en Turquía, Etiopía y Afganistán. La Reunión Técnica sobre Explotación e Introducción de Plantas, celebrada en Roma en julio de 1961, fue el primer evento internacional que abordó la cuestión de la pérdida de la diversidad genética. Esto condujo a la creación, en 1965, de un Panel de Expertos en Exploración e Introducción de Plantas. De 1965 a 1974, este grupo se reunió regularmente para asesorar a la FAO sobre este tema y establecer pautas internacionales para la recolección, conservación e intercambio de germoplasma. Luego de esta serie de discusiones internacionales, la FAO estableció una nueva Subdivisión de Ecología Vegetal y Recursos Genéticos dentro de su División de Producción y Protección Vegetal.

El Programa Biológico Internacional (IBP), iniciado en 1964 por el Consejo Internacional de Uniones Científicas con el apoyo de la UNESCO, fue un segundo campo, en sinergia y competencia con la FAO, para la definición de la cuestión de los recursos genéticos y las soluciones relacionadas. El programa incluyó una sección llamada Uso y Manejo de Recursos Biológicos, con un Comité sobre Grupos de Genes de Plantas dirigido por el genetista y mejorador de plantas Otto Frankel. Aunque el IBP estaba fuertemente orientado hacia los enfoques ecológicos y poblacionales, esta parte particular de su programa se centró mucho en los aspectos prácticos de la conservación y el uso desde las perspectivas del mejoramiento de plantas.

El tercer elemento importante fue la creación del Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR). El Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional desarrolló un programa de acción sobre los recursos genéticos en 1972, que condujo a la formación del IBPGR en 1974. Aunque se encontraba en la FAO, el Consejo, en la práctica, era programático y financieramente independiente. Durante los 15 años subsiguientes, se desarrolló una distancia creciente entre la FAO y el IBPGR en el enfoque de muchas cuestiones clave de la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos, y en 1989 la Junta de Dirección del IBPGR acordó separarse completamente de la FAO. Casi cinco años después, en 1994, el IBPGR se convirtió en el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (ahora Bioversity International).

Estos desarrollos internacionales, y las diversas decisiones y recomendaciones hechas por las diferentes organizaciones involucradas, se han descrito como reflejo de una serie de valores dominantes de la época, particularmente:

1. La pérdida de diversidad en los sistemas de producción agrícola (y, por lo tanto, la pérdida de variedades tradicionales) era una consecuencia inexorable y necesaria del desarrollo agrícola. La Revolución Verde aceleró el ritmo de la pérdida y requirió una mayor acción, pero fue una estrategia esencial en los esfuerzos mundiales para alimentar al mundo.
2. Los recursos genéticos son un patrimonio mundial en el que los mejoradores de plantas pueden diseñar sin costo alguno. Las innovaciones varietales se vieron mejor como esfuerzos para reordenar los genes que inicialmente estaban dispersos en múltiples variedades. Debe facilitarse el libre acceso a las variedades en todos los sentidos, y también deben fomentarse los intercambios internacionales de variedades mejoradas.
3. La conservación de los recursos fitogenéticos debería centrarse en el desarrollo de bancos de genes *ex situ* en instituciones de todo el mundo

que podrían ser respaldados internacionalmente y podrían distribuir los materiales que poseen a usuarios potenciales (vistos como mejoradores de plantas y la comunidad de investigadores) .

Todos ellos serían objeto de debate en las próximas décadas.

Debates Políticos sobre Conservación

Durante la década de 1970 y hasta la década de 1980 hubo un creciente debate sobre el enfoque internacional en desarrollo y su dependencia de la conservación *ex situ* en grandes bancos de germoplasma relativamente bien dotados, que se encontraban en su mayoría en el norte o que formaban parte del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). En 1979, Patrick Mooney escribió *Semillas de la Tierra*, en el que denunciaba la erosión genética y la toma de recursos por intereses del norte, y en 1984 fundó el Fondo Internacional de Avance Rural con Cary Fowler. Varios gobiernos de países en desarrollo expresaron su preocupación por el desarrollo de patentes sobre invenciones biotecnológicas, mientras que los recursos genéticos en países en desarrollo eran libres y plantearon dudas sobre la posibilidad de obtener derechos de propiedad intelectual en muestras de colecciones de centros del CGIAR. Mooney observó que “se está invitando al Tercer Mundo a poner todos sus huevos en la canasta de otra persona” (Mooney 1979).

Los problemas de la conservación de los recursos genéticos, vistos hasta entonces como de naturaleza principalmente técnica, se politizaron cada vez más. En 1981, el Grupo de los 77 respaldó una propuesta mexicana en la Conferencia de la FAO, el máximo órgano de toma de decisiones dentro de la FAO (Resolución 6.81 del vigésimo primer período de sesiones de la conferencia de la FAO en noviembre de 1981), convocando a una convención internacional para establecer un nuevo sistema de bancos de germoplasma, independiente de CGIAR, y que pondría nuevamente al IBPGR bajo el control de la FAO. En 1983 se negoció un compromiso internacional sobre recursos genéticos, reafirmando los recursos genéticos como “patrimonio común de la humanidad”. La Comisión de Recursos Fitogenéticos de la FAO se creó ese mismo año para representar mejor a los países en desarrollo y discutir cuestiones de “derechos de los agricultores”. “El IBPGR respondió solo parcialmente a estas críticas y reclamos, a pesar de varias negociaciones entre el CGIAR y la FAO. Si bien se interesó cada vez más por apoyar el desarrollo de programas nacionales y la creación de capacidades, se mantuvo principalmente centrado en la recolección y en los aspectos técnicos de la conservación *ex situ*. Durante la década de 1990, el Instituto Internacional

de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) –sucesor del IBPGR– se volvió cada vez más sensible a las dimensiones políticas sobre conservación y uso de los recursos genéticos y comenzó un extenso programa de trabajo sobre conservación en fincas.

Esquinas-Alcázar et al. (2012) identificaron dos cuestiones principales que dominaron las discusiones en ese momento:

1. Los recursos fitogenéticos se encuentran en todo el mundo, pero la mayor diversidad está en las zonas tropicales y subtropicales, donde se encuentran la mayoría de los países en desarrollo. Cuando las semillas se recolectan y depositan en bancos de germoplasma, a menudo en países desarrollados, ¿a quién pertenecen estas muestras almacenadas? ¿Al país donde se recogen? ¿Al país donde se almacenan? ¿A la humanidad en general?
2. Si las nuevas variedades obtenidas son el resultado de la aplicación de la tecnología a la materia prima o recursos genéticos, ¿por qué se reconocen los derechos de los proveedores de la tecnología (derechos de obtentor, patentes, etc.) y no los derechos de los proveedores de recursos genéticos?

El establecimiento de la Comisión y la firma del Compromiso Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en 1983 crearon un marco para seguir desarrollando las políticas internacionales sobre recursos fitogenéticos. Se vio una necesidad muy real de desarrollar un enfoque que reflejara las realidades de la agricultura y las formas en que los recursos se usaban en la agricultura. El enfoque del CDB sobre la biodiversidad (el Convenio entró en vigor en 1992), que enfatizaba las responsabilidades y los derechos soberanos del país, y el impacto potencial en el uso de los recursos genéticos del Tratado –Aspectos Relacionados con los acuerdos sobre Derechos de Propiedad Intelectual (TRIPS), adoptado en 1994 como parte del Acuerdo para el Establecimiento de la Organización Mundial del Comercio. Como resultado de un largo y difícil conjunto de negociaciones, los miembros de la Comisión acordaron en el 2001 establecer un Tratado sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura con disposiciones que respondan directamente a algunas de las características particulares de la diversidad de cultivos y su manejo y uso (ver a continuación). Además de las cuestiones mencionadas anteriormente, el Tratado tenía que tratar con los derechos de los agricultores sobre los recursos genéticos que, después de todo, los habían desarrollado y mantenido a lo largo de muchas generaciones, y con las formas en que podría hacerse operacional el acceso global a los recursos genéticos a través de un sistema multilateral de

intercambio que trascendiera a los países del CDB basado en el enfoque bilateral para el intercambio de biodiversidad.

Los aspectos técnicos de la conservación también fueron objeto de un debate creciente durante los años 1980 y 1990. Incluso en las primeras discusiones técnicas de la década de 1970 persistió el debate sobre los méritos relativos de los enfoques estáticos de la conservación *ex situ* y la dinámica de conservación *in situ* (ver Pistorius 1997), pero los enfoques *in situ* habían sido descartados en gran parte, sobre todo porque las variedades tradicionales estaban desapareciendo rápidamente como resultado del desarrollo agrícola y el mejoramiento moderno de las plantas (Frankel y Soulé 1981). Sin embargo, en muchos sistemas de producción, los cultivos y las variedades tradicionales persistieron claramente por una serie de razones, y los trabajadores de conservación y muchas ONG que trabajan con agricultores y comunidades comenzaron a argumentar para que su valor fuera reconocido y para que recibieran apoyo (para mayor discusión ver Altieri y Merrick 1987; Brush 2000).

El Convenio sobre Diversidad Biológica y las Perspectivas de los Ecosistemas

La entrada en vigor del CDB en 1992 modificó significativamente las “reglas del juego” internacionales con respecto a la biodiversidad agrícola. El Artículo 1 del Convenio establece:

Los objetivos del presente Convenio, que se perseguirán de conformidad con sus disposiciones pertinentes, son la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos, incluyendo el acceso apropiado a los recursos genéticos y la transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y tecnologías, y mediante un adecuado financiamiento.

Por lo tanto, si bien se ocupa de la diversidad biológica en el sentido más amplio, el Convenio todavía utiliza el concepto de recursos genéticos y hace hincapié en la importancia de una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del uso. Reemplazó el concepto del patrimonio mundial de la humanidad con los derechos soberanos de los países sobre los recursos. Se preveía un sistema por el cual los países regularían el acceso a los recursos dentro de sus fronteras. De hecho, el CDB reconoce (1) la soberanía de los países sobre sus “recursos biológicos”, incluidos los recursos genéticos (artículo 15), (2) la

obligación de compartir los beneficios derivados de la utilización de estos recursos con los países de origen de los recursos y comunidades locales e indígenas (Art. 8j y Art. 15), y (3) la existencia y la necesidad de respetar los derechos de propiedad intelectual sobre el material biológico (Art. 16.5). En gran medida, el CDB vinculó la conservación de la biodiversidad con el valor de mercado de sus componentes, los “recursos biológicos”, los que fueron susceptibles a la apropiación mediante derechos de propiedad intelectual (Aubertin et al. 2007).

Los países miembros del CDB negociaron recientemente un nuevo protocolo internacional, el que establece las medidas a adoptar para asegurar una distribución equitativa de los beneficios con los países que brindan acceso a los recursos genéticos dentro de sus territorios: el Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y el Uso Justo y Equitativo de los Beneficios Derivados de su Utilización, al Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado en 2010.

Otro elemento del CDB, importante para la conservación de la diversidad de los cultivos, fue el reconocimiento explícito que le dio a la conservación *in situ* que se describió como: “la conservación de ecosistemas y hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en su entorno natural” y, en el caso de especies domesticadas o cultivadas, en el entorno donde han desarrollado sus propiedades distintivas”.

Este reconocimiento puede verse como una consecuencia de la nueva y completa comprensión de la conservación de la biodiversidad y, al mismo tiempo, como un evento que ayudó a consolidar esta nueva comprensión. Durante los años 90, hubo un interés creciente en la conservación *in situ* y se iniciaron varios programas de investigación nacionales e internacionales. Este enfoque, que refleja el pensamiento anterior de Bennett y otros, se interesó por explorar enfoques dinámicos de conservación que enfatizaban la importancia de continuar la adaptación y la evolución y reconocían la importancia del mantenimiento de los sistemas en los que la diversidad de cultivos está presente y evoluciona como resultado de la interacción entre el medio ambiente y los seres humanos. Este nuevo enfoque requería que los científicos trabajaran de una manera más multidisciplinaria que antes, combinando antropología, genética evolutiva, genética de poblaciones, biología de la conservación, sociología y economía (Bonneuil y Fenzi 2011/2012).

La implementación del CDB ha involucrado, entre otras cosas, el desarrollo de una serie de programas de trabajo, que identificaron el trabajo que los países deberían emprender en áreas clave de conservación. El Programa de Trabajo sobre Biodiversidad Agrícola fue adoptado en el 2002. El CDB considera que la biodiversidad agrícola incluye todos los componentes de la diversidad biológica

de importancia para la alimentación y la agricultura, y todos los componentes de la diversidad biológica que constituyen los ecosistemas agrícolas, también llamados agroecosistemas: variedades y variabilidad de animales, plantas y microorganismos a nivel genético, de especies y de ecosistemas, que son necesarios para mantener las funciones clave del agroecosistema y su estructura y procesos (decisión COP V/5). También señala que la biodiversidad agrícola es el resultado de las interacciones entre los recursos genéticos, el medio ambiente y los sistemas y prácticas de manejo utilizados por los agricultores. Este es el resultado de la selección natural y la inventiva humana desarrollada durante milenios. Identifica las siguientes dimensiones de la biodiversidad agrícola: (1) recursos genéticos para la alimentación y la agricultura; (2) componentes de la biodiversidad que respaldan los servicios ecosistémicos; (3) factores abióticos, y (4) dimensiones socioeconómicas y culturales.

Esto coloca a la conservación y uso de los recursos fitogenéticos en un contexto más amplio de la diversidad dentro del sistema agrícola como un todo y se refleja en los propios programas de trabajo del CDB, que incluyen iniciativas sobre polinización, biodiversidad del suelo y biodiversidad para la alimentación y nutrición. En sus recientes decisiones sobre biodiversidad agrícola, el CDB ha enfatizado la colaboración con la Comisión de la FAO sobre Recursos Genéticos y el desarrollo de programas de trabajo en colaboración, creando un marco para el desarrollo de un consenso global sobre cómo tratar la biodiversidad agrícola a nivel internacional.

Con los años, las decisiones de las conferencias del CDB han enfatizado cada vez más la importancia de las perspectivas de los ecosistemas. Esto refleja en parte la importancia de los marcos desarrollados y presentados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Esta Evaluación, publicada en 2005, fue un momento clave en la reunión, bajo la categoría global de “servicios de los ecosistemas”, de la biodiversidad (silvestre y cultivada) y, cada vez más, del clima (MA 2005). La diversidad genética de los cultivos recientemente se ha considerado como esencial en el suministro de servicios ecosistémicos (tabla 3.1), contribuyendo no solo a los servicios de suministros (alimentos, forraje, combustible, medicinas, etc.) sino también a los servicios de apoyo, regulación y cultura. Los servicios ecosistémicos y la función de los ecosistemas se consideran cada vez más importantes para mejorar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y responder al cambio climático. La agrobiodiversidad en los niveles de genes, especies y agroecosistemas aumenta la adaptabilidad y la resiliencia al clima cambiante. Por lo tanto, promover la agrobiodiversidad sigue siendo crucial para la adaptación local y la resiliencia de los agroecosistemas (Ortiz 2011).

Bonneuil y Fenzi (2011/2012) han sugerido que es posible identificar dos paradigmas diferentes que operan con respecto a la conservación y el uso de la diversidad de plantas de cultivo. El primero (que estuvo en funcionamiento durante la mayor parte del siglo XX) consideraba la diversidad de los cultivos esencialmente como un recurso. Los recursos fitogenéticos se consideran una reserva de genes de interés para la agricultura y otras industrias, como los productos farmacéuticos o los textiles. Este paradigma se asoció con un énfasis en el uso de bancos de genes *ex situ* para la conservación de la diversidad, la visión de que los recursos genéticos eran el patrimonio común de la humanidad, constituyendo un bien público mundial, y una importancia creciente de los profesionales en el manejo, mantenimiento y uso de la diversidad.

Ellos argumentan que el paradigma más reciente considera la diversidad genética como un componente de un sistema biológico dinámico y como parte de un conjunto de ecosistemas cambiantes y en evolución. Existe una preocupación con la conservación *in situ* y con el mantenimiento de las situaciones en las que la evolución y la adaptación pueden continuar sucediendo dentro del sistema de producción. Se reconoce que los agricultores, las comunidades rurales y los pueblos indígenas desempeñan un papel clave en la conservación, y se enfatizan los enfoques participativos para la conservación y el uso. Este paradigma también reconoce la soberanía nacional sobre los recursos genéticos y la posibilidad de desarrollar formas de protección que codifiquen la propiedad con los derechos y las responsabilidades identificadas: las conexiones que existen (en términos de evolución, flujo genético y selección) entre los parientes silvestres

La Comisión de la FAO sobre Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (CGRFA), el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (ITPGRFA) y el Sistema Global en Desarrollo

La CGRFA se estableció en 1983 como la Comisión de Recursos Fitogenéticos (véase más arriba) para abordar los desafíos políticos de la época y para crear un foro internacional para abordar los problemas de los recursos fitogenéticos. Más tarde amplió su mandato para incluir los recursos genéticos animales, forestales y acuáticos. Ahora supervisa la producción de informes sobre el estado de los recursos genéticos del mundo para estos diferentes componentes de la biodiversidad agrícola y es el foro para desarrollar programas de trabajo acordados internacionalmente que apoyen su conservación y uso (ver www.fao.org/cgrfa).

TABLA 3.1. BENEFICIOS DE LA BIODIVERSIDAD PARA LA AGRICULTURA A TRAVÉS DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.

<i>Suministro</i>	<i>Regulación</i>	<i>Apoyo</i>	<i>Cultural</i>
Alimentos y nutrientes	Regulación de plagas	Formación de suelo	Arboledas sagradas
Combustible	Control de la erosión	Protección del suelo	como fuentes de
Alimentación animal	Regulación climática	Ciclo de nutrientes	alimento y agua
Medicamentos	Regulación de peligros	Ciclo del agua	Variedades de estilo
Fibras y tela	naturales (sequías,		de vida agrícola
Materiales para	inundaciones e incendios)		Reservorio de
la industria	Polinización		material genético
Material genético para			Santuario de
variedades mejoradas			polinizadores
y rendimientos			
Resistencia a plagas			

Adaptado de MA (2005).

El ITPGRFA entró en vigor en el 2004 y ha sido ratificado por más de 125 países. Intenta crear un marco global para la colaboración sobre recursos fitogenéticos y para garantizar su conservación y uso para el beneficio de todos. Es probable que el Tratado proporcione el marco legal internacional que respalda la conservación en fincas y, dado que la mayoría de los países lo han ratificado, es probable que también proporcione un marco nacional relevante. Sin embargo, la implementación nacional todavía está muy fragmentada, y pocos países hasta ahora han llevado a cabo las diversas disposiciones requeridas para poner el Tratado en vigencia a nivel nacional. Las disposiciones importantes del Tratado incluyen el Artículo 5, que requiere que los países establezcan programas de conservación tanto *ex situ* como *in situ* (incluso en fincas); El artículo 6, que se refiere al uso sostenible de los recursos fitogenéticos, y el artículo X, que prevé el establecimiento de sistemas de información nacionales e internacionales. Un artículo crucial, el Artículo Y, reconoce los derechos de los agricultores a beneficiarse de los recursos genéticos que han mantenido. El Tratado también estableció un sistema multilateral de intercambio y distribución de beneficios que, en la actualidad, se limita a unos 35 cultivos principales y más de 50 especies forrajeras que se consideran de importancia para la seguridad alimentaria mundial (véase www.planttreaty.org).

El ITPGRFA puede verse como el último elemento en un sistema mundial en desarrollo sobre la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos. Se puede pensar que este sistema incluye todos los diferentes elementos que respaldan la conservación a nivel internacional. La Tabla 3.2 enumera los diferentes elementos de este sistema global en desarrollo como lo describen Hodgkin et al.

TABLA 3.2. ELEMENTOS DE UN POSIBLE SISTEMA MUNDIAL DE CONSERVACIÓN Y USO DE LOS RECURSOS FTOGENÉTICOS.

<i>Elemento</i>	<i>Objetivos y notas</i>
*Acuerdos internacionales	
*Comisión) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) sobre los Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (CGRFA)	La Comisión se esfuerza por detener la pérdida de RFAA y garantizar la seguridad alimentaria mundial y el desarrollo sostenible promoviendo su conservación, uso sostenible (incluido el intercambio) y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su uso. Abarca los recursos genéticos de animales, peces, bosques y microorganismos, así como los temas transversales y las perspectivas de los ecosistemas. La Comisión ha desarrollado un programa de trabajo plurianual para orientar sus esfuerzos.
*Tratado internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (ITPGRFA)	Sus objetivos son la conservación y el uso sostenible de los RFAA y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su uso. El objetivo del Tratado es reconocer la enorme contribución de los agricultores a la diversidad de los cultivos que alimentan al mundo y establecer un sistema global para proporcionar a los agricultores, mejoradores de plantas y científicos el acceso a materiales genéticos vegetales y garantizar que los beneficiarios compartan los beneficios que se derivan del uso de estos materiales genéticos con los países donde se originaron.
*Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal	Su objetivo es promover la recolección racional y el uso sostenible de los recursos genéticos, prevenir la erosión genética y proteger los intereses tanto de los donantes como de los recolectores de germoplasma. Establece las responsabilidades mínimas de coleccionistas, promotores, curadores y usuarios de germoplasma recolectado en la colección y transferencia de germoplasma vegetal. Fue adoptado por la conferencia de la FAO en 1993 y se negoció a través de la CRGAA, que también tiene la responsabilidad de supervisar su implementación y revisión.
*Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal	Estos programas tienen como objetivo promover los efectos positivos y mitigar los impactos negativos de las prácticas agrícolas sobre la biodiversidad en agroecosistemas y su interfaz con otros ecosistemas, y trabajar para la conservación y el uso sostenible de los RFAA y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de estos recursos genéticos. El Programa de Trabajo del CDB sobre Diversidad Biológica Agrícola fue revisado por última vez en 2008. La Decisión no. X/34 en la décima Conferencia de las Partes (COP-10) llamó la atención sobre la importancia del trabajo con los parientes silvestres de los cultivos, y las partes acordaron la colaboración con la CRGAA, el ITPGRFA y la FAO en actividades identificadas. En la COP-10, las Partes acordaron adoptar el Protocolo de Nagoya sobre acceso y distribución de beneficios.

<i>Elemento</i>	<i>Objetivos y notas</i>
*Acuerdos regionales en Asia, África, Sudamérica y Europa	
Redes regionales	Esta división incluye alrededor de 18 redes regionales y subregionales identificadas en el segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo.
*Redes de cultivos	Los objetivos son usualmente para apoyar todo el trabajo en un cultivo en particular. A menudo tienen un fuerte énfasis en la genética y la reproducción.
*Redes temáticas	Incluyen, por ejemplo, Cultivos para el Futuro, que se ocupa de las especies infrautilizadas; el grupo especializado de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) sobre parientes silvestres de cultivos; y Conservación Internacional de Jardines Botánicos.
Foros internacionales y asociaciones con intereses en RFAA	Tales foros incluyen, por ejemplo, Diversitas, la IUCN y la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa de Investigación Agrícola del Foro Mundiales sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas.
Foros regionales y asociaciones con intereses en RFAA	Existen para cada región, aunque con estructuras y organizaciones algo diferentes y preocupaciones por los RFAA. Incluyen el Foro de Investigación Agrícola en África (FARA), la Asociación de Instituciones de Investigación Agrícola de Asia-Pacífico (APAARI), el Foro para las Américas sobre Investigación Agrícola y Desarrollo Tecnológico (FORAGRO), la Asociación de Agricultura de Asia Central y el Cáucaso para Instituciones de Investigación Agrícola (CACAARI), y la Asociación de Instituciones de Investigación Agrícola en el Cercano Oriente y África del Norte (AARINENA).
*Sistema Mundial de Información y Alerta sobre los RFAA	Su mandato es mantener la situación de la oferta/demanda de alimentos en el mundo bajo revisión continua, emitir informes sobre la situación alimentaria mundial y proporcionar advertencias tempranas de inminentes crisis alimentarias en países individuales. Para los países que enfrentan una grave emergencia alimentaria, la FAO, el Sistema Mundial de Información y Alerta y el Programa Mundial de Alimentos también llevan a cabo misiones conjuntas de evaluación de la seguridad alimentaria y de los cultivos (CFSAMs).
*Estado Mundial de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura GENESYS	GENESYS se está desarrollando actualmente para mejorar el intercambio mundial de información de RFAA en un intento por asegurar y mejorar la biodiversidad en todo el mundo. Su objetivo es proporcionar a los mejoradores e investigadores un único punto de acceso a la información sobre aproximadamente un tercio de las accesiones de los bancos de germoplasma del mundo.

TABLA 3.2. CONTINUACIÓN

<i>Elemento</i>	<i>Objetivos y notas</i>
*Fondo Internacional y Mecanismo Financiero para los Recursos Fitogenéticos	El objetivo de esta estrategia de financiamiento es mejorar la disponibilidad, la transparencia, la eficiencia y la efectividad del abastecimiento de recursos financieros para implementar actividades bajo el ITPGRFA. Los objetivos de la estrategia de financiamiento son, entre otros, el desarrollo de los medios adecuados para la aplicación del Tratado, de conformidad con el artículo 18 del mismo.
*Tratado Mundial de la Diversidad de los Cultivos	El Tratado está recaudando fondos de donantes individuales, fundaciones, corporaciones y gobiernos donantes para un fondo de donaciones que respaldará la conservación de colecciones de cultivos clave a perpetuidad.
Fondo Mundial de Medio Ambiente (GEF)	Es una organización financiera independiente que otorga donaciones a países en desarrollo y países con economías de transición para proyectos relacionados con la biodiversidad, el cambio climático, las aguas internacionales, la degradación de la tierra, la capa de ozono y los contaminantes orgánicos persistentes. Aunque mayormente apoya proyectos en los países, GEF tiene una estrategia mundial acordada y un objetivo estratégico para la integración de la conservación, que es relevante para la conservación y el uso de los RFAA. El GEF, del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, ha proporcionado más de \$100 millones en apoyo a proyectos multinacionales durante los últimos diez años.
*Red Internacional de Colecciones <i>Ex Situ</i> (incluidas las colecciones confiadas al CGIAR, el CATIE y la Red Internacional de Recursos Genéticos de Coco)	En el 2006, de conformidad con el artículo 15 del ITPGRFA, los centros colocaron sus colecciones de bancos de germoplasma <i>ex situ</i> en el marco del ITPGRFA. Los acuerdos del Artículo 15 reemplazaron los acuerdos anteriores tomados entre los centros y la FAO en 1994.
*Red de áreas de conservación <i>in situ</i>	Dos redes relevantes que ya existen son los Sistemas del Patrimonio Agrícola Mundial Importante y el Programa El Hombre y la Biosfera.
Bóveda Mundial de Semillas de Svalbard	Está diseñada para almacenar duplicados de semillas de colecciones de todo el mundo. Muchas de estas colecciones se encuentran en países en desarrollo. Si las semillas se pierden, por ejemplo, como resultado de desastres naturales, guerra o simplemente falta de recursos, las colecciones de semillas pueden restablecerse utilizando semillas de Svalbard.

<i>Elemento</i>	<i>Objetivos y notas</i>
Iniciativa de Alianza Mundial para el Fortalecimiento de las Capacidades del Mejoramiento de Plantas (GIPB)	Su misión es aumentar la capacidad de los países en desarrollo para mejorar los cultivos para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible a través de mejores sistemas de mejoramiento y distribución de plantas. La visión de éxito a largo plazo de esta iniciativa es la mejora en el rendimiento de los cultivos y la seguridad alimentaria basada en el establecimiento de una mayor capacidad nacional del mejoramiento sostenible de plantas.
*Plan de Acción Mundial (GPA) para la Conservación y Uso de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura	También se puede clasificar como un acuerdo, pero se coloca aquí debido a su énfasis en las acciones que deben llevarse a cabo para apoyar los objetivos globales de conservación. Los principales objetivos del GPA son: garantizar la conservación de los RFAA como base de la seguridad alimentaria; promover el uso sostenible de los RFAA para fomentar el desarrollo y reducir el hambre y la pobreza; promover la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del uso de los RFAA; ayudar a los países e instituciones a identificar prioridades para la acción; fortalecer los programas existentes; y mejorar la capacidad institucional.
Colecciones nacionales colocadas bajo el MLS	Incluido aquí para enfatizar el hecho de que las colecciones nacionales son una parte tan importante del sistema mundial como las colecciones internacionales y, una vez ubicadas bajo el MLS, se convierten en un recurso mundial efectivo.
Organizaciones internacionales no gubernamentales	Estas organizaciones incluyen IUCN, Conservación Internacional de Jardines Botánicos, así como organizaciones de la sociedad civil comprometidas con objetivos específicos con respecto a la conservación de los RFAA, tales como el Centro Europeo de Temas sobre Diversidad Biológica, GRAIN, Acción Práctica, y otros.
Esfuerzos internacionales de investigación	Incluye las actividades de investigación y mejoramiento del CGIAR y otros centros internacionales y regionales.

Nota: Hay una serie de acuerdos internacionales que afectan el uso de los RFAA a través de su efecto en la liberación, disponibilidad y distribución de variedades de cultivos y semillas. Estos incluyen la UPOV, el Convenio de Rotterdam, las regulaciones del comercio mundial y una variedad de esquemas de certificación de semillas que operan a nivel internacional y regional. Aunque generalmente no se los considera como parte del sistema global de conservación y uso de recursos fitogenéticos, su efecto sobre el uso de recursos fitogenéticos y sobre la cantidad de diversidad que probablemente se encuentre en los sistemas de producción puede ser significativo.

* Incluido en la descripción del Sistema Mundial de la FAO.

Adaptado de Hodkin et al. (2012)

(2012). Se puede considerar que los esfuerzos de conservación en fincas obtienen una legitimidad internacional de este sistema global, y algunos elementos lo respaldan directamente. El Plan de acción mundial más reciente para los recursos fitogenéticos acordado por la CGRFA contiene una sección dedicada a apoyar la conservación en fincas y la mejora de los recursos fitogenéticos. El ITPGRFA proporciona fondos para una serie de proyectos en los países que apoyan la conservación en fincas.

Cada vez más, las decisiones y programas del CDB toman en cuenta las perspectivas agrícolas, ya que se reconoce la importancia de la conservación dentro y alrededor de los entornos agrícolas. Así, la Meta 13 de Aichi reconoce explícitamente la importancia de las especies agrícolas y afirma: “Para el 2020, se mantendrá la diversidad genética de las plantas cultivadas y animales domésticos en fincas y sus parientes silvestres, incluyendo el mantenimiento de otras especies socioeconómica y culturalmente valiosas y se habrán desarrollado e implementado estrategias para minimizar la erosión genética y salvaguardar su diversidad genética.” De forma similar, la CRGAA pasó de ser una simple preocupación a asegurar recursos específicos para tomar en cuenta la función y los servicios del ecosistema y la sostenibilidad, reflejando así, en su trabajo, las perspectivas del ecosistema. Sin embargo, el CDB y el ITPGRFA aún ocupan mundos conceptuales muy diferentes. El ITPGRFA tiene una gran preocupación con la conservación *ex situ* y con la importancia del mantenimiento eficiente de las accesiones individuales. Reconoce explícitamente la importancia de los bancos de genes internacionales del CGIAR y del trabajo del Tratado Mundial de Diversidad de los Cultivos. El CDB sigue preocupado principalmente por las perspectivas de los ecosistemas y la conservación *in situ*.

Uso de los Recursos Genéticos para la Mejora Vegetal

En su forma primitiva, el mejoramiento vegetal comenzó después de la invención de la agricultura, cuando los seres humanos pasaron de un estilo de vida de cazadores-recolectores a productores sedentarios de plantas y animales seleccionados. Es difícil identificar cuándo las técnicas de mejoramiento de cultivos condujeron al desarrollo de nuevas variedades de plantas que anteriormente no ocurrían en poblaciones naturales, pero los registros arqueológicos indican que los asirios y babilonios polinizaron artificialmente la palma datilera hace al menos 2,700 años. Desarrollos importantes desde el siglo XVI en adelante incluyeron descripciones de plantas cultivadas en los herbarios del siglo XVI, la descripción de la reproducción sexual en plantas por RJ Camerarios en 1694, los

primeros estudios sistemáticos sobre hibridación de plantas por Joseph Koelreuter de 1760 a 1766, y la clasificación de las plantas desarrolladas por Carolus Linnaeus durante la segunda mitad del siglo XVIII. La fitogenética como actividad comercial se hizo cada vez más importante durante el siglo XIX. Las empresas de semillas seleccionaron cepas específicas que vendieron con nombres específicos. El número de variedades de muchos cultivos que estaban disponibles para los agricultores creció rápidamente, y los catálogos de semillas de finales del siglo XIX y principios del siglo XX a menudo enumeran una gran cantidad de variedades, que frecuentemente eran reselecciones sobre tipos específicos hechos por profesionales de semillas.

El siglo XX vio el redescubrimiento de las obras de Mendel sobre la herencia (publicado originalmente en 1865) y el desarrollo gradual de programas de fitomejoramiento basados en la genética y las teorías de la selección. Se reconoció el valor de los híbridos F1 para el maíz y otros cultivos alógamos y su producción se convirtió en norma, no solo en el maíz, sino también en el girasol, el tomate y muchos cultivos de hortalizas. Los programas de mejoramiento se hicieron más grandes ya que se reconoció la importancia de usar grandes cantidades de progenie a partir de cruzamientos planeados. Desde mediados del siglo XX hasta la década de 1980, el estado jugó un papel importante en el desarrollo de nuevas variedades, particularmente después de la Segunda Guerra Mundial en Europa, donde la necesidad de expandir la producción como respuesta a la escasez de alimentos de la posguerra era de suma importancia. El desarrollo de formas de proteger las nuevas variedades, particularmente durante la segunda mitad del siglo XX, jugó un papel importante en estimular la inversión en el fitomejoramiento por parte del sector privado (ver el Capítulo 10 para mayor discusión).

Otro desarrollo importante en el mejoramiento de los cultivos mayores fue el establecimiento del sistema internacional de investigación agrícola, que data de 1940, cuando los gobiernos de Estados Unidos y México solicitaron el apoyo de la Fundación Rockefeller para la investigación sobre cultivos alimentarios básicos. Como resultado, se estableció una unidad especial enfocada en el maíz, trigo, frijoles y manejo del suelo en el Ministerio de Agricultura de México. Siguiendo el ejemplo mexicano, en la década de 1950, India y Pakistán establecieron programas de asistencia técnica. En 1960, se abrió el Instituto Internacional de Investigaciones de Arroz (IRRI) en Los Baños, Filipinas. El mejoramiento genético del arroz en el IRRI siguió el modelo ya formalizado de mejoramiento por pedigrí, ensayos de colaboración internacionales e intercambio de germoplasma e información que habían sido adoptados anteriormente por el sistema de trigo en México. El desarrollo de las primeras variedades semi-enanas de

alto rendimiento del programa mexicano y de arroz por el IRRI, y la rápida expansión de ambas innovaciones a través de las redes internacionales de viveros, estimuló el origen de la Revolución Verde.

Las variedades tradicionales proporcionaron el material de partida para la selección de las primeras variedades modernas desarrolladas por los programas de mejora del sector público y privado. A medida que estas nuevas variedades se distribuyeron y se adoptaron más ampliamente, las variedades tradicionales fueron reemplazadas. Esto fue acompañado por una reducción general en la diversidad presente en las áreas de adopción. Si bien las variedades modernas fueron significativamente más productivas en las condiciones de la agricultura de altos insumos, a menudo no satisfacían las necesidades de los sistemas agrícolas de bajos insumos en áreas ambientalmente variables, donde las variedades tradicionales seguían cultivándose.

Las variedades desarrolladas a través de establecidos programas de mejoramiento fueron cada vez más uniformes y genéticamente homogéneas. En cultivos autógamos, los programas de mejoramiento por pedigrí condujeron al desarrollo de líneas homocigóticas con los rasgos deseados de la nueva variedad. En los cultivos alógamos, la demanda de uniformidad se cumplió mediante el desarrollo de híbridos F1 o de doble cruzamiento. El uso cada vez mayor de materiales muy seleccionados y adaptados a las técnicas agrícolas modernas condujo, en algunos casos, a una reducción constante de la diversidad en los sistemas de producción y una tendencia a que las variedades se desarrollaran a partir de una base genética estrecha. Los mejoradores de plantas preferían utilizar materiales ya mejorados siempre que fuera posible, en lugar de materiales como las variedades tradicionales que necesitaban varios ciclos de selección adicional para crear el fenotipo deseado y las características requeridas en las variedades modernas. Por supuesto, si el rasgo deseado estaba presente solo en tales materiales tradicionales, su uso, y el trabajo adicional involucrado, era aceptado. Como se señaló anteriormente, la transición de las variedades tradicionales a las variedades modernas estuvo acompañada de una pérdida general de diversidad genética. Sin embargo, una vez que se produjo la transición, la pérdida de diversidad fue mucho más lenta y en algunos cultivos no parecía haber sido muy significativa. Un meta-análisis de los cambios en la diversidad a lo largo del tiempo ha sugerido que poco ha cambiado durante el período 1930-1990 (van de Wouw et al. 2010), excepto por una reducción del 6% durante la década de 1960 que parece haber sido seguida por algo de recuperación.

Durante las últimas décadas, algunos mejoradores de plantas han comenzado a probar y adoptar enfoques innovadores en el mejoramiento de los cultivos

que están más cerca del mejoramiento genético convencional y de las prácticas tradicionales de manejo de la diversidad de cultivos realizadas por los agricultores, lo que lleva al mejoramiento de plantas de vuelta a los campos de los agricultores. El mejoramiento evolutivo de plantas se introdujo por primera vez en la década de 1950 sobre la base de “un germoplasma ampliamente diversificado y una selección masal prolongada de la progenie lleva a la selección natural competitiva en el área de considerado uso” (Suneson 1956). El mejoramiento participativo de plantas (PPB) es el proceso por el cual los agricultores participan de forma habitual en un programa de mejoramiento de plantas con oportunidades para tomar decisiones en todo momento (ver Capítulo 12). Adoptando estas dos técnicas y, a veces, combinando ambas, los mejoradores tienen como objetivo proporcionar a los agricultores variedades y poblaciones más diversas, con mayor capacidad para adaptarse y funcionar en diferentes entornos en ausencia de insumos suministrados externamente.

Conclusiones: Un Debate Continuo

Los debates políticos en torno a la conservación de los recursos fitogenéticos continúan, aunque su intensidad y naturaleza varían según los foros de formulación de políticas nacionales e internacionales donde se lleven a cabo. Los debates cambian y evolucionan con perspectivas políticas cambiantes y una nueva apreciación de la importancia de los recursos genéticos para diferentes sectores de la sociedad. Algunos de los elementos de las discusiones actuales que deben tenerse en cuenta incluyen:

1. Si bien la preocupación inicial con la conservación en fincas enfatizó los beneficios de la conservación, hay una mayor conciencia de las dimensiones socioeconómicas y culturales y una preocupación por obtener mayores beneficios de los medios de vida a partir del mantenimiento de las variedades tradicionales.
2. El cambio climático está creando un interés creciente en la adaptabilidad y la capacidad de recuperación en los sistemas de producción, y con ello la importancia de garantizar que la diversidad esté presente para proporcionar estas propiedades. También está creando un mayor interés en los propios recursos por parte de las compañías de mejoramiento vegetal y un reconocimiento de la importancia de garantizar un suministro continuo de nuevas variedades mejor adaptadas.
3. La interfaz entre el CDB, el ITPGRFA, la Comisión de Recursos Genéticos y las más amplias decisiones en política internacional como los

TRIPS se está volviendo más compleja y cada vez más restringe las decisiones de los países. Esto puede ser deseable en el sentido de que, por ejemplo, el Tratado impone obligaciones claras a los países para apoyar la conservación en fincas. Sin embargo, también resulta en un aumento de la conciencia en las perspectivas de la posesión, la propiedad y las consideraciones de propiedad intelectual en torno al desarrollo de nuevas variedades.

4. Las variedades tradicionales son dinámicas y cambiantes (véase el Capítulo 11), y la mayoría de los programas nacionales e internacionales de conservación y uso están mal equipados para hacer frente a este aspecto. Incluso la legislación más avanzada que respalda el mantenimiento de las variedades tradicionales las considera entidades esencialmente estáticas con características estables.
5. Es probable que el crecimiento de ONGs activas y de movimientos sociales en torno a una preocupación común con la alimentación y soberanía alimentaria fortalezca el reconocimiento de la importancia del mantenimiento en fincas de las variedades tradicionales. Al mismo tiempo, los programas de desarrollo agrícola, a menudo fortalecidos, siguen siendo antagónicos al mantenimiento de dichos materiales a favor de nuevas variedades uniformes. El aumento de la demanda de tierras agrícolas (como se ha visto en los últimos “acaparamientos de tierras”) también amenaza los enfoques locales para el desarrollo sostenible que hacen uso de las variedades tradicionales.
6. El fitomejoramiento se ha comercializado cada vez más en los últimos 50 años y está dominado por grandes empresas transnacionales de semillas. Su interés en las variedades tradicionales es como usuarios potenciales de los rasgos encontrados en ellas como parte del proceso de producción de nuevas variedades de alto rendimiento. Esto se puede lograr a través de colecciones de germoplasma *ex situ*, lo que permite a las empresas de semillas fomentar el reemplazo de las variedades tradicionales en los sistemas de producción. Los enfoques contrastantes para la mejora de cultivos basados en PPB están siendo probados en todo el mundo, pero, aparte del programa de mejoramiento de cebada del Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Áreas Secas (ICARDA), que involucró a países del Medio Oriente y África del Norte y Oriental, estos son pequeños programas que involucran solo unos pocos cultivos.

Las presiones que reflejen estos diferentes temas y las opiniones opuestas de diferentes actores indudablemente continuarán afectando las actividades de conservación en fincas y el trabajo de los involucrados.

Lectura Adicional

- Bonneuil, C. y M. Fenzi. 2011/2012. “Des ressources génétiques à la biodiversité cultivée.” *Revue d’anthropologie des connaissances* 5:206–33.
- Chiarolla, C. 2011. *Intellectual Property, Agriculture, and Global Food Systems*. Edward Elgar Publishing, UK.
- Esquinas-Alcázar, José, Angela Hilmi, e Isabel López Noriega. 2012. “A brief history of the negotiations on the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture.” Pp. 135–49 en *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. López Noriega y S. Louafi, Eds.). Routledge, NY.
- Gepts, Paul. 2004. “Who Owns Biodiversity, and How Should the Owners Be Compensated?” *Plant Physiology* 134 no. 4:1295–307.
- Hodgkin, T., N. Demers, y E. Frison. 2012. “The evolving global system of conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture.” En *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. López Noriega, y S. Louafi, Eds.). Routledge, NY.
- Moore, Gerald K., y Witold Tymowski. 2005. *Explanatory Guide to the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Pistorius, Robin. 1997. *Scientists, plants and politics: a history of the plant genetic resources movement*. Bioversity International (IPGRI & INIBAP), Rome.
- Tauli-Corpuz, V., L. Enkiwe-Abayao, y Raymond De Chavez, Eds. 2010. *Towards an Alternative Development Paradigm: Indigenous Peoples’ Self-Determined Development*. Tebtebba Foundation, Baguio City, Philippines.
- Thrall, P. H., J. G. Oakeshott, G. Fitt, S. Sotherton, J. J. Burdon, A. Sheppard, R. J. Russell, M. I. Zalucki, M. Heino, y R. F. Denison. 2011. “Evolution in agriculture: the application of evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems.” *Evolutionary Applications* 4:200–15.
- Tilford, D. S. 1998. “Saving the blueprints: The international legal regime for plant resources.” *Case Western Reserve Journal of International Law* 30:373–446.



Ilustración 3. El desarrollo de programas para apoyar la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos y las variedades tradicionales ha ido acompañado de debates considerables, a menudo ásperos, sobre cuestiones tales como la percepción de la biodiversidad agrícola, la propiedad de los materiales y las formas en que los agricultores, comunidades, mejoradores de plantas y, en la actualidad, ingenieros genéticos deberían ser reconocidos y recompensados por sus contribuciones a la continua evolución y mejora de las variedades de los cultivos. Algunos mejoradores de plantas han comenzado a probar y adoptar enfoques innovadores en el mejoramiento de los cultivos que están más cerca del mejoramiento genético convencional y de las prácticas tradicionales de manejo de la diversidad de cultivos realizadas por los agricultores y llevan al mejoramiento de plantas de vuelta a los campos de los agricultores. La foto superior izquierda muestra un panel de discusión durante la 146 sesión del Consejo de la FAO en Roma. La conservación y el uso de los recursos fitogenéticos han sido un elemento recurrente en la agenda de este órgano intergubernamental. La foto superior derecha muestra la colección *ex situ* de caupíes del banco de germoplasma del Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), ubicada en Nigeria. Las fotos de abajo muestran cada una un método diferente de mejoramiento participativo evolutivo. A la izquierda, un agricultor e investigador está llevando a cabo una selección masiva de maíz. A la derecha, los mejoradores y los agricultores están seleccionando conjuntamente plantas de arroz en Nepal. Créditos fotográficos: © FAO/Alessia Pierdomenico (arriba a la izquierda), IITA (arriba a la derecha), D. Jarvis (abajo a la izquierda), B. Sthapit (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 4

La Diversidad y Su Evolución en Poblaciones de Cultivos

Al final de este capítulo, el lector debe comprender:

- Los conceptos básicos de la diversidad genética y su medición en las poblaciones de plantas;
- Cómo el tamaño de la población, las fuerzas evolutivas y la biología reproductiva afectan el alcance y la distribución de la diversidad genética.

El tratamiento de la genética de poblaciones es introductorio, para aquellos que no están familiarizados con el tema. Los lectores interesados pueden complementar y ampliar sus conocimientos consultando libros de texto como Gillespie (2004), Hedrick (2004), Hartl y Clark (2007), Hamilton (2009), Frankham et al. (2010) u otros textos estándar sobre genética de poblaciones.

La Naturaleza de la Diversidad

La diversidad describe la naturaleza y el alcance de la variación que ocurre en un sistema, o en relación con un conjunto de entidades. Generalmente se distinguen tres niveles de biodiversidad: ecosistema, especie y genética (Frankel et al. 1995). La diversidad de los ecosistemas describe la variedad o el número de ecosistemas en un área (en última instancia, toda la biosfera), mientras que la diversidad de especies está relacionada con el número y la frecuencia de las especies. La diversidad genética es el resultado de la variabilidad genética entre

un conjunto de individuos de una variedad, una población o una especie. Surge de las diferencias en las secuencias de ADN de diferentes individuos.

En las plantas de cultivo, la diversidad genética se ve más comúnmente como las diferencias entre las variedades de un cultivo. Las plantas individuales de una determinada variedad nombrada pueden aproximarse a la uniformidad, como en el caso de cultivos exclusivamente autopolinizados, como el arroz, o en cultivos propagados clonalmente, como la papa o la manzana (por ejemplo, las diferencias entre variedades de manzana como Red Delicious y Granny Smith). Los cultivos parcial o totalmente polinizados pueden mostrar grandes variaciones tanto dentro de las variedades como entre variedades. Por ejemplo, los cultivos como el maíz, el mijo perla o las coles pueden mostrar una considerable variación de planta a planta dentro de cualquier variedad de polinización abierta.

La cantidad de diversidad presente en especies de plantas, poblaciones o variedades refleja la cantidad de variación de secuencia de ADN presente, lo que da como resultado diferencias en los genes. Los genes son secuencias de ADN que son responsables de una característica hereditaria discreta, que generalmente corresponde a una sola proteína o ARN. Las secuencias de ADN están organizadas dentro de los cromosomas en los núcleos de las células o se encuentran en orgánulos celulares como cloroplastos y mitocondrias.

La constitución genética proporciona la primera base para una descripción de las propiedades de una planta. Un locus genético puede tener formas alternativas, llamadas alelos. Un locus es el lugar donde reside un alelo en un cromosoma. En un organismo diploide, como el arroz, cada cromosoma llevará un alelo del mismo gen, ocupando la misma posición (o locus) en cada miembro del par de cromosomas homólogos. Si los dos alelos de cualquier locus son iguales, se dice que el individuo es homocigótico con respecto a ese gen.

Si los alelos son diferentes, el individuo se describe como heterocigótico. A menudo, un locus parece tener solo dos alelos en la población (por ejemplo, los guisantes redondos y arrugados estudiados por Mendel). Sin embargo, un locus también puede tener una cantidad de alelos alternativos. Este es frecuentemente el caso de variaciones bioquímicas o moleculares tales como proteínas de semilla, isoenzimas o microsatélites que se describen a continuación.

Dentro de una población de plantas o una variedad tradicional, puede haber uno, dos o más alelos, o versiones, del gen. Un genotipo es la totalidad de la constitución genética de un individuo, refiriéndose ya sea al conjunto de alelos en un número limitado particular de loci, o a todos los loci en el genoma. Un fenotipo es la suma de las características físicas de una planta y resulta de la interacción entre el estado genotípico de un individuo y las condiciones ambientales.

No todas las diferencias en la secuencia de ADN dan como resultado una diferencia física en la planta. De hecho, gran parte de la variación de secuencia en muchas especies es críptica y puede resultar en una diferencia no visible en las características de la planta. La variación que se puede detectar incluye diferencias obvias en rasgos cualitativos específicos, como el color de las flores, y la variación en las características cuantitativas, como la altura, el tiempo a la madurez y el peso de la semilla (tabla 4.1). También incluye la variación en los rasgos relacionados con el rendimiento, como la resistencia a plagas y enfermedades, las diferencias bioquímicas en la producción de formas de enzimas específicas o metabolitos secundarios, y las diferencias en la secuencia de ADN. Esto último se ha convertido en un método cada vez más importante y útil para analizar la diversidad en la última década. Varios procedimientos diferentes están ahora disponibles para detectar diferentes tipos de variación de ADN entre individuos (ver Capítulo 5).

TABLA 4.1. TIPO DE DATOS: EJEMPLOS FENOTÍPICOS Y EJEMPLOS GENÉTICOS. TENGA EN CUENTA QUE LOS DATOS FENOTÍPICOS Y GENÉTICOS PUEDEN SER MÉTRICOS, ORDENADOS O DESORDENADOS.

<i>Tipo de datos</i>	<i>Ejemplos fenotípicos</i>	<i>Ejemplos genéticos</i>
Rasgos métricos o de medición	Altura de la planta, peso de la semilla	Divergencias en la secuencia del ADN
Conteo o datos cualitativos ordenados	Número de semilla por legumbre	SSR o alelos microsatélites
Conteo o datos cualitativos- desordenados	Gen mayor de resistencia a enfermedades, color de la semilla	RAPD, AFLP

Cultivos, Variedades y Poblaciones: Estructura de la Población

Un aspecto importante del mantenimiento y uso de la diversidad de cultivos en la finca es comprender la cantidad y distribución de la diversidad genética presente en los cultivos en los campos de los agricultores. La cuantificación y el análisis de los patrones de diversidad genética permiten responder preguntas tales como: ¿Qué tan genéticamente variables son las variedades de un cultivo, o diferentes poblaciones de una variedad que crecen actualmente en una aldea o en una finca? ¿Cuánto difieren las variedades entre sí en el tipo y la cantidad de variación que albergan? ¿Algunas variedades contienen características únicas (por separado o en combinación) que están ausentes de otras variedades?

Responder a estas preguntas involucra la genética de poblaciones de plantas, una disciplina que tiene tres objetivos: (1) describir la diversidad genética dentro y entre las poblaciones de una especie vegetal, (2) estimar la naturaleza y la fuerza de las fuerzas evolutivas que dan forma a estos patrones de diversidad, y (3) desarrollar modelos que predigan la estabilidad y el cambio de estos patrones. La genética de poblaciones de plantas sustenta decisiones tales como cuántas poblaciones o variedades diferentes en un área proporcionan una muestra adecuada de la diversidad de un cultivo para diferentes objetivos, tales como satisfacer las necesidades de los agricultores y las comunidades, proporcionar adaptabilidad, limitar la vulnerabilidad o cumplir objetivos generales de conservación.

Una población es un grupo de plantas de un cultivo o especie que crecen juntas en una localidad específica. En el caso de las variedades tradicionales, diferentes agricultores generalmente mantienen poblaciones separadas, y las poblaciones individuales que mantienen constituyen su unidad de manejo de la diversidad varietal.

En un área específica, la estructura de la población de una especie de cultivo puede ser compleja y puede comprender varios niveles en una jerarquía. En el nivel más alto están la cantidad de variedades y la superficie cultivada proporcional a cada variedad de esa especie. Después, cada variedad se puede sembrar como varias poblaciones distintas en varias fincas y diferentes campos de la comunidad o región. El nivel final de estructura puede ser evidente dentro de una población local como subpoblaciones distintas, como las cohortes relacionadas con la edad de un árbol frutal perenne o las plantas que crecen en microhábitats distintos definidos por la variación local en el suelo, la exposición o las condiciones de humedad. De nuevo, el número y el tamaño de las subpoblaciones especifican la estructura.

Tamaño

El tamaño de una población es la cantidad de individuos que crecen de esa población en un área determinada. Dependiendo de la población y las especies, este podría ser el número de plantas en un solo campo o el número de plantas de una variedad en un área específica. Si bien en una generación cualquiera no todas las plantas individuales de una sola población se aparean e intercambian genes con todas las demás, potencialmente pueden hacerlo. En el caso de las especies autopolinizadas o propagadas clonalmente, la población local tiende a fragmentarse en muchos linajes diferentes que estarían genéticamente aislados, excepto en el caso de cruzamientos raros. En muchos cultivos de

campo propagados por semilla, el número de individuos en una sola población es muy grande, y los agricultores cultivan muchos miles de individuos en un campo. Los cultivos que crecen en los huertos familiares suelen tener tamaños de población mucho más pequeños, y solo unos pocos individuos crecen en un huerto familiar como la pimienta, la calabaza esponjosa o los árboles frutales.

El tamaño de una población es un factor que afecta su composición genética, especialmente cuando hay grandes cambios en el tamaño debido a eventos aleatorios o catastróficos. Las poblaciones pequeñas tienden a tener menos diversidad genética y un número mayor de loci homocigóticos que las grandes. Una reducción en el tamaño de la población da como resultado la pérdida de algunos alelos individuales y la fijación de otros dentro de la población. Algunos cambios en el tamaño de la población pueden ocurrir debido a prácticas normales de manejo, como cuando los agricultores seleccionan un pequeño número de plantas como padres para la próxima generación. Sin embargo, los cambios también pueden ocurrir debido a la propagación de una enfermedad grave o inundaciones, huracanes u otro evento similar (vea el Capítulo 7).

Dos parámetros que son útiles para describir la abundancia o el tamaño de una población por comparación son la frecuencia y la densidad. Frecuencia se refiere a la proporción de unidades espaciales en un área que contiene a los miembros de la población, como la proporción de los campos, o el área en una finca, o en un paisaje que contiene una variedad particular. La densidad es la cantidad de individuos por unidad de área, campo o finca. Cada hogar de una aldea puede cultivar una variedad de árbol frutal en particular y tiene una alta frecuencia, pero baja densidad, suponiendo que los agricultores solo cultiven una de cada variedad en cada finca.

Incluso en poblaciones de plantas naturales, no todos los individuos en una población producirán la misma cantidad de progenie en la próxima generación. En las poblaciones de cultivos, los agricultores a menudo seleccionan un número limitado de plantas o semillas líderes para proporcionar las semillas del próximo año, pero incluso sin esto, las semillas realmente sembradas generalmente provienen de un pequeño número de plantas del cultivo anterior. El tamaño “efectivo” de una población es, a lo sumo, la cantidad de individuos que realmente aportan gametos a la siguiente generación. Es probable que sea menor si la fecundidad de cada planta parental varía mucho, como cuando la mayoría de las semillas provienen de una sola planta. En tales casos, el tamaño efectivo suele ser mucho más pequeño que el tamaño real de la población. Además de depender de las decisiones de los agricultores sobre el número de parentales de la semilla, el tamaño efectivo de la población reflejará cualquier efecto fundador anterior,

cuellos de botella del tamaño, sistema de cruzamiento del cultivo y variación en la fecundidad de las plantas.

Madurez, Perennialidad y Estructura

Como se señaló anteriormente, las diferencias en la madurez de las plantas en una población pueden tener un efecto significativo en la estructura de una población. Las plantas que florecen en diferentes momentos no se entrecruzarán, y esto puede conducir a la divergencia en diferentes subpoblaciones en diferentes momentos. Por supuesto, esto puede ayudar a los agricultores a garantizar la continuidad del suministro de un cultivo, como es el caso de muchas verduras frescas. Los tiempos de floración diferencial también son importantes en el aislamiento de diferentes variedades, como en el maíz, lo que ayuda a mantenerlos diferenciados al disminuir la posibilidad de cruzamiento.

Determinación se refiere a la tendencia de las plantas a una floración y maduración coordinadas en una población al mismo tiempo. La determinación puede estar bajo fuerte presión de selección en el campo del agricultor, para la producción y cosecha de semillas. Las plantas pueden diferir sustancialmente en edad y maduración, pero aún tienen un largo período (durante muchos años) de posible superposición en los momentos de floración y fructificación. En poblaciones de especies de plantas perennes es el momento de los eventos de floración dentro de un año, en lugar de la madurez *per se*, lo que afectará la estructura de la población.

Las especies de cultivos perennes, como los árboles frutales y las palmas datileras, pueden tener una compleja estructura de edad en la finca. Los agricultores pueden haber elegido genotipos diferentes al sembrar nuevas cohortes o reponer las pérdidas. Esto conduce a oportunidades para afectar el sistema de cruzamiento, el rendimiento de la fruta y el intercambio de genes entre cohortes de edad. En poblaciones de plantas silvestres, una cohorte importante en la estructura de edad es el banco de semillas latentes en el suelo. Las semillas descartadas de frutos y los bancos de semillas locales son análogos en poblaciones de cultivos hortícolas y de campo.

Conectividad

La conectividad se refiere a los enlaces entre los elementos distribuidos espacialmente entre las poblaciones de plantas e involucra tanto el aislamiento espacial de las poblaciones como la frecuencia de migración (de semillas o polen)

entre poblaciones o subpoblaciones. El término “flujo de genes” se aplica cuando las poblaciones del donante y del receptor difieren en la frecuencia de los alelos. Varios modelos teóricos están disponibles para analizar la conexión entre poblaciones, como el modelo de isla continente, el modelo de isla múltiple y el modelo de escalón (ver Hamilton 2009 para más información).

El concepto de metapoblación (o “población de poblaciones”) se encuentra en un extremo del espectro de “conexión”. La dinámica principal de una metapoblación es la extinción de distintas poblaciones en el sistema para dejar temporalmente “nichos” vacantes, y luego volver a ocuparlos o colonizarlos mediante la dispersión. El concepto enfatiza los procesos ecológicos locales de extinción y recolonización en lugar de los genéticos de la polinización cruzada, la migración o la mezcla de semillas. El concepto de metapoblación parece relevante para situaciones en las que se cultiva una variedad única en diferentes campos alrededor de un paisaje. Ocasionalmente, la variedad puede perderse de una finca o campo y, posteriormente, el agricultor puede reemplazarla con semillas frescas de otra fuente externa. La forma en que los enfoques de la metapoblación pueden ser útiles para comprender la estructura genética de las variedades tradicionales se analizará en el Capítulo 11.

En situaciones donde el tamaño de la finca o el campo disminuye, o donde las nuevas variedades refinadas modernas se extienden sobre áreas cada vez mayores de la tierra, el área en que crece una variedad tradicional particular puede reducirse a un tamaño más pequeño. En última instancia, el muestreo inherente a tales procesos podría dar lugar a nuevas variantes reconocibles, particularmente en combinación con las elecciones de un agricultor. Algunas variedades de cultivos pueden continuar existiendo durante un largo tiempo en poblaciones muy pequeñas cultivadas por solo uno o dos agricultores, mientras que otras desaparecen rápidamente, pero si esto está relacionado con su pequeño tamaño de población o por otras razones (por ejemplo, el agricultor encuentra una mejor variedad alternativa) es difícil de establecer. Es probable que las pequeñas poblaciones de variedades raras de cultivos parcial o completamente alógamas padezcan la pérdida de variantes alélicas y depresión consanguínea.

Poblaciones Mínimas Viables

El tamaño, el ciclo de vida, la conexión y el sistema de reproducción (ver a continuación) de una población forman el marco para el concepto de una población mínima viable. Este es el tamaño de una población que se necesita para tener un nivel de diversidad genética que asegure la persistencia de una pobla-

ción durante un tiempo específico, generalmente con una probabilidad específica (ver Frankel et al. 1995 para mayor discusión). En las plantas de cultivo, el concepto puede ser más relevante en relación con el mantenimiento de pequeñas poblaciones de grandes especies perennes, como árboles frutales o cultivos de huertos caseros, como especias, chiles o vegetales. Sin embargo, dada la naturaleza esencialmente ordenada de las variedades de cultivos y la importancia de las decisiones de los agricultores para determinar la existencia continua de una variedad, el concepto de población mínima viable es difícil de aplicar a la conservación de los cultivos, aunque es un concepto útil para evaluar los tamaños de población observados.

Estructura Genética de la Población

Hasta ahora hemos estado discutiendo las poblaciones en términos del número de individuos sin ninguna referencia particular a su composición genética. El análisis de la estructura genética de la población dirige la atención a las características genéticas de las poblaciones –los genes y las variantes alélicas y sus frecuencias en una población– y cómo estas varían dentro de las poblaciones y entre ellas en el espacio y el tiempo. Como se señaló anteriormente, se ha desarrollado una gama considerable de diferentes métodos para determinar el alcance y la distribución de la diversidad dentro de las poblaciones y entre ellas. Estos incluyen el análisis de la variación tal como se encontró usando caracteres morfológicos, variables cuantitativas relacionadas con el desempeño, rasgos bioquímicos y marcadores de ADN. Muchos países y laboratorios de todo el mundo ahora tienen la capacidad de generar datos moleculares a partir del Polimorfismo de Longitud de Fragmentos Amplificados (AFLP), microsátélites, Polimorfismo de Nucleótido Único (SNP) y Marcador de Secuencia Expresada (EST). Las capacidades de secuenciación se han desarrollado rápidamente en la última década y ahora es realista hablar en términos de generar secuencias de ADN de loci específicos de grandes cantidades de plantas, o incluso de generar datos de secuencia completa para un número significativo de plantas de una especie (ver Capítulo 5). Sin embargo, el manejo y el análisis de los datos de dichos procedimientos aún presenta problemas importantes.

A pesar del extraordinario desarrollo de las capacidades de análisis de ADN, vale la pena recordar que todavía se puede obtener mucha información útil a partir de datos cuantitativos o simplemente a partir de datos sobre distribución de variedades, siempre que se recopile y analice de forma que se informe sobre preguntas dirigidas específicas. Incluso el conjunto más completo de datos de

ADN necesita estar relacionado de alguna forma con los rasgos morfológicos, agronómicos y otros rasgos útiles en los que los agricultores y productores están interesados.

Riqueza y uniformidad

La riqueza y la uniformidad son dos conceptos o parámetros clave de la diversidad de particular importancia para estudiar y mantener la diversidad de los cultivos. La riqueza es la cantidad total de diferentes alelos, genotipos o tipos distintos presentes en una muestra específica. La uniformidad se refiere a la similitud en la frecuencia de los diferentes tipos (alelos o genotipos) y la falta de uno o pocos tipos que superan con creces a todos los otros tipos concurrentes (Frankel et al. 1995). Los conceptos de riqueza y uniformidad se pueden aplicar a datos moleculares tales como números de alelos de microsatélites, haplotipos, estados alélicos identificables (por ejemplo, colores de semillas o marcadores bioquímicos). Se aplican también a las frecuencias de variedades de cultivos individuales o al número de cultivos o especies presentes en un sistema de producción. Más comúnmente, los datos cualitativos se usan para estimar la riqueza y la uniformidad, pero los datos cuantitativos también pueden proporcionar estimaciones (tabla 4.2).

TABLA 4.2. MEDIDA DE RIQUEZA Y UNIFORMIDAD.

	<i>Riqueza</i>	<i>Uniformidad</i>
Datos cuantitativos o métricos	Rango (depende del tamaño de la muestra) Después de clasificar, el número de clases	Coefficiente de variación, asimetría, curtosis Componentes de varianza
Datos cualitativos o de recuento	Número de tipos Número de alelos por locus Número de multi-locus genotipos, clones, haplotipos	Similitud en la frecuencia de los tipos Índice de diversidad genética (Nei) Índice de diversidad genética de Nei, Índice de diversidad genética de Shannon-Weaver. Nota: estos índices combinan la uniformidad y la riqueza.

La Tabla 4.3 presenta un ejemplo de riqueza y uniformidad de las variedades de sorgo de Yambasse en Burkina Faso. Los resultados de una encuesta a ocho agricultores diferentes muestran que cultivaron un total de seis variedades

diferentes en áreas que variaban desde 5,000 m² hasta 17,500 m². La variedad más común (Belko) se cultivó en el 38 por ciento de la tierra utilizada, mientras que la menos común (Bura pelga) se cultivó en solo el 3 por ciento de la tierra. Los agricultores individuales aumentaron de una a tres variedades en áreas que variaban aproximadamente entre 2,500 m² y 10,000 m² (1 ha).

A partir de los datos, fue posible calcular la riqueza y la homogeneidad para cada agricultor y para la comunidad muestreada (riqueza = 6; la uniformidad calculada como el índice Nei de diversidad genética [o heterocigosidad panmictica H_e] = 0.72). También fue posible estimar la divergencia –la proporción de diversidad adicional que se puede encontrar en diferentes áreas de variedades, mantenida por los diferentes agricultores en la muestra (comunidad H_e – media del agricultor H_e / comunidad H_e = 0.36).

Jarvis et al. (2008) investigaron la diversidad de variedades tradicionales de 27 cultivos de ocho países (figura 4.1). Registraron nombres de variedades y las áreas que las variedades ocuparon en tres comunidades en cada país al hablar con agricultores de más de 2,000 hogares en 26 comunidades en los diferentes países. Los investigadores encontraron que la riqueza y la uniformidad estaban estrechamente relacionadas, tanto a nivel de finca como a nivel comunitario. En algunos casos, se produjo una gran dominancia, y gran parte de la riqueza de variedades se mantuvo a bajas frecuencias. Esto sugirió que la diversidad puede mantenerse como un seguro para cumplir con los cambios ambientales futuros o las necesidades sociales y económicas. En otros casos, se encontró una distribución de frecuencia más uniforme de las variedades, lo que posiblemente implica que los agricultores están seleccionando variedades para atender a una diversidad de necesidades y propósitos actuales. Las estimaciones de divergencia, medidas como la proporción de uniformidad de la comunidad mostrada entre los agricultores, subrayan la importancia de que un gran número de fincas pequeñas adopten estrategias varietales distintivamente diversas como una fuerza importante que mantiene la diversidad genética de los cultivos en fincas.

Diversidad, Heterocigosidad, Consanguinidad y Estructura

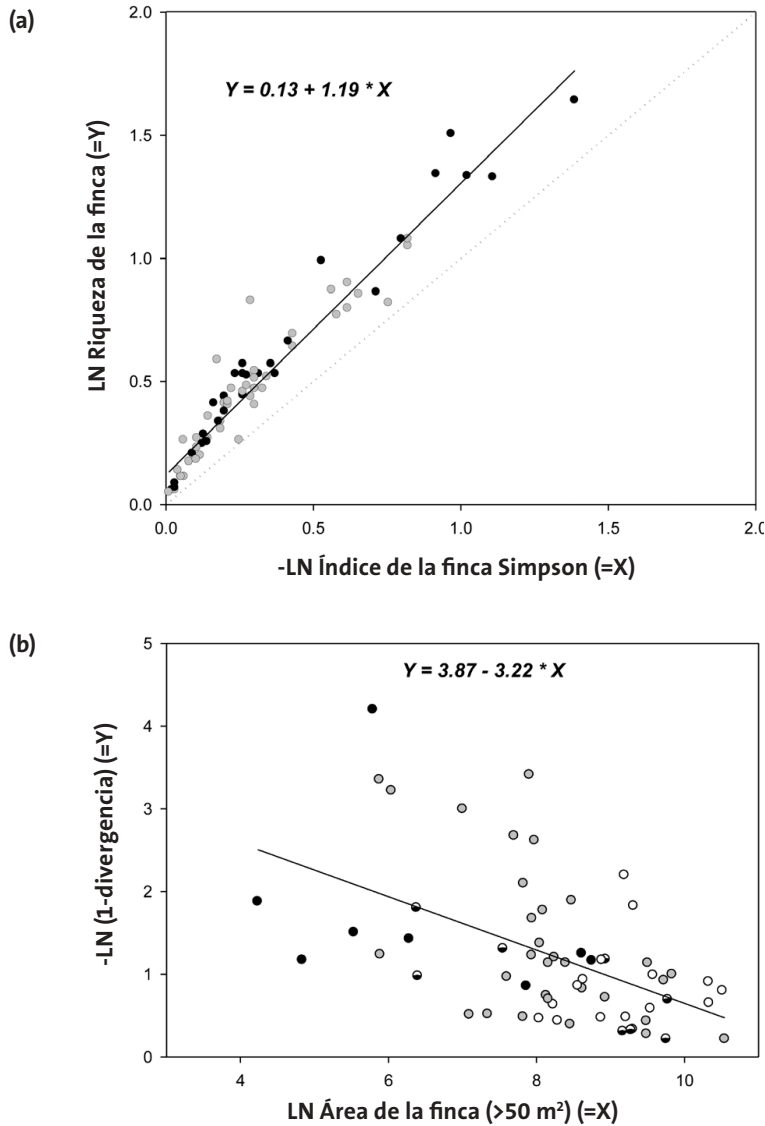
A nivel alélico, los siguientes parámetros genéticos de la población y sus estadísticas de muestreo se utilizan comúnmente para describir diferentes aspectos de la diversidad genética en las poblaciones.

En el nivel alélico, los siguientes parámetros genéticos de la población y sus estadísticas de muestreo se utilizan comúnmente para describir diferentes aspectos de la diversidad genética en las poblaciones.

TABLA 4.3. RIQUEZA Y UNIFORMIDAD DE LAS VARIETADES DE SORGO PARA UN SOLO SITIO EN YAMBASSE, BURKINA FASO.

<i>Nombre del agricultor</i>	Nombres de las variedades de Sorghum									
	Área total (m ²)	<i>Belco</i>	<i>Gambre</i>	<i>Kara Wanga</i>	<i>Zulore</i>	<i>Zugitssi</i>	<i>Bura pelga</i>	<i>Riqueza del hogar</i>	<i>Hogar Simpson (I-SC)</i>	
Bouda, Laurent	17,500	0.29		0.14		0.57		3	0.57	
Mare, Salamata	5,000		0.50	0.50				2	0.50	
Ouedraogo, Marcelline	5,000	1.00						1	0.00	
Ouedraogo, Hamidow	17,500	0.29			0.14	0.57		3	0.57	
Sampelga, Barahissa	5,000		0.50				0.50	2	0.50	
Ouedraogo, Inoussa	7,500	0.67				0.33		2	0.44	
Dakkisaga, Boukare	17,500	0.57			0.14	0.29		3	0.57	
Dakkisaga, Bintou	5,000		0.50	0.50				2	0.55	
Total de tierra cultivada de <i>Sorghum</i> de la muestra HH	80,000									
Media de la riqueza media de HH y Simpson								2.25	0.46	
Riqueza de la comunidad (número total de variedades en la comunidad)								6		
Área cubierta por cada variedad en la comunidad (%)		0.38	0.09	0.09	0.06	0.34	0.03			
Comunidad Simpson (basada en el porcentaje de área cubierta por cada variedad al nivel de comunidad)									0.72	
Divergencia (= Comunidad simp - media HH Simp/Comunidad Simp)									0.36	

Fuente: Sawadogo et al. (2005b)



(a) Relación entre la uniformidad de la finca y la riqueza de la finca, ambas en una escala logarítmica. Círculo negro = elemento principal; círculo gris = elemento no principal; 2 3 2 contingencia ($p = 0.03$).

(b) Relación entre el área de la finca y la divergencia, ambas en una escala logarítmica. Círculo blanco = cruzamiento; círculo semi-lleno = cruzamiento parcial; círculo gris = consanguíneo; círculo negro = clonal. El gráfico excluye las fincas con $<50 \text{ m}^2$ por hogar (es decir, huertos caseros).

Figura 4.1. Riqueza, uniformidad y divergencia a nivel de finca para 27 cultivos de 26 comunidades en ocho países diferentes (de Jarvis et al. 2008, Copyright 2008 National Academy of Sciences, U.S.A.)

Porcentaje de loci polimórficos. Esta es la proporción de loci muestreados que se consideran polimórficos. La estimación depende de la frecuencia del alelo mayoritario por encima del cual el locus se define como monomórfico (por ejemplo, 95 por ciento o 99 por ciento) y la técnica utilizada para detectar la variación. La medida comparable en estudios moleculares es la proporción de sitios de nucleótidos segregados por sitio de nucleótidos.

Riqueza alélica. Se estima generalmente como el número promedio de alelos por locus para un número de loci en la(s) población(es) bajo consideración. Describe la cantidad de diversidad en la variedad, población o área bajo consideración. El tamaño de la muestra afecta fuertemente el valor real de la estimación. Cuando las comparaciones se realizan entre poblaciones en base a muestras de diferentes tamaños, la estimación puede ajustarse utilizando métodos de sub-muestreo o rarefacción.

Heterocigosis. La proporción de genotipos que son heterocigóticos, es otra medida útil de la diversidad genética dentro de una población. El nivel observado de heterocigosis (H_o) es la proporción de loci que se encuentran genéticamente heterocigóticos y mide la combinación de alelos en genotipos diploides. El nivel esperado de heterocigosis ($H_e = 1 - \sum p_i^2$) es el nivel de heterocigosis que se espera del apareamiento aleatorio (panmixia) dado un conjunto de frecuencias alélicas (p_i). Esta heterocigosis panmíctica esperada es una medida de la diversidad genética conocida como el índice de la diversidad genética de Nei. Está claramente relacionado con el índice de dominancia ecológica de Simpson ($\sum p_i^2$). La diferencia entre la cantidad de heterocigosis observada (H_o) versus la esperada (H_e) puede proporcionar información sobre la cantidad de consanguinidad en una población o variedad.

Consanguinidad es el apareamiento de individuos relacionados dentro de una población. En organismos acostumbrados a la exogamia (por ejemplo, el maíz), la consanguinidad continua puede resultar en la pérdida de aptitud o conducir a la depresión consanguínea.

Diversidad genética. La diversidad de Nei es la probabilidad de que dos elementos extraídos aleatoriamente de una población o muestra sean diferentes: que dos copias aleatorias de un gen tendrán alelos diferentes, o que dos variedades aleatorias de un cultivo extraídas de la misma área serán diferentes. En estudios moleculares, la diversidad de nucleótidos es el número promedio de diferencias de nucleótidos por sitio entre dos secuencias elegidas al azar de una población de muestra. En poblaciones de apareamiento aleatorio, esto corresponde a la heterocigosis a nivel de nucleótidos.

Divergencia. La divergencia se puede definir y medir de diferentes maneras. Una forma es pensar en la diversidad genética total en todo el sistema (por ejemplo, un país o un conjunto de poblaciones en una región) y compararla con el promedio de la no-identidad (diversidad de genes de Nei) dentro de las poblaciones, medida como cualquier conjunto de rasgos o marcadores. La divergencia se mide entonces como la proporción de la no-identidad total que se encuentra entre las poblaciones. Por lo tanto, la diferenciación poblacional puede medirse como la proporción de (H_T) que está por encima de la diversidad genética promedio (heterocigosis panmíctica) que se encuentra dentro de las poblaciones (H_S): $G_{ST} = 1 - (H_S/H_T)$.

Esta medida es conveniente para la comparación entre diferentes sistemas, pero insensible a la acumulación de divergencia entre poblaciones, o cuando la no identidad local (H_S) ya es alta. No toma en cuenta la diferencia de las entidades: dos secuencias, dos variedades, dos fincas, dos regiones, etc. En ausencia de selección, la tasa de divergencia es igual a la tasa de mutación e independiente del tamaño de la población, refleja la deriva genética. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones de cultivo, la selección por parte de los agricultores probablemente aumentará la tasa de divergencia y magnificará el efecto de la deriva.

Frecuencia y distribución de alelos. Los alelos pueden estar diseminados y ocurrir en muchas poblaciones, o pueden estar localmente restringidos y ocurrir solo en una o dos poblaciones en todo el rango de cultivos o especies. Pueden ocurrir a frecuencias razonables (usualmente mayores a 0.05) a lo largo de su rango o ser más o menos raras (frecuencia menor de 0.05).

Marshall y Brown (1975) utilizaron la frecuencia y distribución de los alelos para distinguir cuatro tipos de frecuencias alélicas (tabla 4.4). Sugirieron que, en igualdad de condiciones, las estrategias de conservación deberían enmarcarse para maximizar las posibilidades de mantener los alelos locales comunes, ya que tales alelos probablemente incluirían aquellos que eran adaptativos en lugares específicos como la tolerancia al estrés local (por ejemplo, sequía, helada o enfermedad). Los alelos que son dispersos y comunes se incluirán automáticamente en cualquier estrategia de muestreo razonable.

Evolución en Variedades de Cultivos y Poblaciones

Los cultivos han experimentado cambios importantes con el aumento de la domesticación en los últimos milenios, y continúan cambiando y evolucionando bajo la influencia de la selección natural y humana. Durante gran parte de este tiempo, los agricultores han seleccionado su diversidad de cultivos y han

TABLA 4.4. DIFERENTES CLASES DE FRECUENCIA DE ALELOS Y DISTRIBUCION DE ALELOS.

		Distribución de alelos	
		Extendido	Local
Frecuencia alélica	Común Raro		

formado, tanto deliberada como inconscientemente, sus cultivos para satisfacer sus necesidades y sus entornos particulares. En los últimos 150 años aproximadamente, el mejoramiento comercial o científico de plantas ha eclipsado la selección en fincas, produciendo cambios mucho más rápidos en algunos de nuestros cultivos más importantes como el arroz, el trigo, el maíz, frutas y verduras de alto valor y semillas oleaginosas.

El cambio evolutivo es un proceso inevitable que acompaña al manejo de plantas de cultivo y produce efectos que a menudo son más obvios para el observador que los observados en poblaciones silvestres (por ejemplo, la forma, el color y el tamaño de la parte recolectada de la planta). La evolución brinda como resultado diferencias entre las variedades, que reflejan diferencias en la extensión y distribución de la diversidad genética presente en las poblaciones de los cultivos. Esta diversidad no se distribuye al azar en el espacio y el tiempo. Las frecuencias de los diferentes alelos y su naturaleza, así como las diferentes características de la población, tales como heterocigosis, diversidad genética, equidad y riqueza, son el resultado de diferentes fuerzas evolutivas (selección, mutación, recombinación, migración y deriva genética), biología reproductiva, incluyendo sistemas de reproducción, polinización y mecanismos de dispersión de semillas, y de las formas en que estos interactúan entre sí en diferentes cultivos y situaciones, creando oportunidades para el aislamiento genético, flujo de genes, extinción de poblaciones locales y otros factores.

El análisis de Barnaud et al. (2007) sobre la estructura genética y la dinámica de las variedades tradicionales de sorgo en una aldea en el norte de Camerún proporciona un ejemplo de dicha interacción. Los campesinos del pueblo de Duupa distinguieron 59 taxones de sorgo, que representan 46 variedades tradicionales. En cada campo, las semillas se siembran como una mezcla (promedio de 12 variedades tradicionales por campo), dando el potencial para un amplio flujo de genes. Barnaud et al. (2007) registraron los patrones espaciales de siembra y las percepciones de los agricultores de las variedades tradicionales, y caracterizaron 21 de las variedades utilizando marcadores de Repetición de Secuencia Simple (SSR). El análisis, utilizando métodos de distancia y agrupamiento, reunió a las

21 variedades estudiadas en cuatro grupos. Estos grupos corresponden a grupos funcionales y ecológicamente distintos de variedades tradicionales. La variación genética dentro la variedad representó el 30 por ciento de la variación total. El G_{ST} promedio sobre las variedades tradicionales fue de 0.68, lo que sugiere una alta consanguinidad dentro de las variedades. La diferenciación entre variedades fue sustancial y significativa ($G_{ST} = 0.36$). Los factores históricos, la variación en los sistemas de mejoramiento y las prácticas de los agricultores afectan todos a los patrones de variación genética. Las prácticas de los agricultores son clave para el mantenimiento, a pesar del flujo genético, de las variedades tradicionales con diferentes combinaciones de características agronómicas y ecológicas.

Selección

Los individuos dentro de las poblaciones y de hecho diferentes poblaciones dentro de una especie inevitablemente difieren en su probabilidad de supervivencia y en su tasa de reproducción. Sin embargo, tal variación en la reproducción puede no tener necesariamente ninguna consecuencia evolutiva. Para lograr un cambio en la composición genética de la especie, los individuos que portan un determinado gen o combinación de genes deben estar consistentemente entre los favorecidos, en comparación con el resto de la población.

La selección es la principal fuerza evolutiva que determina los niveles y patrones de diversidad en los cultivos. Ocurre cuando algunos individuos en una población tienen más probabilidades de sobrevivir hasta la madurez y producir más descendencia en virtud de su constitución genética. La selección generalmente cambia las frecuencias de los alelos, favoreciendo algunos alelos a expensas de otros, y da lugar a cambios en las frecuencias de genotipos en las generaciones posteriores. Puede ocurrir en todas o cualquiera de las etapas de la vida de la planta o del cultivo: germinación, emergencia, crecimiento, floración, producción de semillas o cosecha.

No todos los procesos selectivos dan como resultado un cambio evolutivo. Por ejemplo, una población puede estar en equilibrio de frecuencia de alelos bajo una selección balanceada, como en el caso de los alelos de autoincompatibilidad en algunos cultivos de *Brassica*, o en la selección de múltiples nichos, donde las diferentes variantes se adaptan a diferentes parches ambientales. Dicha selección balanceada es una fuerza conservadora importante que retiene la diversidad en las frecuencias de equilibrio. Del mismo modo, no todos los cambios evolutivos son el resultado de la selección (por ejemplo, los cambios en la frecuencia de los alelos que surgen de los procesos de muestreo aleatorio, como la deriva genética

en poblaciones pequeñas y los cuellos de botella en el tamaño de la población). Sin embargo, en general, existe una estrecha relación entre la selección y el cambio genético evolutivo. El proceso de selección es extraordinariamente rico y variado. La teoría de la selección reconoce muchos modos, que se enumeran en la tabla 4.5 como los términos utilizados para especificar varios tipos de selección. Estos modos no deben verse como tipos exclusivos. Por el contrario, la mayoría de las situaciones en la finca o en la naturaleza conllevan una considerable acción conjunta de los diferentes modos de selección. El lector que desee un tratamiento detallado de cada modo lo encontrará en los libros de texto de genética de poblaciones que figuran en la Lectura Adicional.

TABLA 4.5. DISTINTOS MODOS DE SELECCIÓN AGRUPADOS SEGÚN LOS ATRIBUTOS PRINCIPALES QUE DEFINEN LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES EN LA APTITUD REPRODUCTIVA.

<i>Propiedades</i>	<i>Propósito o contexto</i>	<i>Modos de selección</i>
Fenotípico	Valores del carácter	Directa, Direccional, Estabilización Inconclusa, Disruptiva
	Conocimiento del agricultor	Deliberado, Inadvertido, Inconsciente, Correlacionado
Fluctuante	Variabilidad	Fluctuación Temporal o Espacial, Etapa de Vida o de Madurez
Genética	Diversidad alélica	Purificación, Equilibrio, Ventaja Heterocigótica, Diversificación
	Sistema genético	Haploide, Sexual, Kin
Población	Variables ecológicas	Natural, Dependiente, Frecuencia- o Densidad- Dependiente, Selección r vs. K

En los cultivos, la selección puede ser deliberada y realizada por los agricultores para mantener ciertas características o satisfacer necesidades específicas. Además, las operaciones agrícolas pueden implicar presiones de selección inadvertidas que tienen resultados no planificados. En las poblaciones que albergan variación genética, la selección para la adaptación será el resultado del efecto de los factores ambientales. Ejemplos de selección deliberada y consciente incluyen el desarrollo y mantenimiento de variedades con ciertos colores de semilla o constitución del almidón en maíz (color azul o rojo, flint o dentado), hojas en achicoria (hojas enteras como en la variedad scarola o altamente diseccionadas como en la variedad indivia), características particulares de madurez (madurez temprana y tardía en muchos cultivos), o propiedades relacionadas con la cocción y el uso (como la dulzura en el sorgo).

Ejemplos de cambios inducidos de las selecciones correlacionadas o menos conscientes por los agricultores son: (1) cosecha temprana forzada por la sequía que conduce a cambios en la fecha de madurez (como en el caso de las variedades de sorgo y mijo en África Occidental en los últimos 20 años) (Bezançon et al. 2009), (2) la selección de tipos de plantas particulares, como la floración mínima en la papa como resultado de la selección para una mayor producción de tubérculos, y (3) la selección contra el desgrane en cereales de grano pequeño durante la domesticación. Las instancias de selección ambiental incluyen aquellas que resultan de presiones bióticas tales como tolerancia o resistencia a muchas plagas y enfermedades de campo (discutidas en el capítulo 7). En el capítulo 11 volveremos al punto crucial de que los diversos modos de selección interactúan en el sistema agrícola.

La efectividad de la selección direccional depende de la heredabilidad de los caracteres y la intensidad de la selección, como se expresa en la ecuación: $R = h^2S$, donde R es la respuesta a la selección, h^2 la heredabilidad y S es la intensidad de la selección. Los rasgos como los componentes de rendimiento y rendimiento varían cuantitativamente y están controlados por muchos genes cuya expresión está fuertemente influenciada por el medio ambiente. Tales rasgos suelen tener bajas heredabilidades y una respuesta de selección lenta por generación. Por el contrario, los rasgos de herencia simple responden rápidamente, ya que los agricultores pueden seleccionarlos fácilmente a favor o en contra.

En la práctica, los agricultores (y los mejoradores profesionales de plantas) generalmente observan muchos rasgos diferentes, a menudo bajo control genético complejo. Los tipos preferidos también pueden mostrar una aptitud física reducida en términos de su rendimiento general y supervivencia como resultado de los efectos pleiotrópicos o de ligamiento, de modo que los esfuerzos de selección de los agricultores se contrarrestan con otras fuerzas selectivas que actúan, por ejemplo, en los rasgos del ciclo biológico como características de dormancia de la semilla, crecimiento o respuesta al fotoperiodo. Esto significa que, incluso cuando los agricultores llevan a cabo una selección rigurosa, la respuesta puede ser pequeña, dejando cantidades significativas de variación en las variedades tradicionales. En especies alógamas como el maíz, la selección de plantas individuales dentro de las poblaciones se limita esencialmente al lado femenino. La semilla real elegida ha sido el resultado de una polinización abierta en gran parte al azar en el lado masculino. Tal sistema de mejoramiento es notablemente conservador con respecto a los efectos de la selección y retiene la diversidad genética en las poblaciones.

Mutación

La mutación es un cambio hereditario en la secuencia de nucleótidos de un cromosoma y, por lo tanto, una fuente de nueva variación genética. Las tasas naturales de mutación son bajas (alrededor de 10^{-5} por gen o 10^{-9} por sitio de nucleótido), y la mayoría de las mutaciones son neutrales en relación con la aptitud del organismo, o solo tienen efectos menores, generalmente perjudiciales. Sin embargo, la domesticación de cultivos ha sido el resultado de la selección por humanos de mutaciones específicas que proporcionan adaptación para el cultivo y uso, como los complejos génicos para la ausencia de desgrane en la mayoría de los cereales y el gigantismo en frutas y verduras discutidos en el Capítulo 2. En algunos casos, como la coloración del grano en el maíz, los humanos parecen haber seleccionado sistemas mutables que están asociados con una mayor tasa de mutación. Estos sistemas codifican patrones variados de semillas (maíz), tallos (caña de azúcar) u hojas y ayudan a los agricultores a reconocer las variedades. La detección por parte de los agricultores de “tipos extra” o formas nuevas, que pueden ser el resultado de una mutación, es un proceso continuo en muchos cultivos. Estos pueden mantenerse porque son valiosos para la producción o el uso o, simplemente, debido al interés humano en la diversidad y el deseo de mantenerla.

Recombinación

La recombinación es el proceso que genera nuevas combinaciones de alelos en genes ligados. Los genes que se transportan en diferentes cromosomas se recombinan libremente en la meiosis, mientras que los alelos que se encuentran en el mismo cromosoma se heredarán juntos en cierta medida dependiendo de qué tan cerca estén en el cromosoma (es decir, qué tan estrechamente relacionados estén) y la cantidad de recombinación. Al igual que con la mutación, la recombinación puede dar lugar a tipos de plantas visiblemente nuevas (nuevas combinaciones de caracteres o la expresión de alelos recesivos) que pueden ser seleccionados por los agricultores.

La oportunidad y los efectos de la recombinación están muy influenciados por el sistema de reproducción. La exogamia o el apareamiento aleatorio retiene la heterocigosis múltiple y la oportunidad de recombinación, mientras que la endogamia reduce la heterocigosis y por lo tanto disminuye la recombinación. En las especies alógamas, todas las combinaciones de genes (favorables o desfavorables) se dividirán por recombinación, a menos que se mantengan unidas

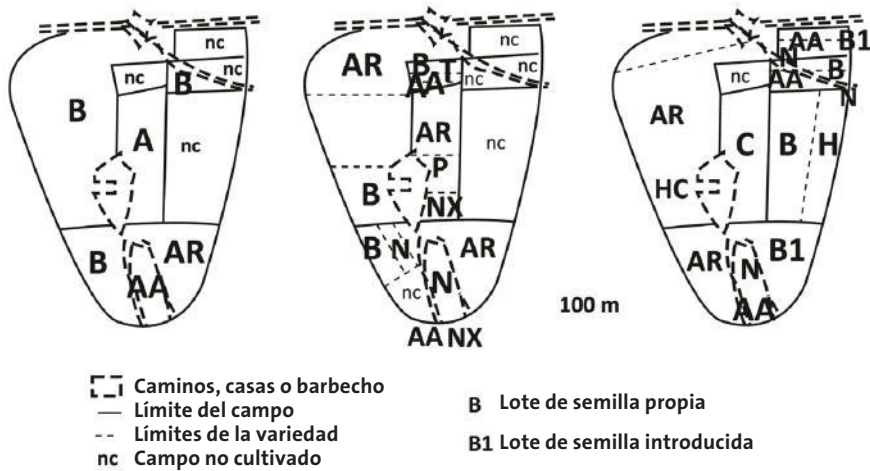
mediante un enlace cromosómico ajustado. En las especies diploides autofecundadas, la consanguinidad disminuye la recombinación entre los genes y mantiene juntas las combinaciones alélicas seleccionadas por más tiempo. Además, en cada generación, la consanguinidad reduce cualquier heterocigosis que estaba presente en genotipos favorecidos. Cuando las plantas se reproducen asexualmente, como por ejemplo plantas de tubérculos o tallos o de semillas que surgen por apomixis, se conserva todo el genotipo y no hay recombinación. Por lo tanto, la selección puede operar en ese nivel entre diferentes clones.

Migración

El movimiento de cultivos y variedades de un lugar a otro, de un país a otro y de un continente a otro es un rasgo característico de la agricultura. La migración de plantas domesticadas ha acompañado la migración de humanos, las especies migratorias más exitosas, y ha llevado al establecimiento de nuevos cultivos en diferentes áreas del mundo, como el maíz, la papa y el frijol en Europa y África, o el trigo y la soya en las Américas. Este proceso es similar a la dispersión de poblaciones naturales y la fundación de otras nuevas. En genética de poblaciones, la migración se aplica al proceso del movimiento de plantas individuales, propágulos vegetativos, semillas o polen entre poblaciones. Cuando el movimiento de este tipo se acompaña de cruces entre los migrantes y la población, el resultado es la integración genética en una nueva población introgresada. Cuando la muestra de gametos o semillas que llegan difiere genéticamente de la población receptora, se dice que ha ocurrido el flujo de genes.

La migración y el flujo genético asociado, administrados de forma deliberada y accidental, son características importantes de las variedades tradicionales de cultivos, particularmente en cultivos que se cruzan o que parcialmente se cruzan, como el maíz, el mijo perla o el sorgo. En el caso de estos cultivos de polinización cruzada, pueden ser necesarias prácticas de manejo deliberadas para asegurar que se mantengan las principales características de las variedades específicas. En algunos cultivos, el flujo genético de parientes silvestres de cultivos ha sido importante en su evolución, expandiendo gradualmente su base genética y aumentando la cantidad de diversidad disponible para la selección (Jarvis y Hodgkin 1999).

Al igual que la mutación o la recombinación, la migración también puede ser una fuente útil de nueva variación para el agricultor. La migración seguida de cruces y recombinaciones crea nuevas variantes que pueden formar parte de las variedades tradicionales existentes o pueden conducir a otras nuevas. Un es-



Ciclo corto local: B = Blanco, N = Negro, AA = Amarillo Ancho, Ta = Tabloncillo, P = Perla.
Ciclo largo local: C = Chianquiahuitl.
Ciclo largo foráneo: A = Amarillo, AR = Argentino, NX = Negro exótico, H = híbrido.

Figura 4.2. Ubicación de las variedades de maíz en siete campos observados durante tres temporadas del cultivo (redibujado por Louette 1999, reimpresso con permiso de Lewis Publishers)

tudio detallado de Louette (1999) reveló un patrón continuamente cambiante de variedades de maíz (tanto tradicionales como modernas) en siete campos en Cu-zalapa, México, en tres épocas de cultivo. Se produjeron reducciones regulares en el tamaño efectivo de la población en una proporción de lotes de semillas con la pérdida de alelos raros. Louette argumentó que si los agricultores hubiesen manejado sus lotes de semillas aislados unos de otros, la diversidad de algunos lotes de semillas habría disminuido, lo que resultaría en una mayor consanguinidad y la pérdida de potencial productivo. Sin embargo, este no fue el caso, ya que tanto la migración (la introducción de nuevas variedades) como las prácticas de manejo de los agricultores se combinaron para dar como resultado la introducción de nueva diversidad y un flujo sustancial de genes entre las variedades de maíz (figura 4.2).

Deriva genética

Las fluctuaciones aleatorias de las frecuencias génicas en una población de una generación a otra dan lugar a la deriva genética. El efecto de la deriva

genética depende del tamaño de la población; a medida que las poblaciones se vuelven más pequeñas, el efecto es mayor. En última instancia, la deriva genética conducirá a la fijación de alelos en cualquier locus, un proceso que ocurrirá al azar para que diferentes alelos se puedan fijar en dos o más poblaciones o subpoblaciones en cualquier locus particular. La deriva genética en subpoblaciones divididas puede dar lugar a pequeños cambios entre las poblaciones, que se acumulan durante generaciones y dan lugar a la diferenciación genética.

En la biología de la conservación, los efectos potenciales de la deriva genética son más evidentes en poblaciones muy pequeñas, es decir, en muestras muy pequeñas o en los cuellos de botella. Los dos principales efectos generales son la pérdida de variantes alélicas, particularmente las raras, y un aumento en el nivel de consanguinidad (o reducción en la heterocigosis). A medida que la población o el tamaño de la muestra disminuyen, la pérdida de riqueza alélica o erosión genética es evidente en primer lugar, y los efectos de la consanguinidad predominan en poblaciones pequeñas. Esta teoría se basa en la llamada regla 50-500, en la que el tamaño mínimo viable de la población para evitar la consanguinidad es de 50, y para frenar la erosión genética es de 500. Evitar la depresión consanguínea es una cuestión de adaptación inmediata y adecuación para la supervivencia actual, y la riqueza alélica es necesaria para la adaptación o la supervivencia a entornos futuros. El lector es referido a libros de texto de genética poblacional como Frankham et al. (2010) para un tratamiento posterior de estos temas.

Biología Reproductiva

La biología reproductiva se refiere a los diversos mecanismos que permiten a una planta generar descendencia. Influye en la forma en que la diversidad genética se reparte y se difunde dentro y entre las poblaciones y, por lo tanto, es un proceso clave en la dinámica de la diversidad en las fincas.

Sistemas de Cruzamientos (Apareamiento)

Los sistemas primarios de apareamiento en las plantas son el cruzamiento (fecundación cruzada), la autogamia (autofecundación) y la reproducción asexual o vegetativa (incluida la apomixis, que es la reproducción asexual sin fertilización que surge por la modificación de la función sexual). En muchos cultivos, pueden ocurrir sistemas mixtos de apareamiento, aunque la selección humana generalmente ha favorecido a uno sobre el otro (por ejemplo, la produc-

ción de semillas en cereales o la propagación clonal en la papa). El sistema de reproducción está influenciado por el tiempo hasta la madurez, la determinación de la floración, el modo de polinización y el grado de relación entre los parentales, así como por características morfológicas o bioquímicas específicas (como monoecia = flores masculinas y femeninas en la misma planta como en el maíz, dioecia = población de plantas con plantas masculinas y femeninas separadas, como el pistacho, o sistemas de autoincompatibilidad como en algunos cultivos de *Brassica*). Los sistemas de mejoramiento de las plantas cultivadas ayudan a determinar cómo se formará la diversidad genética dentro y entre sus poblaciones, y cómo la nueva diversidad genotípica puede surgir en especies individuales.

Las plantas con altos grados de autofecundación se conocen como consanguíneas o autógamas. Las plantas que son autoincompatibles son predominantemente exógenas o alógamas. Las plantas propagadas asexualmente o vegetativamente se denominan algunas veces especies clonales. De hecho, las poblaciones de plantas muestran una amplia gama de sistemas de reproducción. Los sistemas son flexibles y varían tanto entre las poblaciones como a lo largo del tiempo. Un ejemplo de esto proviene de la canasta de genes del tomate (especies de *Lycopersicon*). El tomate cultivado (*L. esculentum*) y otras especies son autógamas, mientras que otras especies son completamente autoincompatibles y, por lo tanto, alógamas (por ejemplo, *L. chilense*). Sin embargo, para algunas especies, la situación es más dinámica. Por lo tanto, *L. pinpinellifolium*, posiblemente un ancestro del cultígeno, es autocompatible, pero con un 40 por ciento de cruzamiento en el centro de su prolongada distribución, disminuyendo al 0 por ciento en sus extremos. Otras especies de *Lycopersicon* (como *L. hirsutum*) son autoincompatibles y genéticamente variables en sus poblaciones centrales, pero autocompatibles en poblaciones marginales y prácticamente monomórficas.

En las alógamas, la reproducción sexual resulta en la producción de individuos con nuevas combinaciones de genes, y cada individuo es genéticamente único. La heterocigosis promedio de la población se mantiene mientras se generan individuos con nuevas combinaciones de los alelos en diferentes loci. Por el contrario, las especies que se autofertilizan producen una progenie en la que cada planta individual lleva una muestra de los alelos de cualquier locus que todavía es heterocigoto en su planta parental, y por lo tanto, en promedio, se pierde la mitad de su heterocigosis parental. Con el tiempo, este proceso congela la diversidad en linajes aislados y restringe en gran medida la tasa de generación de nuevos genotipos multi-locus. En contraste, nuevamente, las plantas que se reproducen asexualmente regeneran enteramente su genotipo multi-locus, salvo una mutación rara. Las poblaciones de plantas son de tamaño finito, y un pe-

queño número de progenitores (como los fundadores o los cuellos de botella después de la selección) pueden combinarse con un sistema de auto-apareamiento o clonal para erosionar rápidamente la diversidad de locus únicos y multi-locus.

Dado que la reproducción sexual implica el intercambio de material genético, conocer el modo de reproducción de una especie es un factor importante para comprender el perfil de la diversidad genética dentro de una población. Por ejemplo, las poblaciones de especies que se entrecruzan tienden a tener niveles más altos de diversidad dentro de ellas en comparación con las poblaciones de especies predominantemente autofecundadas, que tienen más probabilidades de tener proporcionalmente más diversidad genética entre las poblaciones. Hamrick y Godt (1997) resumen el efecto del sistema de mejoramiento sobre la variación dentro y entre las poblaciones de cultivos, en base a un análisis de estudios de isoenzimas. La Tabla 4.6 es un resumen comparativo de las características genéticas de los tres modos principales de sistemas de mejoramiento en las plantas.

La reproducción asexual es una característica esencial de muchas plantas de cultivo que se propagan por porciones de raíz, tubérculos o esquejes. La papa, el ñame, la batata, el plátano, el taro y la caña de azúcar son todas especies de propagación asexual de gran importancia mundial. La mayoría de nuestros principales cultivos de frutales se propagan mediante esquejes, o por retoños de plantas seleccionadas como plantas “madre”, incluidas la fresa, la manzana, el albaricoque, el lichi y el rambután. En muchos de estos cultivos todavía puede producirse cierta reproducción sexual, lo que permite el desarrollo de nuevos tipos como resultado de la recombinación y la producción de semillas. En algunas regiones de los Andes, los agricultores y mejoradores explotan clones y semillas verdaderas de papa. Los agricultores en Benin mantienen clones favorecidos de ñame mediante la resiembra de secciones de raíz, al mismo tiempo que introducen nuevos materiales del bosque circundante que resultan de la reproducción sexual. En la palma datilera, la reproducción de retoños permite a los agricultores mantener genotipos deseables específicos, mientras que la germinación espontánea de semillas sexuales descartadas proporciona una fuente de nuevos genotipos a partir de los cuales un agricultor puede seleccionar un nuevo y atractivo fenotipo.

Polinización

La polinización es el movimiento de los granos de polen desde la antera hasta el estilo. Si bien es poco probable que el polen depende únicamente de la

TABLA 4.6. EFECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE FITOMEJORAMIENTO EN LAS PROPIEDADES GENÉTICAS DE LA POBLACIÓN.

<i>Propiedad genética</i>	<i>Cruzamientos</i>	<i>Autocruzamiento</i>	<i>Especies clonales</i>
Nivel de polimorfismo dentro de las poblaciones	alto	bajo	limitado
Riqueza alélica	alta	moderada	limitada
Heterocigosis	alta	baja tendiendo a cero	alta
Genotipos distintivos	individuos genéticamente únicos	limitado número de genotipos multi-locus	pocos genotipos o genotipos específicos
Recombinación	alta	limitada	ninguna
Poblaciones diferentes en los niveles de polimorfismo	limitado	alto	de poco a extremo
Población divergente	limitada	marcada	de poco a extremo
Respuesta al material de selección	conservativa, lenta	purificada, rápida	rígida, rápida
Migración	semilla y polen	estructura multi-locus	estructura multi-locus

gravedad para su dispersión es improbable que viaje más de unos pocos metros, el polen transportado por el viento puede viajar distancias mucho más largas. En algunos casos, se ha informado que el polen transportado por el viento viaja cientos de kilómetros. Para muchos cultivos, los insectos pueden ser un vector importante para la dispersión del polen (Klein et al. 2007) y se ha informado que transportan polen viable hasta un kilómetro desde su punto de origen.

Si bien el polen ocasionalmente puede viajar grandes distancias, la mayor parte de la polinización ocurre localmente y la fertilización comúnmente es el resultado del polen producido en las cercanías. La distancia dependerá en parte del sistema de reproducción del cultivo en cuestión. La investigación sobre las distancias de aislamiento necesarias para producir líneas de semillas puras proporciona una idea de los límites externos de la polinización exitosa para cultivos de diferentes sistemas de reproducción. El movimiento del polen en las especies alógamas es mucho mayor que en las que se autofertilizan. En cultivos alógamos 1,000 metros se considera una distancia de aislamiento segura. Por el contrario, la distancia de aislamiento segura para la mayoría de las especies que se autofertilizan suele ser de unos 200 metros y, en los cereales, distancias de 20 metros pueden ser suficientes.

Los diversos mecanismos para la dispersión del polen (gravedad, insectos, aves, viento) disponibles para una planta pueden tener un impacto importante en la distribución potencial de la diversidad genética dentro y entre poblaciones

de plantas (Loveless y Hamrick 1984). A diferencia de las especies silvestres, la dispersión genética por polen, aunque es localmente significativa en especies alógamas como el maíz, sigue siendo una fuerza mucho más débil que la dispersión por semilla. Los sistemas de semillas elaborados que implican fuerzas sociales y económicas a nivel local y la migración humana en escalas geográficas son una característica de las plantas de cultivo.

Dispersión de semillas

Entre las plantas que se reproducen sexualmente, varios mecanismos de dispersión de semillas también pueden afectar la distribución de semillas. Los posibles agentes de dispersión de semillas incluyen la gravedad, el viento, las inundaciones y diversos animales, incluidos los humanos. Algunas formas de dispersión de semillas pueden transportar semillas a grandes distancias de su origen y pueden tener un efecto significativo en la migración y el flujo de genes entre las poblaciones.

En la mayoría de las plantas de cultivo domesticadas, particularmente aquellas en las que la semilla es la principal parte útil de la planta, las formas naturales de dispersión de la semilla son insignificantes en comparación con las formas humanas de dispersión de semillas. De hecho, la capacidad natural de las semillas para desprenderse fácilmente de la mazorca o panícula, un término llamado “desgrane”, en muchos casos se ha perdido a través de la selección de los agricultores. El movimiento de cultivos, variedades y poblaciones manejado por el ser humano también puede tener efectos secundarios inesperados con la transferencia de materiales a nuevas situaciones o destinos no deseados. Aunque a menudo es beneficioso y una parte importante de la historia humana, a veces esta forma de dispersión puede tener consecuencias desastrosas a través de la introducción de una nueva plaga o enfermedad asociada, o la introducción de una nueva planta indeseable. Un ejemplo es la introducción del piojo harinoso de la yuca en África (Nassar y Ortiz 2007).

Para las especies silvestres, incluidos los parientes de las plantas de cultivo, los mecanismos naturales para la dispersión de semillas pueden tener un gran impacto en la migración individual y la genética de poblaciones. Como en el caso del polen, los sistemas de dispersión de semillas que dependen exclusivamente de la gravedad están limitados a las áreas que rodean a la planta madre. Por otro lado, las especies con sistemas de dispersión explosivos o plumosos a menudo dependen del viento para una mayor movilidad geográfica. Potencialmente, la mayor movilidad de las semillas se produce en diferentes formas de dispersión

animal, ya que las semillas que se adhieren o son devoradas por aves o mamíferos y pueden viajar cientos de kilómetros antes de depositarse.

Conclusiones

La diversidad genética que observamos en el campo y que proporciona la base para los medios de vida de los agricultores, así como el objeto de las actividades de conservación, resulta de la interacción de las fuerzas selectivas como la mutación, la recombinación, el flujo de genes y la deriva genética. La vía en que ellas trabajan en cualquier cultivo depende de la biología del cultivo, el entorno en el que ocurre y la forma en que se usa y crece. Los métodos genéticos poblacionales proporcionan la información necesaria para describir los patrones observados de diversidad y para desarrollar y probar hipótesis sobre los factores que son más importantes para crear, mantener o afectar los patrones observados. En el próximo capítulo exploraremos algunos de los enfoques que han demostrado ser más útiles para comprender la diversidad genética de los cultivos y para apoyar la conservación o el uso de la diversidad genética disponible.

Lecturas Adicionales

- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, y J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gillespie, J. H. 2004. *Population Genetics: A Concise Guide*. Johns Hopkins University Press.
- Hamilton, M. B. 2009. *Population Genetics*. Wiley Blackwell.
- Hartl, D. L., y A. G. Clark. 2007. *Principles of Population Genetics*, 4th ed. Sinauer Associates.
- Hedrick, P. W. 2004. *Genetics of Populations*, 3rd ed. Jones and Bartlett.
- Laurentin, H. 2009. "Data analysis for molecular characterization of plant genetic resources." *Genetic Resources and Crop Evolution* 56:277–92.
- Mohammadi, S. A., y B. M. Prasanna. 2003. "Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants—Salient Statistical Tools and Considerations." *Crop Science* 43 No. 4:1235–48.



Ilustración 4. La selección, el tamaño de la población y la biología reproductiva son los principales factores que determinan el nivel y los patrones de diversidad en los cultivos. Algunas plantas como la granada se caracterizan por tener flores hermafroditas (bisexuales) y flores funcionalmente masculinas en la misma planta, una condición conocida como andromonoecia. El flujo de genes de la migración, administrado deliberada y accidentalmente, es una influencia importante en las variedades tradicionales de los cultivos, particularmente en los cultivos de polinización abierta como el maíz. Arriba a la izquierda: variedades de maíz en Ecuador con diferentes épocas de floración, lo que ayuda a mantenerlos diferenciados al disminuir la posibilidad de cruzamiento. Arriba a la derecha: campesino de Uzbekistán que examina la fruta de granada para su selección. Abajo a la izquierda: diferentes tamaños de parcelas para las variedades de arroz tradicionales -un cultivo autógamo- que afectan el tamaño de las poblaciones de las variedades en Jumla, Nepal. Abajo a la derecha: los investigadores entrevistan a un agricultor marroquí en su campo de frijol faba, un cultivo alógamo facultativo, donde los niveles de alogamia pueden depender de la variedad sembrada y del medio ambiente. Créditos fotográficos: C. Fadda (arriba a la izquierda), M. Turdieva (arriba a la derecha), D. Jarvis (abajo a la izquierda), A. H. D. Brown (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 5

Midiendo la Diversidad en los Cultivos

Este capítulo analiza los diferentes tipos de información que describen el alcance y la distribución de la diversidad genética en los cultivos. También se describen los métodos mediante los cuales se obtienen y analizan los datos, y se identifican algunos de los problemas comunes que probablemente se encuentren al obtener, analizar e interpretar los datos.

Al final de este capítulo, el lector debe entender:

- Métodos para describir el alcance y la distribución de la diversidad dentro del cultivo en la finca utilizando nombres de variedades, rasgos agromorfológicos y marcadores bioquímicos y moleculares.
- Vías de trabajo con los agricultores para obtener información y datos sobre el alcance y la distribución de la diversidad.
- Diferentes formas de analizar datos de diversidad genética y de reunir información sobre los conjuntos de datos; la relación entre nombres e identidades de variedades de los agricultores; las descripciones de los agricultores de los rasgos y usos, y la estructura genética.

Cultivos y Variedades de Cultivos en Sistemas de Producción

Cualquier variedad de cultivo individual cultivada por un agricultor y que se produce en un paisaje agrícola particular existe dentro de un contexto más amplio del sistema de producción. Se cultiva junto con otros cultivos y variedades, a menudo junto con el ganado, y acompañado por otras especies de plantas que proporcionan cercas vivas, leña, materiales de construcción, medi-

cinas y otros productos útiles. Este contexto más amplio, junto con la naturaleza del entorno de producción, influye en la cantidad y el tipo de tierra disponible para un cultivo, las prácticas de cultivo y el momento de la producción, y las variedades de cultivos sembradas.

Se usarán diferentes cultivos y variedades en diferentes situaciones en la finca, dependiendo de factores tales como la calidad de la tierra y la disponibilidad de mano de obra. Un ejemplo común es la diferencia encontrada en los tipos de variedades de cultivos que pueden sembrarse en huertos familiares o cultivarse en el campo. Cualquier análisis de diversidad de los cultivos necesita tener en cuenta este contexto más amplio. También debe tener en cuenta las perspectivas de los diferentes tipos de agricultores (hombres y mujeres, agricultores más ricos y más pobres, jóvenes o viejos) con respecto a la importancia de los diferentes cultivos, el ganado y otras especies que mantienen y usan.

Las características del sistema de cultivo también tendrán un efecto importante en las variedades que los agricultores elijan cultivar. Por lo tanto, el cultivo migratorio, en todas sus muchas formas diferentes, implica el uso de cultivos y variedades que se adaptan a las diversas fases del ciclo de limpieza, cultivo y regeneración natural. En muchas partes del mundo, diferentes variedades tienden a ser preferidas para diferentes estaciones del cultivo (ver Capítulo 6). Por ejemplo, los agricultores pueden cultivar diferentes variedades de cebada durante las estaciones de *mehir* (lluvias largas) y *belg* (lluvias cortas) en Tigray, Etiopía (Hadado et al. 2009). En gran parte de la India y Nepal, se siembran diferentes cultivos y variedades en las estaciones de kharif y rabi, lo que refleja la disponibilidad de agua y otras características que distinguen las dos estaciones.

En cualquier investigación o programa de trabajo para apoyar el uso de variedades tradicionales en la finca, es útil incluir una serie de cultivos diferentes que proporcionen una imagen del sistema de producción como un todo. Elegir cultivos de diferentes categorías (por ejemplo, cereales, leguminosas de grano, semillas oleaginosas, vegetales, frutas), que reflejen las prácticas agronómicas, las necesidades del usuario, las perspectivas económicas y las características biológicas, es importante para determinar por qué existen patrones específicos de diversidad o se toman decisiones específicas.

Explorando el Alcance y la Distribución de la Diversidad

La información sobre el alcance y la distribución de la diversidad genética de un cultivo en cualquier área puede provenir de una variedad de fuentes diferentes que brindan información complementaria sobre cómo se organiza la

diversidad. Estos incluyen la identidad varietal (como se ilustra por los nombres o unidades separadas o distintas de un cultivo que un agricultor reconoce en su manejo), las formas en que se distribuyen los caracteres agromorfológicos o los caracteres visibles, y el rango y los patrones de variación en las características bioquímicas o moleculares, o “marcadores”. Ninguna de estas fuentes es completa en sí misma, y cada una proporciona información valiosa útil para comprender cómo los agricultores y las comunidades manejan la diversidad genética de los cultivos.

Estructura Varietal y Nombres

Comprender el alcance y la distribución de la diversidad genética de un cultivo en cualquier área comienza con la investigación de la selección del material de siembra del cultivo (semillas, tubérculos u otros propágulos) por los agricultores. Un primer paso en este proceso es comprender la estructura de la variedad. ¿Qué entienden los agricultores locales como la unidad de diversidad o variedad o grupo de variedades identificables? ¿Cuáles son las características del cultivo que son importantes para manejar la diversidad de variedades? ¿Qué personas están asociadas con la identidad de la variedad? ¿Qué prácticas afectan el mantenimiento y el intercambio de materiales?

Las respuestas a estas preguntas requieren una exploración de los aspectos físicos del sistema de producción (agua, suelo, etc.), los aspectos socioeconómicos y culturales (incluida la etnia, el sexo, los ingresos, el estatus social y la clase) y los aspectos geográficos (las formas en las cuales el agricultor, la comunidad y el paisaje están interrelacionados), así como la investigación más directa del manejo del material de siembra y de cómo los agricultores manejan sus cultivos. Estas investigaciones apuntan a entender las formas en que los agricultores en las comunidades reconocen y usan sus variedades. Toda esta información se obtiene mejor utilizando una gama de diferentes enfoques participativos en los que los agricultores y sus comunidades participan plenamente en el proceso de recopilación de información y son reconocidos como la necesaria fuente principal de información (ver también Susskind et al. 2012 para una evaluación crítica de algunos problemas generales asociados con los enfoques participativos).

Los nombres pueden reflejar un rango de diferentes propiedades asociadas con una variedad como:

- La fuente original del material (por ejemplo, un agricultor designado, una región o la estación experimental en la que se obtuvo).

- La morfología de la planta (por ejemplo, color, forma, hábito de crecimiento, altura).
- Desempeño agronómico de la variedad (por ejemplo, tiempo de floración, precocidad, capacidad de rendimiento).
- Adaptación de la variedad a factores ambientales particulares (por ejemplo, tipo de suelo, resistencia a enfermedades particulares).
- Uso del material (por ejemplo, rápido tiempo de cocción, sabor, posibilidad de usar como paja o forraje, roles religiosos o ceremoniales).

Los agricultores también perciben y usan los rasgos descriptivos de varias etapas en el desarrollo de una planta, desde la semilla hasta las plántulas, hasta la floración y la fructificación, para identificar y nombrar las variedades. Por lo tanto, las características que utilizan los agricultores para identificar y mantener las variedades tradicionales a menudo son complejas e interrelacionadas, ya que una variedad generalmente se define por una combinación de criterios agromorfológicos. Los nombres que los agricultores otorgan a las variedades son a menudo un reflejo directo de rasgos específicos, como las variedades de mijo africano (*Eleusine corocana*) en la provincia de Tigray, Etiopía, que se denominan según el color de su semilla: rojo (*keyih*), blanco (*tsa'ada*) o negro (*tselim*) (Teshaye y otros 2005). Sin embargo, los nombres locales de cultivos también pueden ser metafóricos, como la variedad de maíz *nal-t'eel*, cuyo nombre significa “maíz gallo” en el idioma de los agricultores mayas que lo cultivan en el sur de México, una referencia evocadora del estado de la variedad como el primer maíz en madurar en la región.

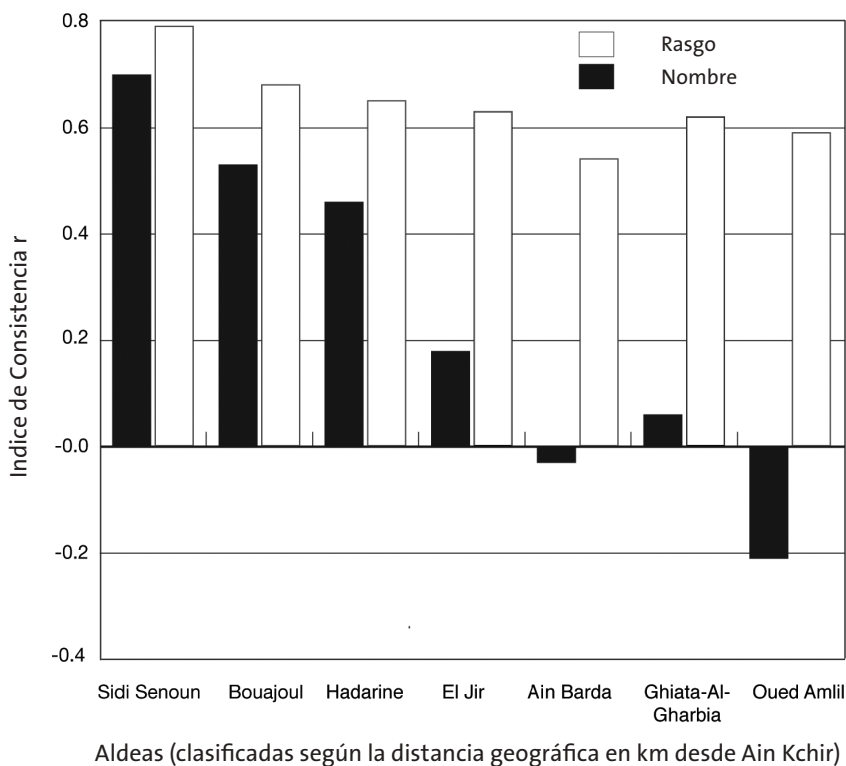
Las características que los agricultores prefieren o valoran más sobre una variedad determinada no son necesariamente las mismas que las que se usan para nombrarla. Por ejemplo, las características que los agricultores valoran en una variedad pueden relacionarse más con su agronomía (por ejemplo, rendimiento o resistencia a la sequía) o uso (por ejemplo, calidad de cocción o forraje), mientras que el nombre real de la variedad se refiere a sus propiedades visuales (por ejemplo, color o forma). Los nombres pueden cambiar con el tiempo. Una variedad recién introducida puede nombrarse según su fuente o la persona que la introdujo, pero a medida que se establece, adquiere un nombre asociado con sus características (Nuitjen y Almekinders 2008). En Uganda, los nuevos clones de banano pueden ingresar en una aldea sin sus nombres originales y, a partir de ese momento, recibir un nuevo nombre. Los diferentes grupos étnicos pueden cambiar el nombre de una variedad una vez que comienzan a cultivarla. Tratar

de comprender cómo las variedades adquirieron sus nombres y si todos los grupos dentro de una comunidad usan o perciben cualquier nombre de la misma manera es una parte importante de la identificación de la estructura varietal. Los agricultores de diferentes edades, géneros o categorías económicas pueden valorar los rasgos de una variedad en particular de diferentes maneras, y esto se puede reflejar en el nombre de las variedades.

Consistencia de los Nombres de las Variedades

Un desafío común encontrado en el estudio de la estructura e identidad varietal es descubrir cómo los agricultores usan los nombres para sus variedades (para una discusión más completa, véase Sadiki et al. 2007). De un hogar a otro, de un pueblo a otro, y de una región a otra, los agricultores pueden o no ser consistentes en cómo nombran y describen la misma variedad, y los nombres de una variedad pueden cambiar con el tiempo. El nombre de una variedad se puede usar de manera consistente en todo el pueblo, pero puede cambiar a nivel regional. Por ejemplo, los nombres de variedades de frijol de haba en diferentes pueblos vecinos en Marruecos se compararon con la consistencia de los rasgos agromorfológicos utilizados para distinguirlos. Los nombres y rasgos utilizados en la aldea de Ain Kchir se tomaron como datos de referencia. Los nombres cambiaron más rápidamente que los rasgos agromorfológicos utilizados para distinguir las diferentes variedades en la misma distancia (figura 5.1).

Alternativamente, una variedad puede tener múltiples nombres dentro de una misma aldea, y estos nombres esencialmente se repiten constantemente a nivel regional de una comunidad a la siguiente. Incluso un solo agricultor puede usar diferentes nombres para la misma variedad, dependiendo del contexto de la conversación y la información que se transmite. Como se señaló anteriormente, dentro de una comunidad, el uso de nombres particulares puede variar según las variables sociales particulares, como el sexo, la edad y la etnia de los agricultores. Desenmarañar los factores que pueden afectar el uso del nombre en sí mismo puede ser informativo del manejo de la diversidad. Sawadogo et al. (2005b) encontraron que los nombres de las variedades de sorgo estaban relacionados con la morfología de la planta (por ejemplo, altura, forma, color, tamaño del grano y características de la gluma), agronomía (por ejemplo, ciclo de crecimiento, fechas de floración), adaptación al ambiente (por ejemplo, tolerancia a la sequía, resistencia a plagas y enfermedades) y usos (por ejemplo, calidad de la cocción, sabor). Las diferencias en los nombres usados ocurrieron en las dos



¹ Coeficiente de correlación entre r (índice de consistencia) y d (distancia en km desde Ain Kchir a otros 7 pueblos) para Nombres y Rasgos = 0.537 y -0.173, respectivamente; grado de significancia para Nombres y Rasgos = 0.002 y 0.280, respectivamente.

Figura 5.1. Coherencia de los nombres en haba (*Vicia faba*) de Marruecos y sorgo (*Sorghum bicolor*) en Burkina Faso (de Sadiki et al. 2007, cortesía de Bioversity International).

aldeas diferentes investigadas, con hasta cuatro nombres que se usan para algunas variedades. Si bien algunas variedades se cultivaron solo en un sitio, se les conocía en el otro sitio, donde se les dio diferentes nombres. Las diferencias de idioma también fueron importantes para explicar las diferencias en los nombres utilizados.

Algunos investigadores han llamado la atención sobre las discrepancias en el nombramiento de variedades tradicionales de cultivos en un área, enfatizando la “falta de consistencia” entre los agricultores y las comunidades en el uso de nombres, y la escasa correlación con otros marcadores genéticos como razones para desconfiar de los análisis basados en el uso de nombres. Sin embargo, los nombres de las variedades constituyen una unidad de manejo de la diversidad de cultivos con un contenido genético y cultural, y una selección y consecuencia

evolutiva. Los nombres proporcionan una vía informativa de entender el uso de la diversidad de los agricultores (Brown 1999, Jarvis et al. 2007b). Una parte de cualquier investigación implicará explorar las formas en que los agricultores usan los nombres. Otro aspecto se referirá al grado en que las mismas variedades nombradas comparten características agromorfológicas más allá de las que pueden utilizarse como identificadores de la variedad. Una última dimensión sería explorar en qué medida los resultados de proteínas o marcadores de ADN son consistentes con las características agromorfológicas o definidas por los agricultores en las variedades de los cultivos.

Caracterización Agromorfológica y Evaluación

Las características agromorfológicas incluyen los rasgos fácilmente observables en un cultivo (por ejemplo, seis filas versus dos filas en cebada, rojo, negro o blanco en el dedo del mijo, o tipos cortos versus altos), así como todas las características cuantitativas asociadas con la producción que contribuyen directamente al rendimiento (tamaño de la semilla y número de semillas por planta en cultivos de semillas, tamaño y cantidad de tubérculos cosechables en papa o taro, etc.). Los rasgos agromorfológicos también incluyen una amplia gama de variables asociadas a la producción, como días a la madurez, resistencia a plagas y enfermedades, y tolerancia a estreses abióticos como heladas, sequía o anegamiento. Todos estos son heredados en mayor o menor grado y pueden ser característicos de variedades específicas o pueden variar independientemente de la variedad.

Caracterización y Evaluación

Los trabajadores de recursos genéticos a menudo distinguen entre caracterización y evaluación. En su uso, la caracterización se refiere a rasgos que son más o menos heredados y que muestran poca variación con el medio ambiente y que pueden medirse o verse directamente en plantas que crecen en cualquier ambiente (como el color de la flor, el color de la semilla o la determinación del crecimiento). Idealmente, estos rasgos son diagnósticos y no se ven afectados principalmente por el medio ambiente.

La evaluación se refiere a los rasgos que generalmente se heredan cuantitativamente y, a menudo, varían considerablemente según el entorno. Estos son los rasgos comúnmente asociados con el rendimiento, la calidad del producto y la tolerancia a los estreses bióticos y abióticos, bajo un control genético más o menos complejo.

La medición empírica y el análisis de los caracteres agromorfológicos, junto con la recopilación y el análisis de otros datos genéticos, son importantes para comprender cómo los rasgos individuales de las plantas y los grupos de rasgos que se utilizan para identificar las variedades tradicionales son seleccionados y manejados por los agricultores. La caracterización agromorfológica y la evaluación de variedades son directamente relevantes tanto para los mejoradores de plantas como para los agricultores. Aunque puede llevar mucho tiempo, la recopilación y el análisis de rasgos agromorfológicos a menudo son relativamente baratos y simples en comparación con otras formas de medir la diversidad genética.

Ensayos en Fincas y Estaciones Experimentales

Es deseable que parte de la medición y el análisis de la variación agromorfológica se lleven a cabo conjuntamente por investigadores y agricultores. Además de brindar ideas sobre cómo los agricultores describen y valoran las variedades, dicha colaboración asegura que los investigadores comprendan cómo los agricultores perciben los diferentes rasgos y su importancia relativa, así como los estados que ellos reconocen y consideran relevantes. Cuando los agricultores tienen tierras y pueden adaptarse a sus prácticas normales de cultivo, se pueden planificar pruebas locales de diferentes muestras o variedades y combinarlas con la caracterización preliminar de las variedades en los campos donde crecen, es decir, ensayos en fincas manejadas por los agricultores. Los principios rectores para un ensayo en la finca deberían ser: (1) usar un campo elegido por el agricultor, (2) sembrar en el momento que el agricultor normalmente sembraría, y (3) manejar la prueba como lo haría un típico agricultor manejando su propio cultivo individual (Mutsaers et al. 1997).

La forma en que se manejan los ensayos en las fincas depende claramente de la disponibilidad de tierra y mano de obra, y de las propias prácticas e intereses de los agricultores. Sin embargo, los ensayos de plantación en diferentes fincas y el uso de algún tipo de replicación o diseño de parcelas mayores incrementan el valor de los resultados obtenidos. Por lo general, tres o más fincas separadas, ubicadas en diferentes partes de la comunidad, son importantes porque ilustran las diferencias entre las variedades en diferentes microambientes; también son un seguro contra eventos estocásticos tales como inundaciones, deslizamientos de tierra u otras perturbaciones que podrían destruir uno o más de los ensayos.

Se debe incluir una cantidad de diferentes muestras o poblaciones de diferentes agricultores de las variedades más comunes (para cubrir el rango de diversidad de estas variedades). Incluso para variedades raras, al menos dos poblaciones de diferentes agricultores deberían usarse donde existan. Sin embargo, la clave para todos los ensayos en las fincas es la inclusión de “controles” –esto es, variedades mejoradas con características que son conocidas por los investigadores y que se seleccionan según los objetivos específicos del ensayo. Por ejemplo, si la idea es examinar los niveles de resistencia a enfermedades o plagas, entonces debe haber controles tanto susceptibles como resistentes a modo de control de la enfermedad o la presión de los insectos. A menudo, con variedades raras, es posible que no haya suficientes semillas, por lo que las variedades primero deben multiplicarse durante un período de siembra anterior. Los ensayos en las fincas también brindan información a los agricultores sobre el rendimiento comparativo de las variedades bajo sus propias condiciones en el mismo tipo de entorno de producción (Snapp 2002, Virk y Witcombe 2008, Lammerts van Bueren y Myers 2011).

Los ensayos de campo en una estación experimental o sitio cercano complementan un conjunto de ensayos en la finca. Estos se llevan a cabo en condiciones más controladas de lo que es posible en la finca. También es probable que incluyan diseños de ensayos aleatorizados, más replicación, tamaños de parcelas más grandes, parcelas divididas con diferentes tratamientos o diseños alternativos apropiados para los objetivos del ensayo, así como la medición de variables adicionales y un plan de trabajo estructurado para medir características. Se debería invitar a los agricultores a ver tales ensayos siempre que sea posible y a realizar evaluaciones del material ellos mismos. Independientemente de los procedimientos que se utilicen, todos los ensayos deben realizarse de tal manera que sea posible el análisis estadístico de los datos cuantitativos mediante el uso de la replicación y controles adecuados. Los métodos que se pueden utilizar para esto en los niveles de finca y estación experimental han sido descritos por Mutsaers et al. (1997) y también se puede encontrar en el *Boletín Técnico IPGRI* No. 4 (IPGRI 2001).

Los ensayos en la finca y en la estación son una forma importante de validar la información obtenida de las discusiones grupales y las entrevistas sobre la identidad y las características de las diferentes variedades. Las pruebas de identificación para documentar los criterios que los agricultores están usando para describir sus variedades locales pueden organizarse de manera colaborativa sembrando varias filas de cada variedad de cultivo en una parcela de demostración

sin que los agricultores sepan qué variedades se usaron o dónde se sembraron. Luego se puede pedir a una muestra de agricultores que identifique las variedades en varias etapas del crecimiento de la planta: plantas jóvenes inmaduras; plantas florecidas; plantas con fruto maduro, mazorca o espigas; y fruto, semilla, o material de reproducción vegetativa de postcosecha.

La selección (consciente o inconsciente) por parte de los agricultores puede incluir rasgos agromorfológicos de importancia para la productividad y el uso, así como los rasgos asociados con la identidad de una variedad. Durante el proceso de selección, a menudo se identifican nuevos rasgos (el resultado de la mutación, el flujo de genes o la recombinación), y estos pueden retenerse o descartarse dependiendo de su relevancia o valor potencial percibido. Hay muchos ejemplos en la literatura de agricultores que detectan y mantienen nuevos tipos que parecen satisfacer sus necesidades (Richards y Ruivenkamp 1997).

Los procedimientos para recopilar datos sobre rasgos agromorfológicos son estándar y pueden seguirse tanto para los ensayos en fincas como para los ensayos de campo en las estaciones experimentales (aunque en este último caso se recopilan a menudo muchos más datos). Implican realizar mediciones físicas de las características de la planta (comúnmente morfología, fenología, rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades). Los rasgos morfológicos como el tamaño de la semilla, el color del fruto o la longitud de la hoja se pueden medir directamente. La evolución fenológica del desarrollo de hojas, flores y frutos se puede representar en una temporada de crecimiento para cuantificar variables como el tiempo a la primera floración o la maduración del fruto. Los rasgos relacionados con el rendimiento incluyen números y tamaños de semillas u otras partes productivas de la planta.

Observación directa de campo en campos de agricultores

A menudo es útil hacer mediciones directas de rasgos específicos en los campos de los agricultores. Esto permite evaluar características tales como la severidad de plagas y enfermedades, el tiempo de floración o madurez, o el número de macollas. Por ejemplo, el tiempo de floración se puede registrar al observar el número de plantas que florecen en un campo todos los días desde la fecha en que se observa que la primera planta florece hasta que el 50 por ciento haya florecido. Las formas en que se pueden evaluar los ataques de plagas y enfermedades se describen en el Capítulo 7. Es importante tener en cuenta que estas son observaciones sin complicaciones, y los valores obtenidos pueden verse sustancialmente afectados por factores ambientales. Llevar a cabo estas observaciones

en varios campos contrastantes proporciona una estimación de la importancia de la variación ambiental en cualquier localidad.

Pruebas de Invernadero y Laboratorio

Si bien la mayoría de los rasgos agromorfológicos se evalúan a través de ensayos de campo, algunos pueden ser mejor probados en el invernadero o en el laboratorio. Las cámaras ambientales se utilizan para caracterizar y evaluar las poblaciones de plantas en condiciones físicas controladas (por ejemplo, diferentes niveles de salinidad, temperatura, humedad y CO₂). Las pruebas específicas a patógenos a menudo requieren ensayos de invernadero replicados utilizando razas de patógenos definidas (ver Capítulo 7). Un estudio de laboratorio de resistencia diferencial a plagas de gorgojos entre variedades etíopes tradicionales de sorgo encontró que los patrones de susceptibilidad a la infección de picudos en condiciones de laboratorio estaban altamente correlacionados con las categorizaciones propias de los agricultores sobre la susceptibilidad de la variedad (Teshome et al. 1999). En una serie de institutos avanzados, se han desarrollado instalaciones de fenotipos específicos, que permiten una determinación mucho más precisa de rasgos específicos bajo condiciones altamente controladas. Por lo general, implican el análisis de poblaciones segregantes combinadas con estudios genéticos moleculares.

Los análisis de nutrientes o bromatológicos son una forma de distinguir variedades en función de su contenido de macronutrientes específicos (carbohidratos, proteínas y lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales). Se ha descrito una variación considerable en la composición de β-caroteno en boniatos, carotenoides en maíz, y fitasa, un inhibidor de la absorción de hierro y zinc en la cebada (Frison et al. 2006; Bohn et al. 2008). En el arroz, se ha demostrado una gran variación en la composición de nutrientes para las proteínas, hierro, zinc, calcio, tiamina, riboflavina, niacina y amilasa entre las variedades tradicionales y mejoradas recolectadas en Asia. Estos estudios han demostrado que ciertas variedades de arroz contienen 2.5 veces más hierro y 1.5 veces más zinc que otras variedades, siendo las variedades tradicionales la mayor parte en el extremo superior del espectro, mientras que las variedades modernas de alto rendimiento tienden a estar en la parte inferior (Kennedy y Burlingame 2003). Los análisis de nutrientes pueden validar el conocimiento de los agricultores sobre las propiedades nutricionales beneficiosas de variedades particulares, pero también pueden identificar beneficios nutricionales que son menos obvios para los agricultores y consumidores.

Elección y análisis de datos

Si bien puede parecer que hay un gran número de variables o rasgos potenciales que podrían analizarse, una elección basada en las opiniones del agricultor sobre qué variables son importantes, junto con la lista esencial del investigador, dará lugar a un número manejable para el análisis. Las listas de descriptores desarrolladas por Bioversity y sus socios para una gran cantidad de cultivos brindan listas de verificación útiles de los caracteres que varían dentro de un cultivo en particular y pueden ser una guía para seleccionar lo que es relevante para una investigación específica ([http:// www.bioversityinternational.org/browse_by/tag/descriptors](http://www.bioversityinternational.org/browse_by/tag/descriptors)). Estas listas deben usarse con discreción, pero son útiles porque proporcionan una forma estándar de describir y medir los caracteres elegidos para cualquier estudio.

Cuando se han recopilado valores para un gran número de variables, puede ser útil aplicar diversos métodos estadísticos, como de ordenamiento, para analizar los resultados. El número de caracteres agromorfológicos para recopilar se puede reducir mediante métodos estadísticos, como los de ordenamiento (véase el Capítulo 6). En México, se utilizó el análisis de componentes principales (PCA) para determinar que siete caracteres agromorfológicos representaban el 85 por ciento de la variabilidad encontrada en 15 variedades de maíz (Arias et al. 2000).

Se pueden utilizar muchos textos para guiar el diseño de las investigaciones agromorfológicas y el análisis de los datos obtenidos de ellas. Estos incluyen a Mead et al. (2003) sobre métodos estadísticos generales en agricultura y biología experimental, Wildi (2010), que cubre el análisis de datos en ecología de la vegetación, y Dunn y Everitt (2004) para la aplicación del ordenamiento a la caracterización varietal. Mutsaers et al. (1997) también es útil, particularmente para el análisis de experimentos en fincas.

Variación Bioquímica

Las variedades de muchos cultivos a menudo difieren en sus características bioquímicas. Estas incluyen la variación en los metabolitos secundarios, como los diferentes niveles de glucosinolatos en *Brassica*, diferentes tipos de azúcar y composición de almidón de diferentes variedades de maíz o sorgo, y las diferentes cantidades de factores antinutricionales en la yuca. A menudo el análisis de esta variación está más allá del alcance de aquellos involucrados en la conservación en fincas, pero puede haber situaciones (como en los factores antinutricionales en *Lathyrus sativus* [almorta o khesari dhal]) cuando son directa-

mente importantes ya sea para la salud de la comunidad local o en la resistencia a enfermedades y, por lo tanto, vale la pena investigar.

Varias técnicas están disponibles para detectar la variación genética en los tipos y cantidades de varias proteínas vegetales. Por ejemplo, la variación de la secuencia de aminoácidos en diferentes formas de enzimas vegetales (isoenzimas) que poseen diferentes plantas y heredadas como alelos alternativos (aloenzimas) puede visualizarse usando electroforesis. Durante muchos años, durante la década de 1980 y hasta la década de 1990, la variación en las isoenzimas proporcionó un método clave para analizar la variación en poblaciones de plantas. Hamrick y Godt (1997) utilizaron datos de isoenzimas compilados a partir de la literatura para comparar la variación en especies autopolinizadas y de polinización cruzada, y en cultivos y especies silvestres, y proporcionan una buena visión general del uso de este enfoque. El uso de variantes genéticas en proteínas de almacenamiento de semillas e isoenzimas ha dado lugar en gran parte a métodos moleculares basados más directamente en la variación de la secuencia de ADN. Sin embargo, las técnicas más antiguas pueden tener un papel en, por ejemplo, la identificación de variedades, el análisis de sistemas de apareamiento o situaciones en las que las instalaciones moleculares son limitadas o deficientes.

Variación de la Genética Molecular

Cada vez más, los métodos moleculares se utilizan para estudiar la variación genética. Estos métodos detectan la variación en la secuencia de ADN. En los últimos 20 años, cada vez hay más técnicas disponibles, y su uso en el análisis de la genética de plantas y de la diversidad genética ha sido objeto de muchas revisiones y libros de texto diferentes. Actualmente, las revisiones exhaustivas incluyen Semagn et al. (2006) y Agarwal et al. (2008). El sitio web de Bioversity International brinda acceso a un módulo de aprendizaje de dos volúmenes: http://www.bioversityinternational.org/training/training_materials/using_molecular_marker_technology_in_studies_on_plant_genetic_diversity_vol_1.html; y http://www.bioversityinternational.org/training/training_materials/genetic_diversity_analysis_with_molecular_marker_data_learning_module_volume_t.html.

La mayoría de los métodos comúnmente utilizados en genética de poblaciones y el análisis de la diversidad genética hacen uso de la “variación anónima”, es decir, la variación en los loci cuya función biológica específica, si la hay, es desconocida. Sin embargo, la disponibilidad cada vez mayor de información sobre la ubicación y secuencia de genes específicos ahora proporciona informa-

ción sobre la variación que puede asociarse con regiones específicas del genoma o con enzimas específicas, proteínas, vías metabólicas e incluso rasgos. A medida que las secuencias completas estén disponibles para varias plantas de cultivo (ver <http://ncbi.nlm.nih.gov/genomes/PLANTAS/PlantList.html> para obtener información sobre la disponibilidad de secuencias del genoma de la planta), y con la llegada y el creciente uso de las técnicas de secuenciación de la siguiente generación (véase, por ejemplo, Egan et al. 2012) y de los métodos que proporcionan información sobre EST (Marcador de Secuencia Expresada), es probable que se utilicen las tecnologías moleculares en el estudio de la variabilidad de las plantas de cultivo para continuar evolucionando y expandiéndose rápidamente.

La elección del marcador molecular más apropiado depende de varios factores diferentes, incluidas las especies estudiadas y el objetivo de la investigación. Por lo tanto, un estudio relacionado con la identificación del parentesco de individuos en una población o el desarrollo de un perfil genético de un cultivo difiere de la reconstrucción de las relaciones evolutivas entre variedades de cultivos y especies. A niveles intraespecíficos e intrapoblacionales, que son las escalas de investigación más comunes para los estudios de conservación en fincas, los mejores marcadores son los que están caracterizados por la especificidad del locus genético, la codificación, el alto polimorfismo, la distribución aleatoria y la frecuencia en todo el genoma y los altos niveles de reproducción. La familiaridad con las características de los diferentes sistemas de marcadores y las formas en que se puede generar genéticamente ayuda en la interpretación de cualquier resultado obtenido en los estudios moleculares.

El polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción, desarrollado durante la década de 1960, fue la primera técnica de marcadores moleculares que detectó el polimorfismo del ADN. El ADN de diferentes plantas digeridas por endonucleasas de restricción proporcionó perfiles de fragmentos de ADN diferenciales, dependiendo del polimorfismo presente en las ubicaciones de las secuencias de ADN rotas por las endonucleasas. La técnica era robusta, pero requería cantidades relativamente grandes de ADN de alta calidad. La invención de la tecnología de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) condujo al desarrollo de un gran número de enfoques diferentes para la generación de marcadores moleculares, que se dividen en dos clases: (1) técnicas basadas en PCR arbitrariamente preparadas o técnicas de secuencia no específica y (2) técnicas de secuencias dirigidas basadas en PCR (Agarwal et al. 2008). La tabla 5.1 enumera algunas de las técnicas más comunes que se han utilizado en el análisis de

la diversidad genética de las plantas de cultivo y proporciona algunos ejemplos de su uso.

Entre las técnicas basadas en PCR, SSR, Polimorfismo de Conformación de Cadena Simple (SSCP), Sitios Polimórficos Amplificados por Escisión (CAPS) y secuenciación directa de ADN son populares, eclipsando el uso de la técnica menos fiable de ADN, Amplificación Aleatoria de Polimorfismo de ADN (RAPD). El principal inconveniente de algunas técnicas basadas en PCR es que requieren una etapa preliminar de amplificación de genes diana por PCR y, por lo tanto, algún conocimiento previo de las secuencias del cebador más apropiadas para la amplificación del segmento de ADN seleccionado. Este es un factor limitante, particularmente en el trabajo en organismos no-modelo tales como especies raras y variedades para las cuales hay poca información disponible. Sin embargo, la información sobre sondas para SSR o cebadores para la amplificación de genes seleccionados está cada vez más disponible para un número creciente de cultivos y especies silvestres relacionadas, y ambas sondas y cebadores se comparten cada vez más entre los laboratorios.

Vigouroux et al. (2011a) han utilizado SSR para evaluar los cambios en los patrones de diversidad en el mijo perla bajo el manejo de los agricultores durante un período de 27 años en Níger. Allí, el mijo perla y el sorgo son los principales cultivos de cereales básicos, y muchas variedades tradicionales aún se cultivan. Los agricultores usan principalmente sus propias semillas o, en caso de escasez de semillas, las semillas de los miembros de la familia. De lo contrario, obtienen semillas de los mercados locales. De 1976 a 2003, el área experimentó varias sequías. Si bien hubo una gran variabilidad interanual, las precipitaciones disminuyeron en 4 mm por año en Niamey, Níger, un total de 200 mm en 50 años, entre 1950 y 2003. Se recolectaron muestras de mijo perla en diferentes áreas del país en 1976. El análisis de la diversidad genética en el sorgo y el mijo usando 28 y 25 SSR, respectivamente, en varios cientos de accesiones recogidas entre 1976 y 2003 proporcionan las estimaciones del número de alelos, la diversidad genética de Nei, y la heterocigosidad observada para cada locus y cada colección. En general, no hubo evidencia de pérdida de diversidad genética en términos de riqueza alélica para ninguno de los cultivos, y poca diferenciación entre las colecciones de 1976 y el 2003 ($GST = 0.0025$ para el sorgo).

Un experimento de huerto común con las accesiones de mijo perla recolectadas entre 1976 y 2003 y evaluadas durante tres temporadas mostró algunos cambios significativos en los rasgos de adaptación. Las variedades recolectadas en 2003 florecieron un poco antes y tuvieron picos más cortos, lo que sugiere

TABLA 5.1. UNA COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS MOLECULARES PARA ANALIZAR LA DIVERSIDAD GENÉTICA.

<i>Técnica</i>	<i>Abundancia</i>	<i>Ventaja</i>	<i>Inconvenientes</i>	<i>Polimorfismo</i>	<i>Especificidad del locus</i>	<i>Cantidad de ADN necesaria</i>	<i>Aplicación principal</i>
RFLP	Alta	No se requiere conocimiento previo del ADN objeto; bajo costo de desarrollo	Reproducibile; técnicamente exigente y lenta; requiere una gran muestra de ADN y sondas radiactivas específicas	Codominante	Si	Alta	Genotipo, mapeo genético
RAPD	Alta	No se requiere conocimiento previo del ADN objeto; bajo costo de desarrollo	Reproducibile; técnicamente exigente; la calidad y la concentración del ADN modelo pueden tener una gran influencia en el resultado	Dominante	No	Baja	Genotipo
SSR	Media	Reproducibile; altamente polimórfico	Conocimiento previo de las sondas; alto costo de desarrollo	Codominante	Si	Baja	Genotipo, genética de poblaciones, filogeografía
SSCP	Baja	Bajo costo de desarrollo; se requiere corto tiempo para el análisis	Las movilidades SS dependen de la temperatura	Codominante	Si	Baja	Genotipo

CAPS (también conocido como PCR-RFLP)	Baja	Reproducible y rápido; fácil de interpretar; bajo costo de desarrollo	Conocimiento previo de las sondas para el gen objeto; el poder discriminante depende del gen objeto	Codominante	Si	Baja	Detección genética de mutaciones
SCAR	Baja	Altamente reproducible	Conocimiento previo de las sondas para el gen objeto	Codominante	Si	Baja	Genotipo
AFLP	Alta	No se necesita información previa de la secuencia; confiable y reproducible	Técnicamente exigente; costo de desarrollo moderado	Dominante	No	Baja	Genotipo, genética de poblaciones
Secuencia de ADN	Baja	Altamente reproducible; bajo costo de desarrollo; posibilidad de construir banco de datos	Conocimiento previo de las sondas; el gen objeto debe ser elegido de acuerdo con el objetivo	No aplica	Si	Baja	Filogenética, filogeografía
SNP	Alta	Altamente reproducible; altamente polimórfico	Alto costo de desarrollo	Codominante	Si	Baja	Genotipo; genética de poblaciones; filogenética

un cambio evolutivo durante el período. Se han identificado genes polimórficos que afectan la variación en el tiempo de floración en el mijo perla (PHYC y Pg-MADS₁₁) y muestran una firma de selección, sugiriendo que juegan un papel en la adaptación de las variedades de mijo perla (Vigouroux et al. 2011a).

De las técnicas basadas en PCR, la SSR y la secuenciación directa del ADN son probablemente las técnicas más utilizadas debido a su precio relativamente asequible y alta reproducibilidad. La popularidad de SSR se debe a su alto nivel de polimorfismo y la posibilidad de analizar múltiples loci, lo que permite un perfil de ADN completo de individuos y poblaciones. Sin embargo, la técnica requiere un alto costo de desarrollo inicial si las sondas no están disponibles, a pesar de eso, muchos de los pasos se pueden automatizar para permitir la prueba de un gran número de muestras. La técnica no deja de tener sus inconvenientes, como la codominancia incompleta, la amplificación sesgada, la recombinación de PCR y la paralogía críptica (dos alelos de diferente origen genético que producen la misma longitud de fragmento y, por lo tanto, no se reconocen como alelos no-segregantes).

La secuenciación directa de ADN produce la descripción más completa de la variabilidad. Permite resaltar la naturaleza real de la variabilidad, proporcionando la secuencia exacta de nucleótidos en el segmento de ADN objeto y permitiendo el estudio de la relación entre secuencias y variantes funcionales de genes relevantes. En la actualidad, la secuenciación directa se centra en un locus a la vez, y la descripción de la variabilidad genética descrita se refiere solo a los genes objeto. Los genes presentes en los organelos (ADNmt y ADNcp) se han utilizado comúnmente en estudios poblacionales y filogeográficos, debido a sus múltiples copias celulares, herencia no recombinante (generalmente materna) y alta tasa de mutación en comparación con el ADN nuclear. Sin embargo, como el ADNmt y el ADNcp son heredados de la madre, solo se revelan las jerarquías o filogenias de la madre. En cada generación, el genoma nuclear llevará genes derivados del padre que, con la reproducción sexual, se reafirmarán en nuevos genotipos. Dichos genes, si son nuevos para la población, no llevarán el marcador ADNcp de su progenitor masculino original, pero siempre llevarán el ADNcp de la hembra a través de la cual pasan. La secuenciación directa también tiene una gran ventaja ya que las secuencias obtenidas se pueden almacenar en bases de datos específicas, como el Banco de Datos de ADN de Japón (DDBJ), el Laboratorio de Biología Molecular Europeo (EMBL) y el Banco de Genes del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) en los Estados Unidos. Estas bases de datos permiten a los investigadores reutilizar secuencias publicadas y comparar la variabilidad de las poblaciones sin la necesidad de analizar

todas las muestras al mismo tiempo, proporcionando una alta reproducibilidad y la comparación de los resultados.

Las técnicas basadas en PCR tales como SSCP, CAPS, Polimorfismo de Longitud de Fragmento Amplificado (AFLP) y Región Amplificada de Secuencia Caracterizada (SCAR) tienen la ventaja de ser relativamente poco exigentes técnicamente, de bajo costo en comparación con otras técnicas (con la excepción de AFLP), y altamente reproducibles. Estas técnicas permiten la creación de perfiles genéticos basados en un solo locus (SSCP, CAPS) o en múltiples loci (RFLP, AFLP y SCAR). Sin embargo, su capacidad para revelar el alcance de la variabilidad genética depende en gran medida de las secuencias seleccionadas y de varios otros factores, como la combinación de las enzimas de restricción empleadas. El uso de nuevos enfoques emergentes, como el Análisis del Polimorfismo de Nucleótido Único (SNP) o el uso de la Secuenciación de Nueva Generación (NGS), permitirá a los investigadores explorar cada vez más la variabilidad genética presente en todo el genoma de los cultivos y las variedades como en el caso del “genotipo por secuenciación” según lo descrito por Poland y Rife (2012).

El desarrollo de nuevas técnicas moleculares para la exploración de la variabilidad genética estimuló el desarrollo de nuevas herramientas informáticas para el análisis de cualquier clase de datos genéticos producidos. La mayoría de los datos multi-locus producidos por RFLP, SSCP, CAPS y SCAR se pueden analizar en términos de frecuencias de bandas específicas (o variantes) usando herramientas estadísticas tradicionales. Para el análisis de la variación de otros marcadores tales como SSR, SNP y secuencias de ADN, se han desarrollado varios paquetes de softwares específicos que proporcionan al investigador análisis más exhaustivos y sofisticados. En el Apéndice A se incluye una variedad de paquetes disponibles. El software se puede dividir en cuatro categorías:

- Software para análisis estadísticos de frecuencias (por ejemplo, escalonamiento multidimensional, análisis de componentes principales).
- Software para reconstruir árboles filogenéticos (generalmente trabajando con secuencias de ADN).
- Software para la reconstrucción de redes, que se utiliza principalmente para la reconstrucción de la filogeografía y también se utiliza para datos de secuencias y marcadores.
- Software para investigar la estructura de la población, comúnmente utilizado para los datos de SSR y SNP, aunque también algunos paquetes de análisis se pueden usar con secuencias de ADN.

Puede encontrar una guía útil sobre los paquetes de análisis disponibles y su uso en Excoffier y Heckel (2006).

Recopilación de Datos Utilizando Enfoques Participativos

Comprender el alcance, la distribución y la estructura de la diversidad genética en las variedades tradicionales implica trabajar estrechamente con los agricultores. Deben adoptarse los principios generales desarrollados para el trabajo participativo (Gonsalves et al. 2005), y muchos de los enfoques desarrollados para el trabajo etnobiológico de campo son directamente relevantes (ver Emerson et al. 2011). En primer lugar, desarrollar una comprensión clara de la estructura varietal y las formas en que los agricultores usan los nombres implica un proceso participativo interactivo en el que los agricultores, individualmente y en grupos, comprendan cómo ven las variedades de los cultivos que siembran. Esto también proporciona una primera explicación de los diferentes rasgos que son importantes para los agricultores y de las formas en que la variación en estos rasgos se gestiona a nivel comunitario y de finca. Esto se puede extender más tarde a través de ensayos planificados en fincas y realizados conjuntamente con los agricultores, que explora la variabilidad agromorfológica. Los aportes e información de los agricultores también son un elemento esencial cuando las muestras se utilizan para trabajar en diversidad bioquímica o molecular. Se dispone de una variedad de enfoques de diagnóstico participativo que pueden utilizarse para comprender las formas en que los agricultores manejan y nombran las variedades (tabla 5.2).

Es importante desarrollar una buena relación de colaboración con una comunidad antes de comenzar a trabajar. A los miembros de la comunidad se les harán muchas preguntas, lo que puede requerir una gran cantidad de tiempo. Las personas involucradas pueden considerar que parte de la información es privada o confidencial. Deben sentirse cómodos con los procedimientos y la información solicitada, y las formas en que se utilizarán. Dado que se necesitarán muestras de al menos algunos de los cultivos y variedades, también debe existir un claro acuerdo común sobre cómo se utilizará la información y el material recolectado. Hay varias maneras diferentes en que esto se puede hacer. Un enfoque es el Libre Acuerdo de Consentimiento Fundamentado Previo que fue utilizado por la Plataforma para la Investigación de Agrobiodiversidad (PAR) y firmado por todos los participantes en su trabajo con comunidades indígenas en Bolivia y Sarawak (http://agrobiodiversityplatform.org/climatechange/the-project//aims-and-objectives/abd_and_cc_project_fpic/). Alternativamente,

TABLA 5.2. PROCEDIMIENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN QUE PUEDEN SER UTILIZADOS PARA LA RECOLECCIÓN PARTICIPATIVA DE DATOS.

<i>Método</i>	<i>Propósito</i>	<i>Tipos y Ejemplos</i>
Entrevista	Evaluar el conocimiento y las percepciones	Estructurado, semiestructurado, no estructurado, individual, grupal, discusión grupal (DGF)
Observación de campo y mantenimiento de registros	Observar e inspeccionar directamente	Observación in situ, mantenimiento de registros durante toda la época
Medida física directa	Medir atributos físicos	Utilizando herramientas científicas de medición, adaptando unidades de mediciones locales
Colección de especímenes	Recolectar y después caracterizar y analizar	Muestreo, inventario
Experimentación	Probar y observar procesos biofísicos, el desempeño y las salidas	Pruebas, monitoreo de campo
Diagrama y visualización participativa	Ilustrar y explicar procesos, relaciones y estructuras	Dibujo lineal, creación de gráficos
Mapeo participativo	Para ubicar y orientar	Correlación de transectos, marcando límites
Clasificación participativa y puntuación	Categorizar, priorizar y comparar	Clasificación de matriz, clasificación
Observación participativa	Documentar procesos	Varias técnicas etnográficas
Juegos y juegos de rol	Documentar comportamientos, toma de decisiones y dinámica de grupo	Juegos folklóricos, narración de cuentos
Modelado y uso de herramientas visuales	Mostrar y referirse a ejemplos tangibles	Construyendo modelos a pequeña escala, carteles
Listados	Identificar e inventariar	Lista de verificación, lluvia de ideas y técnica de cartas
Pruebas	Calificar usando esquemas estandarizados	Prueba de conocimiento, concurso de habilidades

el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha desarrollado un conjunto de directrices y herramientas relevantes (<http://www.unep.org/communityprotocols/index.asp>), y la Sociedad de Etnobiología tiene pautas que también deberían consultarse (<http://ethnobiology.net/code-of-ethics/>). Recientemente, se han desarrollado pautas de acceso y distribución de beneficios en proyectos de investigación (Lapeña et al. 2012). Se encuentra más información sobre el acceso nacional y la participación en los beneficios y otros asuntos legales, y sobre las acciones específicas implementadas en el Capítulo 10 y el Capítulo 12, respectivamente.

La recopilación de datos generalmente comienza con una revisión de datos secundarios seguida de discusiones a nivel de grupo o discusiones de grupos focales, complementadas por entrevistas con personas que son informantes clave. Estos se realizan utilizando una estrategia de muestreo adecuada para seleccionar a los entrevistados, además de las entrevistas a los hogares. Un último paso es la validación de la comunidad, donde los resultados analizados que combinan información recolectada del agricultor, el campo y el laboratorio se discuten con la comunidad.

Discusiones de Grupos Focales para la Identificación y Caracterización de Variedades por los Agricultores

Las discusiones en grupos focales (DGF) generalmente involucran de 10 a 12 personas que son seleccionadas para garantizar la representación en todas las comunidades involucradas en el trabajo. Los miembros del grupo pueden ser mixtos, pero con mayor frecuencia están separados por sexo, edad o estado social en la comunidad para garantizar que el grupo se sienta cómodo al expresar sus opiniones por separado. Los DGF y las encuestas individuales no determinan si el enfoque es participativo, sino que describen dónde se recopilan los datos, ya sea de un individuo o un grupo. Las respuestas a una pregunta de un DGF y una proveniente de una encuesta de hogar individual se consideran observaciones únicas. Tanto el DGF como las encuestas de los hogares individuales pueden emplear herramientas participativas para recopilar información, es decir, una herramienta participativa como el mapeo de las fuentes de semillas puede integrarse en una tarea de DGF o en una encuesta de un hogar individual.

La identificación de las variedades de los agricultores generalmente comienza con pedirles a los agricultores que traigan muestras de las diferentes variedades del cultivo en cuestión, de los que están creciendo en esa época. Las plantas se colocan al costado de la habitación para que puedan ser vistas por todos. A los agricultores se les pide agrupar las muestras por variedad y poner una etiqueta con el nombre de la variedad en cada grupo. A un agricultor que ve una variedad similar a la que trajo, se le pide que agrupe las plantas.

A continuación, se pregunta a todos los agricultores si alguien llama a esta variedad por un nombre que es diferente del de la etiqueta provista por otros agricultores. Si es así, se les pide que escriban el nombre que usan y lo colocan al lado de ese grupo. Se alienta a los agricultores a discutir sus decisiones entre ellos para acordar cómo agrupar las muestras de acuerdo con la variedad, y también sobre posibles múltiples nombres dados a la misma variedad. Para

desarrollar una descripción detallada de una variedad, cada variedad se asigna a un agricultor voluntario, que toma la iniciativa para describirla. Esto comienza cuando el agricultor indica si cree que la variedad es tradicional o introducida/moderna. A otros agricultores se les pregunta si están de acuerdo o no. Se da tiempo para preguntas y discusiones hasta que haya consenso sobre cómo clasificar la variedad.

A continuación, el agricultor describe las características para indicar que esta variedad es diferente de otras variedades, y cada descriptor está escrito en una tarjeta. Un facilitador puede construir una matriz que enumera los nombres de las variedades, las características identificadas por los agricultores y sus valores deseables. Los participantes miran nuevamente la matriz para aclarar o modificar cualquier entrada. Más tarde, el facilitador puede observar qué caracteres son morfológicos y cuáles están relacionados con el rendimiento, la adaptación a entornos específicos o el uso y la calidad. Los criterios morfológicos se usarán luego para formar los “descriptores de los agricultores”.

Un primer objetivo de las discusiones grupales es explorar la consistencia con la que los agricultores identifican o nombran variedades en base a las muestras de variedades presentadas por los participantes. ¿Es la variedad X del agricultor A la misma que la variedad X del agricultor B o es similar a la variedad Y o algo completamente distinto? Un segundo objetivo es obtener más información sobre la relación entre las variedades y sus características. ¿Todos los agricultores presentes están de acuerdo en que la variedad A tiene una maduración temprana y tiene buen sabor? Las discusiones grupales también brindan información sobre el sistema de semillas que opera a nivel comunitario (un aspecto que se volverá importante a medida que exploremos las características de metapoblación para una variedad o conjunto de variedades) (ver Jarvis y Campilan 2006, y los Capítulos 8 y 11).

Al recopilar información con los agricultores, es importante registrar el nombre exacto y sin modificar de cada variedad, dado por cada informante, utilizando el idioma o los idiomas locales, y registrar las respuestas dadas por los agricultores, evitando cualquier tentación de corregir los errores percibidos. También es importante que el enfoque elegido permita que los datos se desagreguen por edad, sexo, nivel socioeconómico y otras categorías, ya que los diferentes grupos sociales generalmente varían en la forma en que identifican, valoran y seleccionan las variedades de cultivos nombradas por los agricultores (ver también Capítulos 8 y 9).

Las entrevistas individuales y la observación de campo detallada con una muestra representativa de agricultores proporcionan información sobre el nú-

mero de variedades que cultiva y mantiene cada agricultor, y el área que dedican a cada variedad. También brindan información sobre la medida en que los agricultores dependen de sus propias semillas de cualquier variedad o la obtienen de otras fuentes. Muchos libros de texto discuten tamaños de muestreo representativos y las formas en que el muestreo puede ser estratificado para representar a diferentes grupos dentro de una comunidad (ver Legendre y Legendre 2012, Sokal y Rohlf 2012, De Vaus 2013).

A menudo, se utiliza un máximo de 10 por ciento de los hogares agrícolas que siembran el cultivo en la temporada actual, y se ajusta el tamaño para garantizar que el número total de encuestados sea al menos 60. Para tener una imagen más completa, es importante que la mitad de los hogares sean entrevistados a través de un miembro adulto varón como encuestado, y la otra mitad a través de una mujer miembro adulta, independientemente del género del jefe de hogar “designado”. Las entrevistas incluyen enfoques participativos para identificar números y áreas cubiertas por cada variedad.

Las entrevistas directas a los agricultores también se usan para conocer las propiedades o características más importantes asociadas con cualquier variedad y las razones por las que se le dedica un área en particular. La entrevista siempre debe enfocarse en el presente (lo que se está haciendo ahora o lo que se ha sembrado en el campo durante la temporada actual). Una vez que esto se haya establecido, las entrevistas pueden comenzar a explorar lo que se cultivó en el pasado, por qué se han realizado cambios y qué se planifica para el futuro.

Mapeo de la Distribución Espacial de las Variedades Dentro y Entre las Parcelas en Fincas

Otra herramienta importante para la encuesta de la finca es el mapeo por los agricultores de sus parcelas y los cultivos en ellas. Durante la entrevista familiar, se les pide a los agricultores que dibujen un mapa de su finca, que muestre los límites y el área de su tierra, y que marquen esto de acuerdo a cómo dividen la finca en parcelas. El entrevistador le pide al agricultor que proporcione el área total de la finca y el área de cada parcela. Luego se les pide a los agricultores que identifiquen parcela/campo de cada cultivo(s) plantado(s) para la época actual, rotulados por nombre, símbolo y/o divididos en parcelas. Luego, para cada cultivo objeto, el entrevistador pregunta al agricultor qué variedades se cultivan para cada parcela o sub-parcela, y el mapa está etiquetado de acuerdo a ello. El entrevistador utilizará cualquier información recopilada anteriormente en las discusiones del grupo focal para verificar con el agricultor que la variedad

nombrada tiene las mismas características que la variedad identificada en las discusiones del grupo focal. Las áreas plantadas para cada variedad se pueden calcular a partir de esta información.

La información de las discusiones de los grupos focales puede ser esencial para aclarar u obtener una imagen más precisa de la información recopilada de las encuestas de hogares sobre el número y la distribución de variedades locales a nivel de finca. Durante las discusiones de los grupos focales en Shangrila, Sur Este de China, los agricultores trajeron cinco variedades diferentes de cebada a la reunión y describieron cada una de ellas. Sin embargo, durante la encuesta individual de hogares, la mayoría de los agricultores de la aldea afirmaron que estaban cultivando una sola variedad de cebada, la variedad Ma Nai. La encuesta de hogares fue seguida directamente por la observación de campo para determinar la incidencia de plagas y enfermedades. Cuando los entrevistadores caminaron por las parcelas de un agricultor, notaron diferentes alturas y morfología de las plantas, lo que indica que la parcela del agricultor parecía tener más de una variedad cultivada en el campo de variedades Ma Nai (figura 5.2).

Cuando se le preguntó al agricultor si había más de una variedad en su campo, dijo que la variedad Ma Nai siempre contiene algo de Nai Shu. Los entrevistadores preguntaron si la variedad Nai Shu cubría hasta el 10 por ciento del campo, y el agricultor fue muy preciso al decirle al entrevistador que solo había 6-7 por ciento de Nai Shu en la parcela. El agricultor mencionó que, además de Nai Shu, la variedad Ma Nai era en realidad dos variedades, White Ma Nai y Black Ma Nai (en proporciones iguales), aunque se podía ver la diferencia solo más cerca de la cosecha.

El agricultor les dijo a los entrevistadores que las semillas de las tres variedades se mezclaron y se usaron para sus cuatro parcelas, cuya superficie total fue de 7 mu (1 mu = 1/12 ha). Los entrevistadores también verificaron si las semillas de granos estaban separadas para diferentes usos, pero descubrieron que se manejaban juntas y se comían juntas. Los diferentes procedimientos juntos proporcionaron una imagen mucho más precisa de la diversidad varietal mantenida por los agricultores y permitió el cálculo de las estadísticas de riqueza y uniformidad como:

$$\begin{aligned} \text{Riqueza} &= 3 \\ \text{Uniformidad} &= 1 - [(.06)^2 + (0.47\%)^2 + (0.47)^2] = 0.524 \end{aligned}$$

Si los entrevistadores habían considerado solo una variedad como declaró por primera vez el agricultor, la estimación habría sido una Riqueza de 1 y una Uniformidad de 0 para este agricultor.

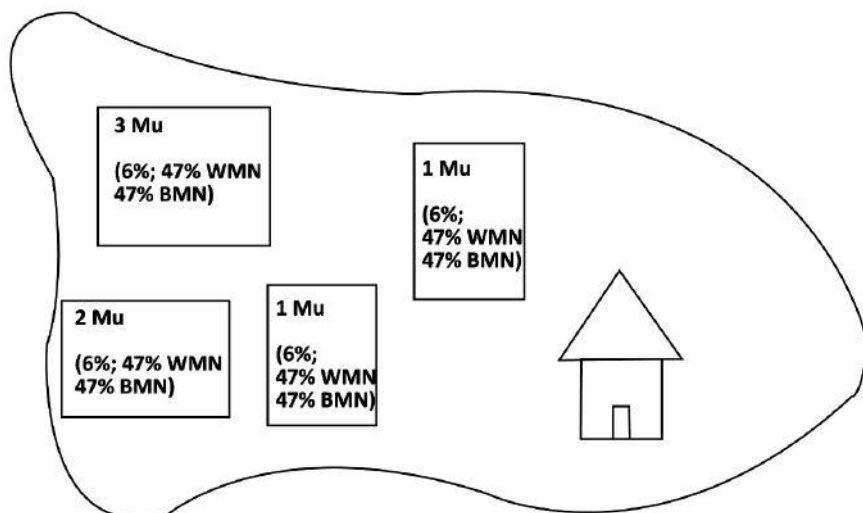


Figura 5.2. Mapeo agrícola que muestra la distribución espacial de las variedades dentro y entre las parcelas dentro de una encuesta de hogares (de Jarvis et al. 2012, cortesía de Bioversity International)

Entrevistas con Informantes Clave

Un tercer nivel de recopilación de información participativa que proporciona la descripción básica de la estructura varietal y la distribución de cualquier cultivo en un área es la discusión y la entrevista con el informante clave. Esto implica reunir a expertos locales reconocidos y explorar con ellos la información obtenida hasta la fecha. Permite explorar las contradicciones en la información, llenar los vacíos y validar la información de otras fuentes.

A partir de las diversas discusiones y encuestas, y del mapeo de cultivos y variedades en particular, comenzará a surgir una imagen del número de variedades tradicionales, la medida en que se cultivan las diferentes variedades, las principales fortalezas y debilidades de las diferentes variedades y el valor, rol e importancia de cada una de ellas en diferentes secciones de cualquier comunidad. Clasificar las variedades con los agricultores, tanto a través de DGF como de entrevistas con informantes clave, según sean comunes (cultivadas por la mayoría de los agricultores) o raras (crezcan solo unas pocas), y si se cultivan en áreas relativamente grandes o solo en pequeñas parcelas, ha demostrado ser un método útil de “análisis de cuatro celdas” para explorar una serie de aspectos de conservación y uso.

Las variedades comunes que se cultivan en áreas más grandes suelen ser los alimentos esenciales para el hogar que se usan a diario y que se espera que se

TABLA 5.3. UNA TABLA DE 4 CELDAS DE UN EJERCICIO DE MAPEO DE VARIEDADES DE ARROZ LLEVADO A CABO EN KASKI, NEPAL, QUE INDICA EL NUMERO DE VARIEDADES DE CADA TIPO SEGÚN LO PERCIBIDO POR LA COMUNIDAD.

	<i>Común</i>	<i>Raro</i>
Área grande	9	3
Área pequeña	3	36

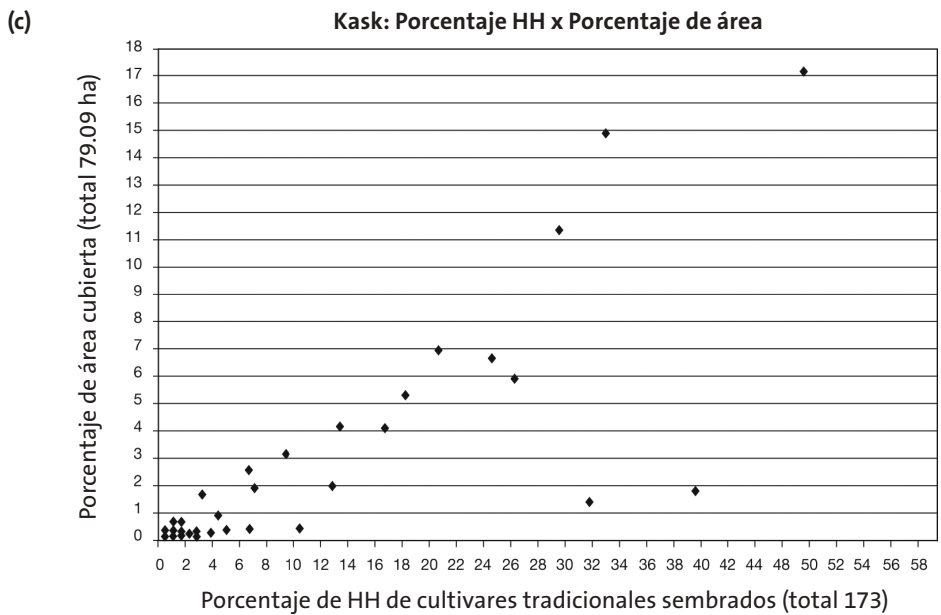
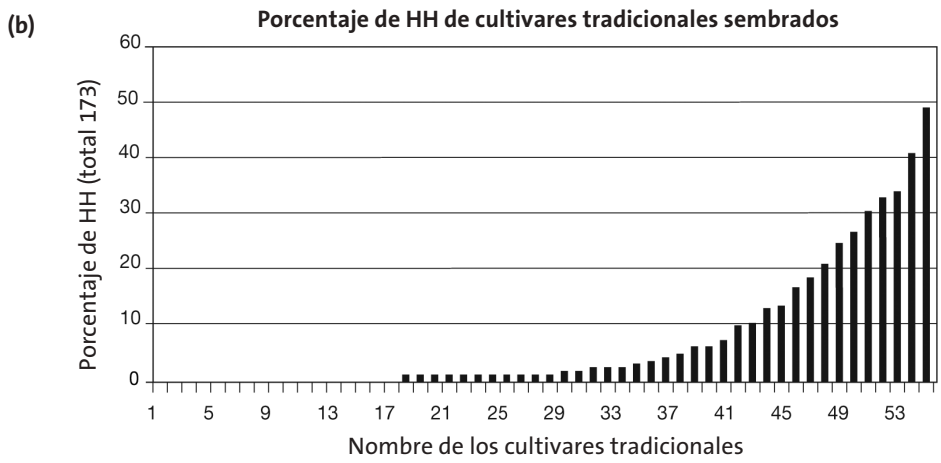
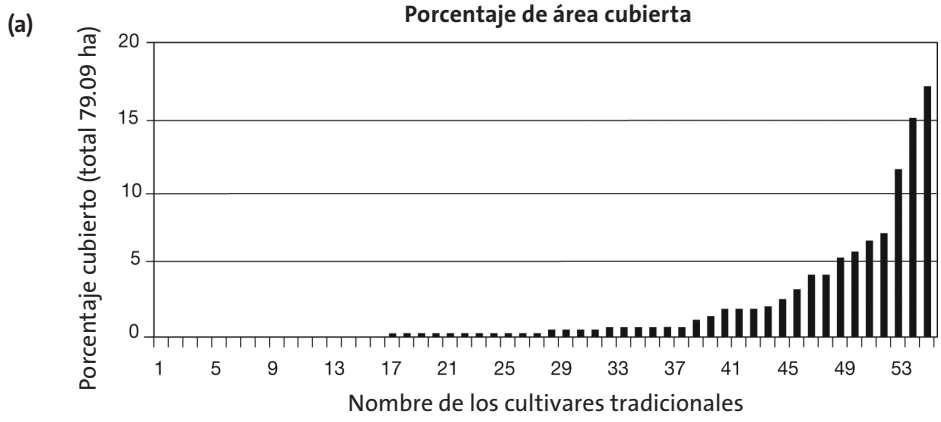
Fuente: Jarvis et al. (2007b)

cosechen de manera más confiable. Aquellos cultivados en áreas más pequeñas a menudo son variedades utilizadas con fines culturales (por ejemplo, como regalos en días de fiesta). Estas son variedades que todo hogar necesita, pero solo en pequeñas cantidades. También pueden ser variedades de alto valor que pueden venderse en el mercado local (incluso si su rendimiento es relativamente bajo), proporcionando efectivo para los gastos del hogar. Las variedades raras cultivadas en áreas extensas pueden ser variedades adaptadas a condiciones agroecológicas específicas que ocurren solo en uno o dos lugares en la comunidad. Siempre que sea posible, esta clasificación aproximada se debe comparar con análisis más exactos de las relaciones de área y frecuencia, que pueden revelar una imagen ligeramente diferente. La Tabla 5.3 muestra el número de variedades de arroz cultivadas por una comunidad en Nepal en la parte media de las colinas, clasificadas de acuerdo a si eran comunes o raras, y se cultivaban en áreas grandes o pequeñas. Como se muestra en la figura 5.3, cuando se recopilaron y analizaron todos los datos sobre áreas y porcentajes de hogares que cultivan variedades tradicionales específicas, la situación fue mucho menos clara.

En muchas comunidades tradicionales y para muchos cultivos, la mayor cantidad de variedades son aquellas que son raras y crecen solo en áreas pequeñas. A menudo se cultiva por un solo agricultor en solo uno o dos campos, a menudo por razones bastante únicas, estas parecen ser las variedades que están en mayor riesgo de pérdida simplemente por casualidad (el campesino muere, se enferma o simplemente cambia de opinión). Por lo tanto, su constitución genética y propiedades pueden ser de particular interés, y estas variedades pueden necesitar prioridad en cualquier comunidad local u otro programa de conservación.

Codificación y Análisis de Datos Participativos

Los procedimientos descritos anteriormente producen diversos tipos y formas de datos. La información puede venir en forma de categorías discretas tales como respuestas a preguntas abiertas que rinden datos cualitativos, mien-



tras que otras herramientas producen resultados visuales como mapas. El análisis de tales datos requiere el procesamiento previo de los datos antes de que puedan ser puestos en un formato Excel o SPSS para su análisis. El primer paso es codificar los datos brutos en una base de datos unificada mediante la asignación de identidades numéricas y valores. El procesamiento de datos se lleva a cabo de acuerdo con el tipo de datos de campo recopilados a través de los diferentes métodos participativos. Estos datos pueden clasificarse, en términos generales, como: (1) identificación y caracterización, (2) calificación y comparación, y (3) visualización.

Los ejemplos de datos de identificación y caracterización son listas de nombres, criterios, descripciones, razones y otros datos nominales similares que identifican y caracterizan una variedad en particular. La información de clasificación y comparación incluye rangos, puntajes y datos que solicitan a los agricultores que califiquen, comparen y diferencien. Para facilitar la codificación de este tipo de datos, es ideal establecer el mismo rango de puntajes o escalas al diseñar los procedimientos de recolección de datos.

Las declaraciones de creencias son otro tipo de datos que incluyen calificación y comparación. Los puntajes se asignan a cada posible respuesta en una escala de calificación. Estos representan la dirección, extensión o grado de acuerdo/conformidad con creencias, actitudes, normas y motivaciones particulares.

Los datos de visualización incluyen mapas, diagramas y especímenes, que se utilizan como herramientas visuales para que los agricultores articulen sus

Figura 5.3. (pagina anterior) La Figura 5.3a muestra el porcentaje de área cubierta por cada variedad; 5.3b muestra la cantidad de agricultores que cultivan cada variedad; y 5.3c muestra la comparación del área porcentual real ocupada por las variedades tradicionales de arroz y el porcentaje de hogares que cultivan la variedad en la zona de media montaña de Kaski, Nepal. Las variedades en el cuarto superior derecho de 5.3c son cultivadas por muchos agricultores y cubren un porcentaje significativo del área del pueblo dedicada a la agricultura del arroz. Un número significativo de variedades también son cultivadas por muy pocos agricultores, que en total cubren un pequeño porcentaje de las áreas de cultivo de arroz. Para la mayoría de las variedades cultivadas, el área cubierta por una variedad aumenta a medida que aumenta el número de agricultores que cultivan una variedad. Cabe destacar las variedades que quedan fuera de la tendencia principal, como los dos puntos debajo de la línea principal, son variedades cultivadas por muchos agricultores, pero en áreas tan pequeñas que el porcentaje de cobertura total de la variedad no aumenta al mismo ritmo que la de las otras variedades. Estas dos variedades (rato anadí y seto anadí) son variedades de arroz glutinoso que se cultivan con mayor frecuencia bajo aniego o en dhab (áreas anegadas persistentes). Son valoradas en la preparación de la cocina local durante las festividades y tienen un significado religioso y cultural especial, y muchos agricultores las cultivan en áreas pequeñas. (De Sadiki et al. 2007, cortesía de Bioversity International)

conocimientos sobre un tema en particular. A menudo, estos se utilizan para ilustrar ubicación, extensión, relación, patrón y tendencia. Los datos están representados por símbolos, signos y etiquetas que los encuestados dibujan o escriben. Estos datos visuales se procesan a través del análisis de contenido, un método para obtener significados transmitidos por los agricultores a través de símbolos como datos de campo, que luego se codifican en la base de datos a través de identidades numéricas y valores asignados a ellos. Cada mapa o diagrama, ya sea de una entrevista individual o de una sesión de grupo de discusión de agricultores, se considera una unidad de observación. Se puede codificar un conjunto de diagramas, lo que da como resultado una base de datos que se puede analizar de la misma manera que los datos de encuestas más convencionales (el Capítulo 8 brinda un ejemplo de información codificada mediante este método; ver también Jarvis y Campilan 2006).

Una vez que la información ha sido codificada, puede analizarse usando Excel, SPSS u otro paquete estadístico. Siempre es importante usar procedimientos que puedan probar la importancia de cualquier tendencia o diferencia que se haya identificado, y esto debe tenerse en cuenta al diseñar el programa de trabajo. Tener un estadístico como parte del equipo, o al menos discutir los planes con los estadísticos, es una parte importante del proceso de recopilación de datos.

Diseñando una Investigación

Muy rara vez (si es que alguna vez) es posible llevar a cabo todos los diferentes estudios y análisis discutidos anteriormente, y sería poco práctico creer que todos eran necesarios para apoyar el mantenimiento en fincas y el uso de la diversidad por parte de los agricultores en cualquier comunidad. Un paso importante en el proceso de apoyar la conservación en fincas es determinar los estudios que se requieren. Esto depende en gran medida de qué preguntas deben responderse con respecto a cualquier cultivo o área, y cómo pueden formularse de manera que proporcionen las respuestas necesarias, pero minimicen la carga de investigación.

Como se señaló en el Capítulo 1, hay cinco preguntas para las cuales se necesita algún tipo de respuesta al desarrollar una estrategia para apoyar la conservación en fincas: qué, dónde, cómo, quién y cuándo. Los procedimientos descritos en este capítulo y en el Capítulo 4 se centran en proporcionar información sobre la diversidad genética que se mantiene (el “Qué”). La forma en que se recopilan los datos (el diseño experimental) también puede proporcionar

el punto de entrada para responder a las otras preguntas, por ejemplo, si las comunidades o agricultores dentro de las comunidades mantienen los mismos tipos y cantidades de variedades con los mismos rasgos o diversidad genética, o determinar su distribución geográfica dentro del área de estudio. Un estudio bien planificado puede generar algunas primeras hipótesis sobre la importancia relativa de los factores físicos, biológicos o socioeconómicos para determinar la distribución de la diversidad o su cantidad en áreas específicas o en fincas específicas. La exploración adicional de la importancia relativa de estos factores se puede encontrar en los Capítulos del 6 al 9.

Al planificar cualquier investigación, es importante tener en cuenta sus objetivos, ya que esto influirá en las preguntas que se harán y en los datos que se recopilarán. Por ejemplo, si un objetivo principal es apoyar la resiliencia de la comunidad y la adaptabilidad al cambio climático a través del mantenimiento de las variedades tradicionales, las preguntas sobre quién mantiene la diversidad y cómo se pueden apoyar los sistemas de mantenimiento existentes se vuelven centrales para el trabajo. Por otro lado, si el objetivo es garantizar la conservación de la diversidad máxima, es probable que una descripción completa de la diversidad utilizando la estructura varietal y los métodos moleculares tenga alta prioridad (por ejemplo, en el caso del arroz de alta altitud en Nepal (Bajracharya et al. 2005). Si la preocupación es con la erosión genética, se necesitará un enfoque temporal, respaldado por estudios moleculares y agromorfológicos, como fue utilizado por Vigouroux et al. (2011a, b) en su trabajo sobre los cambios en la diversidad genética en el mijo perla y el sorgo en Níger. Como se señaló anteriormente, la decisión de las preguntas que uno quiere hacer es una parte importante para determinar qué método molecular utilizar. De hecho, definir las preguntas correctas para formular, diseñar los estudios que se necesitarán y planificar el trabajo que puede ofrecer las respuestas solicitadas son partes esenciales de cualquier trabajo destinado a apoyar el mantenimiento de las variedades tradicionales en las fincas.

¿Cuál es la Estructura Varietal de la Cosecha en el Área Estudiada y Cómo Se Mantiene?

Es probable que sea un primer paso en casi cualquier estudio sobre el mantenimiento y el uso de variedades tradicionales. El patrón altamente estructurado de nombres y variedades claramente diferenciadas que se encuentran en el arroz en Nepal o variedades de papa en el Perú a menudo no se encuentra en otros cultivos. Por ejemplo, la mayor parte de la cebada tradicional en Marrue-

cos simplemente se identifica como baladi (local). Esto no significa que falte un sistema identificable de clasificación y separación de variedades. El objetivo del análisis es tratar de comprender cómo se distinguen los lotes de semillas de los agricultores dentro de las comunidades y entre ellas, y relacionar los nombres y rasgos con las prácticas de manejo.

¿Cuál Es la Distribución de la Diversidad Genética Entre y Dentro de las Variedades Tradicionales?

Aquí el interés está en la variación genética y la forma en que se estructura dentro de un cultivo en el área. El número de variedades deberá determinarse con datos sobre su ocurrencia que puedan usarse para determinar cuáles son comunes y generalizadas y cuáles son raras. Se requerirán estimaciones de diversidad genética entre y dentro de la variedad con, de ser posible, una estimación del grado en que las variedades contienen “alelos privados” que no se encuentran en otras variedades. La variación en los Marcadores de Secuencias Expresadas (EST) y en las secuencias no expresadas de SSR será útil si los recursos lo permiten. Los datos fenotípicos obtenidos de ensayos en la finca o en la estación, junto con las perspectivas de los agricultores sobre los rasgos importantes en las diferentes variedades, proporcionan los datos complementarios necesarios sobre la variación útil que pueden ayudar a orientar las decisiones de conservación.

¿Cuál Es la Distribución Geográfica de la Diversidad Observada?

Mientras el interés (y la mayoría de las actividades) puede centrarse en una comunidad o área en particular, es probable que haya interés en la singularidad del área en términos de la variación encontrada para cualquier cultivo. Esto requerirá muestreo adicional en otras áreas que brinden suficiente información para evaluar si existe una variación adicional fuera del área objeto. En un caso desafiante, en la Península mexicana de Yucatán, se comparó una muestra de 15 variedades de maíz de un solo pueblo, Yaxcabá, con una colección de accesiones de maíz hechas a nivel regional peninsular. Las colecciones fueron ensambladas a partir de 314 poblaciones de maíz, de las cuales 182 eran de Yaxcabá y alrededores, y el resto de los tres estados de la Península: el Estado de Yucatán, el Estado de Quintana Roo y el Estado de Campeche. Las poblaciones se caracterizaron por 34 rasgos morfológicos y fenológicos y se analizó la variabilidad con análisis de componentes principales. Los principales caracteres morfológicos

que describen la variación entre las poblaciones de Yucatán están relacionados con los rasgos reproductivos, como las dimensiones de la inflorescencia masculina, la mazorca y el grano. El Primer Componente estableció a los cultivares primitivos de los Estados de Quintana Roo y Campeche, y el estado de Yucatán. Las dimensiones vegetativas de las plantas son las principales contribuyentes al segundo eje, y las poblaciones de maíz de Yaxcabá y sus comunidades vecinas cubren casi toda la extensión de la diversidad morfológica (Arias 2000, Chávez-Servia et al. 2000, Sadiki et al. 2007).

Otras herramientas de análisis espacial, como un sistema de información geográfica (GIS), que pueden integrar datos espaciales ambientales y económicos con otra información sobre diversidad genética de los cultivos se presenta en el próximo capítulo (Capítulo 6).

De estas preguntas generales se pueden identificar preguntas más específicas, que forman la base de hipótesis comprobables que permiten al investigador enfocarse en aspectos específicos tales como las formas en que se mantiene la diversidad; la importancia relativa de aspectos genéticos específicos, como la selección, la migración o el flujo de genes; o el potencial para mejorar algunas de las variedades más importantes. La forma en que estos diferentes aspectos se combinan para proporcionar una imagen completa del manejo y uso de variedades tradicionales se analiza con más detalle en el Capítulo 11.

Lecturas Adicionales

- Agarwal, M., N. Shrivastava, y H. Padh. 2008. "Advances in molecular marker techniques and their applications in plant sciences." *Plant Cell Reporter* 27:617–31.
- Bohn, L., A. S. Meyer, y S. K. Rasmussen. 2008. "Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding." *Journal of Zhejiang University Science B* 9:165–91.
- Brown, A. H. D. 1999. "The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms." Pp. 29–48 in *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity* (S. B. Brush, Ed.). Lewis Publishers, Boca Raton.
- Dunn, G., y B. Everitt. 2004 (1982). *An Introduction to Mathematical Taxonomy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Emerson, R. M., R. I. Fretz, y L. L. Shaw. 2011. *Writing Ethnographic Field Notes*, 2nd ed. University of Chicago Press, Chicago.
- Excoffier, L., y G. Heckel. 2006. "Computer programs for population genetics data analysis: a survival guide." *Nature Reviews Genetics* 7:745–58.

- Gonsalves, J., T. Becker, A. Braun, D. Campilan, H. De Chavez, E. Fajber, M. Kapiriri, J. Riveca-Caminade, y R. Vernooy (Eds.). 2005. *Participatory Research and Development for Sustainable Agriculture and Natural Resource Management: A Sourcebook. Volume 1: Understanding Participatory Research and Development*. CIP-upward, Laguna, Philippines; and IDRC, Ottawa, Canada.
- Guillot, G., R. Leblois, A. Coulon, y A. C. Frantz. 2009. "Statistical methods in spatial genetics." *Molecular Ecology* 18:4734–56.
- Hoban, S., G. Bertorelle, y O. E. Gaggiotti. 2012. "Computer simulations: tools for population and evolutionary genetics." *Nature Reviews Genetics* 13:110–22.
- Kennedy, G., y B. Burlingame. 2003. "Analytical, nutritional and clinical methods analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective." *Food Chemistry* 80:589–96.
- Mead, R., R. N. Curnow, y A. M. Hasted. 2003. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*, 3rd ed. Chapman and Hall/CRC.
- Mutsaers, H. J. W., G. K. Weber, P. Walker, y N. M. Fisher. 1997. *A Field Guide for On-Farm Experimentation*. IITA/CTA/ISNAR, Ibadan.
- Sadiki, M., 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. Chavez-Servia, B. Sthapit, y V. R. Rao. 2007. "Variety names: an entry point to crop genetic diversity and distribution in agroecosystems?" Pp. 34–76 in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, and H. D. Cooper, Eds.). Columbia University Press, New York.
- Wildi, Otto. 2010. *Data Analysis in Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.



Ilustración 5. Desarrollar una comprensión clara de la estructura varietal y las formas en que los agricultores usan nombres de variedades implica un proceso participativo iterativo en el que los agricultores, individualmente y en grupos, comprendan cómo ven las variedades de los cultivos que siembran. Las fotos superior e inferior izquierda muestran a los agricultores describiendo las formas en que distinguen las variedades de sus cultivos. En la foto superior izquierda, los agricultores ugandeses mantienen discusiones en el campo donde se cultivan las variedades de plátano y banano. En la foto inferior izquierda, los agricultores marroquíes trajeron sus diferentes variedades locales de cebada para discutir. La foto superior derecha muestra cómo las variedades caracterizadas de frijol común en Uganda se agrupan para mostrar esta información con los nombres de las variedades en filas, y los rasgos que los agricultores han utilizado para describir sus variedades en columnas. De esta forma, los agricultores, junto con los investigadores, pueden comparar los rasgos descriptivos. La foto inferior derecha muestra a dos mujeres en Saraguro, Ecuador, discutiendo las diferentes características de las semillas de frijol común de diferentes variedades locales. Créditos de las fotos: P. De Santis (arriba y abajo a la izquierda), J. Coronel (abajo a la derecha), D. Jarvis (arriba a la derecha).

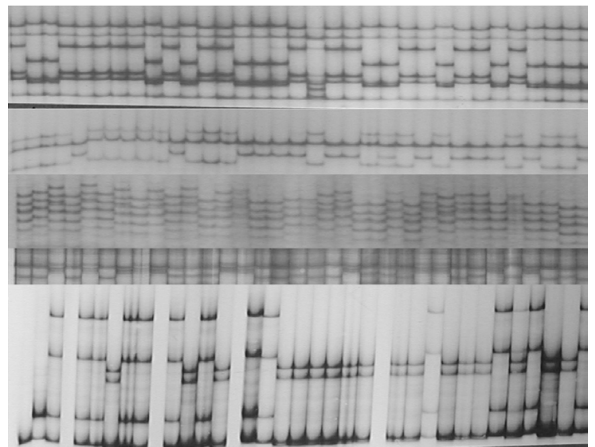


Ilustración 6. El fenotipo de las plantas es la evaluación integral de rasgos complejos tales como crecimiento, desarrollo, tolerancia, resistencia, arquitectura, fisiología, ecología, rendimiento y la medición básica de parámetros cuantitativos individuales que forman la base de los rasgos más complejos. Incluye tanto la caracterización como la evaluación, y abarca desde la observación directa de pruebas de campo individuales hasta el análisis cuidadoso de rasgos específicos en condiciones controladas. Arriba a la izquierda: una prueba de bloques de diversidad utilizada por los agricultores junto con investigadores para evaluar los rasgos agromorfológicos de las variedades tradicionales de arroz en Begnas, Nepal. Arriba a la derecha: parte de una gran parcela experimental de 400 accesiones de trigo duro que se está evaluando para su adaptación al cambio climático en Geregera, Amhara, Etiopía. Abajo a la izquierda: una instalación de fenotipos desarrollada para permitir la determinación de rasgos específicos bajo condiciones altamente controladas, permitiendo el análisis de poblaciones segregantes combinadas con estudios de genética molecular. Abajo a la derecha: algunos geles de SSCP (Polimorfismo de Conformación de Cadena Simple) de trigo que indican polimorfismo entre los fragmentos de PCR que difieren en las mutaciones puntuales. El polimorfismo se deriva del cambio de movilidad debido a la estructura secundaria del plegamiento. Créditos fotográficos: B. Sthapit (arriba a la izquierda), C. Fadda (arriba a la derecha), Anthony Pugh Photography/IBERS Aberystwyth University (abajo a la izquierda), D. R. See (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 6

Componentes Abióticos y Bióticos de los Ecosistemas Agrícolas

Al final de este capítulo, el lector debe comprender:

- Cómo identificar y caracterizar los factores ambientales clave que afectan la diversidad genética y la productividad de los cultivos.
- Cómo recopilar y analizar información sobre el conocimiento de los agricultores sobre su entorno biofísico.
- El papel potencial de la diversidad genética de cultivos en el apoyo a las funciones de los ecosistemas.

Caracterizando el Agro-Ecosistema

Los agroecosistemas están formados por componentes no vivos (abióticos) y vivos (bióticos) en un sistema agrícola manejado por el hombre. Los agroecosistemas son la arena en la que se produce la evolución de los cultivos, y presentan estreses y oportunidades a las cuales los cultivos deben adaptarse para prosperar. Los componentes abióticos de los agroecosistemas incluyen la temperatura, el suelo, el agua, la humedad relativa, la luz y el viento. Los facto-

res bióticos incluyen parásitos y plagas herbívoras, competencia entre cultivos y otras plantas, y relaciones favorables (simbióticas) entre organismos, tales como organismos subterráneos y polinizadores. Los agricultores que manejan estos factores a través del riego, el aporte de nutrientes, el control de plagas, la preparación de la tierra, cultivos mixtos/de relevo y otras prácticas también son un “componente biótico” de los agroecosistemas.

Los factores abióticos y bióticos varían con el tiempo (con cambios estacionales, anuales y estocásticos) y en el espacio, desde escalas microambientales hasta ecoregionales. El tratamiento en profundidad para cada factor individual está disponible en la mayoría de los libros de texto agroecológicos (ver Gliessman 2015 y la lectura recomendada al final de este capítulo). El enfoque de este capítulo es proporcionar una comprensión de los métodos y herramientas utilizados para caracterizar, utilizando datos empíricos y conocimientos de los agricultores, los componentes abióticos y bióticos de los ecosistemas agrícolas que influyen en la extensión y distribución de la diversidad genética de los cultivos en fincas, y proporcionar un marco para el papel de la diversidad genética de los cultivos en apoyo a las funciones de los ecosistemas.

Componentes Abióticos de los Ecosistemas Agrícolas

Muchos factores abióticos diferentes influyen en la extensión y distribución de las variedades de los cultivos tradicionales en los sistemas de producción agrícola. Entre los factores más importantes se encuentran las diferencias en topografía, altitud, pendiente y aspecto; la cantidad y distribución de la lluvia; fluctuaciones en la temperatura, la intensidad de la luz, la velocidad del viento y los niveles de concentración de CO₂; y las propiedades del suelo, incluida la textura, la fertilidad y la posible toxicidad.

Factores Climáticos

Temperatura: La temperatura influye en casi todos los procesos fisiológicos y fenológicos de las plantas, incluida la germinación, el crecimiento, la fotosíntesis, la respiración, la floración y el cuajado y el desarrollo de los frutos. Para la mayoría de las plantas, existe un rango relativamente estrecho de temperaturas dentro de las cuales se optimiza el funcionamiento de estos procesos fisiológicos. Las variedades de cultivos generalmente muestran una adaptación general para climas más fríos o más cálidos, pero igualmente importante es su capacidad para tolerar temperaturas extremas de calor o frío y aun así completar

su desarrollo fisiológico (analizado en el Capítulo 7). En los límites superiores de altura de la agricultura en las regiones montañosas ecuatoriales, las plantas deben hacer frente a grandes fluctuaciones diarias de temperatura, desde temperaturas cercanas a la congelación en la noche hasta una muy alta insolación en días claros y soleados. Las fluctuaciones diarias de temperatura, por ejemplo, pueden ser extremas en las regiones tropicales de elevación alta. La temperatura, la duración del día y la precipitación experimentan cambios estacionales regulares en latitudes más altas. La temperatura generalmente se mide mensual o estacionalmente; en ambos casos, se deben proporcionar los valores medios, mínimos y máximos, y se debe proporcionar la distancia a la estación meteorológica más cercana si se conoce. La incidencia de las heladas también debe presentarse como el número estimado de días de heladas por año o como la primera y la última helada del año.

Agua: En todos los ambientes áridos, semiáridos y estacionalmente secos del mundo, los agricultores típicamente han adaptado su agricultura para lidiar con la escasez o deficiencia de agua. Los factores más importantes para los agricultores que dependen de la agricultura de secano son la distribución, la periodicidad y la previsión de la precipitación; en otras palabras, cuando ocurre durante el año, con qué frecuencia se produce y el grado de variabilidad en la precipitación de un período de tiempo a otro. La duración y la intensidad de las precipitaciones también pueden tener implicaciones importantes para las condiciones de la finca, como posibles brotes de plagas y enfermedades o eventos de inundación en los campos bajos. La precipitación se reporta sobre la base de promedios anuales o estacionales. Las cantidades de lluvia en un único evento también son importantes para documentar.

Luz: Todas las plantas de cultivo dependen de la luz solar como su principal fuente de energía, que capturan a través de la fotosíntesis, se convierte en energía química y se almacenan en forma de carbohidratos. La cantidad de luz que recibe una planta en su entorno de campo puede ser un factor importante que afecta la velocidad a la que la planta puede realizar la fotosíntesis, y por lo tanto influye fuertemente en la productividad general de la planta. El ambiente de luz particular de una planta se forma más ampliamente por la latitud y la altitud donde crece, ya que ambos factores afectan la intensidad y la duración de la luz solar recibida. La luz del sol, que alcanza latitudes más altas durante los meses de invierno, pasa más a través de la atmósfera de la Tierra antes de llegar a las plantas en la superficie, haciéndola menos intensa que la luz que reciben las plantas que crecen en regiones tropicales cerca del ecuador. Las plantas que crecen a mayor altitud en las regiones ecuatoriales reciben entradas de luz espe-

cialmente intensas ya que la atmósfera es más delgada a mayor altitud y absorbe y dispersa menos luz.

La luz puede ser una medida cualitativa basada en la exposición al sol (como sin sombra, sombra parcial o sombra completa), y también se puede medir en el fotoperíodo en un punto específico de la temporada de crecimiento (media, máxima, mínima). La intensidad de la luz también puede ser un factor ambiental importante en algunas regiones, como las zonas ecuatoriales de gran altitud, donde la atmósfera delgada da como resultado una gran afluencia de luz visible, ultravioleta e infrarroja que requiere de adaptaciones por parte de las plantas de cultivo.

Los hábitats ubicados en altitudes más altas se asocian comúnmente con factores abióticos particulares, incluida la baja disponibilidad de CO₂ y la alta variación en la precipitación, la luz, los suelos y la temperatura. Del mismo modo, es probable que otros nichos ecogeográficos contengan “asociaciones” de factores abióticos. Las regiones semidesérticas están asociadas con suelos poco profundos, arenosos, poca lluvia y temperaturas extremas. También pueden verse afectados por vientos fuertes, medidos como la frecuencia de los vientos huracanados o la velocidad máxima anual del viento (km/s). La pendiente y el aspecto también afectan el entorno de humedad en los sitios de campo de maneras algo más sutiles, las laderas orientadas al norte tienden a mantener la humedad más tiempo y las ubicadas hacia el sur se secan más rápido debido a la mayor insolación, una medida de la energía de radiación solar recibida en un área de superficie determinada y registrada durante un tiempo dado.

Para un texto general sobre meteorología, incluido el estudio de los cambios en la atmósfera (temperatura, humedad, presión atmosférica y viento) y sus efectos sobre nuestro clima, el lector puede consultar Ahrens (2012). Se recomienda Neelin (2011) y Bonan (2008) para obtener información más detallada sobre los procesos de cambio climático y su medición.

Suelos

Los suelos se forman a través de una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, todos los cuales ayudan a determinar las propiedades particulares de un suelo dado. Los libros de texto que se ocupan de los procesos de formación del suelo, la estructura del suelo, la química y la nutrición del suelo incluyen a Brady y Weil (2007) y Plaster (2009). Las variables físicas del suelo incluyen el tipo de roca madre o material parental, el modo particular de transporte (por ejemplo, agua, viento, hielo o gravedad) de las partículas minerales

que se han producido al formar el suelo, y el tamaño y grado de consolidación de esas partículas.

Los procesos químicos incluyen la liberación de minerales del material original (a través de la hidratación, hidrólisis, solución y oxidación) y la formación de minerales secundarios, principalmente arcillas, en suelos no consolidados. Algunas de las propiedades clave del suelo que afectan significativamente el crecimiento del cultivo son la capacidad de intercambio de cationes, el pH y las deficiencias de nutrientes. La capacidad de intercambio de cationes del suelo es una medida de qué tan bien un suelo puede retener nutrientes minerales, incluyendo nitrato y fosfato (iones con carga negativa) y potasio y calcio (iones con carga positiva). Los suelos con una alta capacidad de intercambio de cationes pueden unir nutrientes, prevenir su lixiviación y ponerlos a disposición de los cultivos y otras plantas. Una propiedad relacionada es el pH de un suelo, que mide su equilibrio ácido-base.

Las deficiencias o la toxicidad de los nutrientes del suelo pueden ser particularmente importantes para determinar la supervivencia y la productividad de las variedades de los cultivos en el agroecosistema. Los suelos pueden ser deficientes en nitrógeno, fósforo o potasio, así como en micronutrientes secundarios como magnesio, azufre, zinc y boro. Por el contrario, el hierro, el manganeso y el aluminio pueden aparecer en cantidades tan elevadas que causan toxicidad. La disponibilidad de nutrientes puede estar relacionada con el pH del suelo y los regímenes de precipitación.

Los suelos contienen plantas (en forma de raíces y rizomas), hongos, microbios y micro y macrofauna. La acumulación de materia orgánica en el suelo a través de procesos de descomposición y mineralización crea lo que se llama humus. La química de la hojarasca, que tiene una fuerte base genética y varía entre los genotipos, representa una cantidad significativa de variación de las tasas de cambio de la respiración, la descomposición del carbono y el nitrógeno, y la disponibilidad de nitrato y amonio. Los textos a consultar sobre la fauna del suelo y los microorganismos incluyen a Sylvia et al. (2004) y Paul (2007). Los procesos físicos, químicos y biológicos descritos anteriormente típicamente dan como resultado capas u horizontes definibles en un suelo.

Perturbación Ambiental y Cambio Climático

Los cambios ambientales intermitentes o periódicos en los niveles de componentes abióticos o bióticos de los ecosistemas agrícolas se denominan eventos estocásticos en ecología. Estos son episodios de cambios abióticos o

bióticos que representan una desviación significativa pero impredecible de las condiciones ambientales regulares. El impacto de los eventos estocásticos está fuertemente influenciado por su frecuencia, intensidad y duración. Las sequías o lluvias torrenciales causadas por un evento de El Niño (dependiendo de dónde se encuentre) son eventos estocásticos, como son los brotes de enfermedades o plagas severas. Los eventos estocásticos generalmente presentan una gran presión sobre las plantas de cultivo y pueden reducir significativamente el tamaño de las poblaciones de los cultivos en una comunidad o región.

Niveles de Dióxido de Carbono y Cambio Climático

En los últimos dos siglos, la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo han provocado que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera aumenten de un nivel preindustrial de 280 ppm a más de 400 ppm en la actualidad (Showstack 2013). El CO_2 atmosférico se mide como fracción molar seca, definida como el número de moléculas de dióxido de carbono dividido por el número de moléculas de aire seco multiplicado por un millón (ppm). El método más directo para medir las concentraciones atmosféricas de CO_2 en los períodos anteriores al muestreo directo es medir las burbujas de aire (inclusiones de fluidos o gases) atrapadas en las capas de hielo de la Antártida o Groenlandia. La técnica de Eddy Covariance (también conocida como correlación de remolino y flujo de Foucault) es una técnica matemática que mide y calcula el flujo turbulento vertical de CO_2 entre la atmósfera y la biosfera. Los experimentos de enriquecimiento de CO_2 en el aire libre (FACE), donde las plantas se cultivan en suelo natural, generalmente muestran tasas más altas de fotosíntesis y productividad en plantas con niveles elevados de CO_2 , incluidas las especies de cultivo. Las ganancias potenciales de productividad en los cultivos por el aumento de las concentraciones atmosféricas de CO_2 probablemente varíen mucho en la práctica, reflejando cambios en otros factores ambientales tales como temperatura, humedad del suelo, disponibilidad de otros nutrientes limitantes y cambios en las poblaciones de plagas y patógenos (Leakey et al. 2012).

Bajo los modelos actuales de cambio climático global, el elevado nivel de CO_2 es solo uno de los muchos cambios esperados en las condiciones agroecológicas de los sistemas agrícolas. La modelación climática sugiere que los agricultores necesitarán adaptar sus cultivos y prácticas agronómicas para hacer frente al aumento de las temperaturas (tanto máximos diurnos como mínimos nocturnos); los cambios en el tiempo, la cantidad y la distribución de la lluvia y la humedad del suelo; e incremento de la frecuencia e intensidad de los eventos estocásticos.

Pueden surgir algunas oportunidades para expandir la producción hacia nuevas áreas o con nuevos cultivos (por ejemplo, en los límites altitudinales superiores para cultivos básicos en regiones montañosas como los Andes o el Himalaya). Las altas temperaturas combinadas con lluvias cada vez más variables pueden aumentar el estrés fisiológico en muchos cultivos. Por ejemplo, el aumento de la temperatura por encima de 32–35°C disminuirán los rendimientos entre 5 y 10 por ciento en arroz y maíz (Gregory et al. 2009).

Componentes Bióticos de los Ecosistemas Agrícolas

Los componentes bióticos de los agroecosistemas que tienen un impacto en el mantenimiento y uso de la diversidad genética de los cultivos incluyen enfermedades, plagas, malezas, enemigos naturales, polinizadores y organismos subterráneos. La interacción con estos organismos puede ser positiva, negativa o neutral para las plantas de cultivo, y su escala es grande. Las pérdidas de cultivos causadas solo por plagas y malezas se han estimado en 42 por ciento de la cosecha potencial (Pimentel y Cilveti 2007). En el lado favorable, los servicios a la agricultura proporcionados por los polinizadores se estima que están entre el 1 y 16 por ciento del valor de la producción para el mercado, dependiendo de la cosecha, lo que equivale a \$29 mil millones anuales solo en los Estados Unidos (Hein 2009; Calderone 2012). Las interacciones bióticas tienen el potencial de influir en la diversidad genética de los cultivos ejerciendo presiones de selección o confiriendo ventajas selectivas a las plantas de cultivo individuales (véase el Capítulo 7).

La competencia es una interacción biótica resultante de recursos limitados en un ecosistema; ambos organismos están peor, ya que cada uno usa recursos que ambos necesitan. La competencia puede ocurrir entre organismos de la misma especie o de especies diferentes (por ejemplo, especies de cultivos y malezas (Liebman y Gallandt 1997). El mutualismo es una interacción biótica en la cual dos organismos se impactan positivamente; ninguno tiene éxito en ausencia del otro. La polinización y la asociación de micorrizas son ejemplos de mutualismo.

El comensalismo es una interacción entre organismos en la que un organismo es ayudado por la interacción y el otro no se beneficia ni se perjudica. Un ejemplo de comensalismo es una planta de sombra obligada, como el café (*Coffea arabica*), protegida por especies de árboles de sombra fijadoras de nitrógeno, como las del género *Inga*, que son comunes en los cafetales de América Central cultivados a la sombra (Gliessman 2015). Por el contrario, el amensalismo describe una interacción entre organismos en la cual un organismo impacta negativamente a otro organismo sin recibir ningún beneficio directo en sí mismo,

como la liberación por una planta de un compuesto al medio ambiente que tiene un impacto inhibitorio o estimulador en otros organismos, o alelopatía. Una relación parasitaria involucra a un organismo que se beneficia y quizás depende de la interacción, mientras que daña al otro organismo, como en algunas enfermedades de los cultivos. Finalmente, la depredación es cuando un organismo se beneficia matando y consumiendo a otro, como un gorgojo u otra plaga del cultivo que destruye la viabilidad de las semillas que infesta.

Patógenos

Los patógenos de plantas siguen siendo una de las principales causas de pérdida de cultivos y daños a los cultivos, con una pérdida de rendimiento mundial promedio para la enfermedad estimada en 16 por ciento (Oerke 2006). Las tasas de evolución de patógenos están determinadas por el número de generaciones de reproducción de patógenos por intervalo de tiempo, junto con otras características, incluida la heredabilidad de los rasgos relacionados con la aptitud física. Los cambios de temperatura influyen en la tasa de reproducción de muchos patógenos. Las estaciones de crecimiento más largas antes del inicio de las bajas temperaturas pueden dar más tiempo para la evolución del patógeno. Las poblaciones más grandes de patógenos pueden aumentar la hibernación o la saturación de las tasas de patógenos. La patogenicidad es la capacidad de un microbio de causar daño en un huésped. La virulencia es la capacidad promedio de una población de patógenos para superar la diversidad de genes de resistencia presentes en la población hospedante correspondiente, a veces definida como el grado de patogenicidad o la capacidad relativa para causar la enfermedad. La agresividad es una medida cuantitativa de la capacidad de un patógeno vegetal para colonizar y diseminar, causando daños a su huésped.

Gran parte del modelado de la diseminación de la enfermedad se realiza a través del análisis de redes (ver Moslonka-Lefebvre et al. 2011 para una revisión de diversas estructuras de red y sus aplicaciones en la diseminación de enfermedades). El modelado de análisis de red generalmente se concentra en demostrar la probabilidad de que ocurra una epidemia después de una infección inicial. El resultado del modelo está influenciado por la estructura de contacto en las primeras fases de la epidemia.

Con el advenimiento de la secuenciación rápida del genoma completo y las tecnologías portátiles de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), la identificación de nuevas razas de patógenos de plantas en el campo antes de que se

vuelvan destructivas se ha vuelto más factible. Los cebadores de PCR específicos para regiones genómicas variables que están asociados con avirulencia en patógenos específicos pueden permitir la identificación de aislados con nuevas formas de genes de avirulencia en el campo inmediatamente después de su descubrimiento, proporcionando así un sistema de alerta temprana de razas recién emergentes (Skinner et al. 2000; Fungal Genomics Program [FGP] [<http://www.jgi.doe.gov/fungi>]).

Plagas

Las plagas de los cultivos incluyen diversos conjuntos de insectos herbívoros (especialmente escarabajos, moscas, lepidópteros, hemípteros y ortópteros), así como animales más simples como los nemátodos que generalmente son transmitidos por el suelo. Los vertebrados como las aves y los roedores también pueden ser plagas agrícolas importantes, generalmente como consumidores de frutos y semillas. La mayoría de las especies de plagas son problemáticas debido al daño que causan a las hojas, los tallos, las raíces, los frutos y las semillas, mientras que los cultivos crecen y maduran en los campos. En algunos casos, las plagas de insectos pueden causar solo daños menores directamente, pero son una preocupación porque sirven como vectores para patógenos de cultivos dañinos. Las pérdidas posteriores a la cosecha causadas por las plagas también son una preocupación para los agricultores de subsistencia que almacenan sus cosechas durante períodos prolongados.

La evaluación de la severidad de las plagas de los cultivos y las pruebas de efectividad de las opciones de manejo comienzan con estudios de campo y muestreo para cuantificar la presencia de una plaga, el grado de infestación y los niveles de daño experimentados por los agricultores. El cultivo de colecciones de variedades en la finca o en las estaciones experimentales permite una observación detallada de los ciclos de vida de las plagas y las infestaciones, y el rendimiento relativo de las diferentes variedades de cultivos. Los estudios empíricos de plagas a menudo utilizan casas de cultivo, estructuras que encierran cultivos en malla de alambre o tela, permitiendo el flujo de aire y la precipitación, pero que contienen o excluyen insectos y otros organismos plaga, según el propósito del experimento. El manejo integrado de plagas (MIP) es un término que define una serie de prácticas que previenen o suprimen las poblaciones dañinas de plagas de insectos, pero minimiza el uso de plaguicidas. Las prácticas comenzaron como una alternativa ecológica de control de plagas que requiere la comprensión

de la biología y la ecología de las plagas relacionadas con las interacciones a nivel comunitario y de ecosistemas (véase también la siguiente sección sobre agentes de control biológico). En el último medio siglo, una gran cantidad de literatura sobre prácticas se ha vuelto disponible tanto *on-line* como en texto impreso (ver Lecturas Adicionales).

Agentes de Control Biológico

Los enemigos naturales de las plagas de insectos también se conocen como agentes de control biológico (BCA). Incluyen depredadores, parasitoides y patógenos. Los agentes de control biológico de las enfermedades de las plantas se denominan con mayor frecuencia antagonistas. Los enemigos naturales dependen de recursos tales como alimento para adultos, presas o huéspedes alternativos, sitios de hibernación y refugio en condiciones adversas (Landis et al., 2000). Durante los últimos 30 años, se han identificado muchas especies eficientes, y actualmente al menos 230 especies están comercialmente disponibles a nivel mundial como enemigos naturales de las plagas. Van Lenteren (2011) proporciona información sobre las 230 especies de enemigos naturales que se utilizan actualmente en el control biológico de plagas. La industria ha desarrollado pautas de control de calidad, producción en masa y métodos de envío y liberación, así como orientación para los agricultores. El manejo del hábitat diseñado para satisfacer las necesidades de los enemigos naturales de las plagas de los cultivos puede atraer especies que ofrecen el servicio ecosistémico del control biológico natural. Los modelos de optimización espacial son útiles para explorar la configuración espacial económicamente óptima de los hábitats de los enemigos naturales en paisajes agrícolas (Zhang et al. 2010).

Malezas

Las malezas son plantas que crecen en lugares donde no se les quiere, y la determinación particular de si una planta es una maleza, por supuesto, depende del agricultor. Las malezas son las principales competidoras de las plantas de cultivo por la luz, el agua, el aire y los nutrientes, y pueden reducir o inhibir el crecimiento (Liebman y Gallandt 1997). La agricultura ha tenido una gran influencia en la evolución de las especies de malezas adaptadas a las condiciones alteradas con una gran capacidad de colonización de tierras productivas recientemente despejadas. Las malezas usualmente se caracterizan por tener altas

tasas de reproducción y la capacidad de mantener su reproducción en condiciones de perturbación repetida. Mucho se ha escrito sobre el efecto dañino de las malezas, pero con un manejo adecuado pueden tener efectos positivos contra la erosión del suelo y proporcionar hábitats para los insectos beneficiosos. Algunas plantas indeseables son comestibles y, en sus primeras etapas de crecimiento, pueden ser toleradas por los agricultores que las cosechan como hierbas de uso culinario (Madamombe-Manduna et al. 2009). Las plantas indeseables que son parientes silvestres de las plantas cultivadas también pueden ser fuentes importantes de diversidad genética para la mejora de los cultivos (Turner et al. 2011; véase también el Capítulo 2).

Organismos del suelo

Los numerosos organismos bióticos que se encuentran en el suelo -incluyendo arqueas, bacterias, hongos, protozoos, algas y animales invertebrados- contribuyen al mantenimiento y la productividad de los agroecosistemas por su influencia en la fertilidad del suelo. Estos organismos contribuyen a través de cuatro acciones principales: descomposición de la materia orgánica, ciclo de nutrientes, bioturbación (movimiento o consumo del suelo) y supresión de enfermedades y plagas transmitidas por el suelo. Debido a que la diversidad taxonómica de la biota del suelo es tan alta, por lo general se dividen en grupos taxonómicos para comprender su función, sobre la base de su diversa significación funcional para la fertilidad del suelo y su relativa facilidad de muestreo.

Un trabajo significativo en el análisis de la diversidad subterránea ha demostrado que las marcadas diferencias en la composición relativa de particulares grupos funcionales pueden servir como taxa indicadores para la salud del suelo. Por ejemplo, dentro del grupo de nemátodos vemos un marcado aumento en los nemátodos fitoparásitos con una mayor intensidad de uso de la tierra. Se observan tendencias claras de diversidad y abundancia decrecientes en el grupo de “ingenieros del ecosistema” que consisten en especies de la macrofauna como lombrices y termitas, que tienen un gran impacto en el suelo a través del transporte de suelo, construcción de estructuras agregadas y formadores de poros, que proporcionan micro-nichos para otros organismos del suelo (tabla 6.1). Una mejor utilización de las transformaciones de nitrógeno planta-microbio-suelo puede potencialmente aumentar los servicios de regulación y apoyo, como la descomposición y el ciclo de nutrientes que respaldan la calidad del agua y del suelo (Jackson et al. 2008).

TABLA 6.1. GRUPOS FUNCIONALES CLAVE DE LOS ORGANISMOS DEL SUELO.

<i>Grupo funcional</i>	<i>Influencia</i>
Lombrices de tierra	<ul style="list-style-type: none"> • la porosidad del suelo y las relaciones de nutrientes del suelo a través de la canalización y la ingestión de materia mineral y/o orgánica
Termitas y hormigas	<ul style="list-style-type: none"> • porosidad y textura del suelo a través de túneles, ingestión y transporte del suelo y construcción de galerías • ciclos de nutrientes a través del transporte, trituración y digestión de materia orgánica
Otra macrofauna como cochinillas, milpiés y algunos tipos de larvas de insectos	<ul style="list-style-type: none"> • actúan como transformadores de basura, con una importante acción de trituración sobre el tejido vegetal muerto y sus depredadores (ciempiés, arácnidos más grandes, algunos otros tipos de insectos)
Nemátodos	<ul style="list-style-type: none"> • revuelven el suelo en sus roles como herbívoros, fungívoros, bacterívoros, omnívoros y depredadores • ocupan espacios de poro pequeño existentes en los cuales ellos dependen de las películas de agua • usualmente tienen una riqueza genética y de especies muy alta
Micorrizas	<ul style="list-style-type: none"> • al asociarse con las raíces de las plantas, mejoran la disponibilidad de nutrientes y reducen los ataques de patógenos • diferentes variedades de un cultivo pueden responder de manera diferente a la inoculación con micorrizas (trigo), y la colonización por micorrizas depende del genotipo del hospedante (mijo perla)
Rhizobia	<ul style="list-style-type: none"> • Microsimbiontes que fijan N, que transforman N₂ en formas disponibles para el crecimiento de las plantas
Biomasa microbiana	<ul style="list-style-type: none"> • una medida indirecta de la descomposición total y la comunidad de reciclaje de nutrientes de un suelo. La biomasa microbiana es aportada por tres taxones muy diversos: hongos, protistas y bacterias (incluyendo arqueas y actinomicetos); sin embargo, no suele ser práctico separarlos durante las mediciones. La estimación de biomasa microbiana generalmente depende de métodos químicos relativamente crudos (lisis de células, seguida de determinaciones de N total (y P), conversión de estos valores a un equivalente C y comparaciones con muestras de control). Por lo tanto, puede tener una resolución relativamente baja, pero evalúa la comunidad de descomponedores como un todo.

Fuentes: Swift y Bignell (2001); Moreira et al. (2008)

Polinizadores

Los polinizadores son agentes bióticos que mueven el polen de las anteras masculinas de una flor al estigma femenino de una flor para lograr la fer-

tilización. La polinización permite la fertilización de la planta para que pueda producir frutos y semillas para la próxima generación. La polinización abiótica se produce por el viento, el agua o la gravedad. La polinización biótica se lleva a cabo por animales (insectos, murciélagos, aves, roedores, lagartos). Existe un gran volumen de literatura relacionada con la polinización y los sistemas de fitomejoramiento, que se pueden encontrar para los cultivos en Roubik (1995) y Free (1993). En general, los cereales de la familia de las gramíneas, como el maíz y el sorgo, son polinizados por el viento, mientras que la mayoría de las frutas y verduras son polinizadas por insectos y otros animales. Algunas plantas con polinización cruzada obligada, requieren del polen de una flor de una planta diferente. La mayoría de los árboles frutales templados y tropicales son de cruzamiento cruzado obligatorio y dependen de insectos o pequeños animales para la polinización. Aunque existen casos bien documentados en los que el bajo número de frutos –y la reducción resultante en el rendimiento– se ha atribuido a la disminución de los polinizadores, se ha realizado poco para investigar el papel de la diversidad varietal de los propios árboles frutales para promover la hibridación cruzada y la mejor producción de frutos.

Los polinizadores tienen diferentes necesidades y ciclos de vida. Muchos animales polinizadores dependen de áreas naturales o no perturbadas como parte de sus ciclos de vida. Hay muchas especies de insectos diferentes, y dentro de las especies, que se alimentan de plantas en diferentes momentos del día o del año, y a diferentes temperaturas. Se han desarrollado directrices recientes para detectar y evaluar los déficits de polinización en los cultivos, y proporcionar propuestas para posibles acciones que eliminen o reducen estos déficits (Vaissière et al. 2011). Se ha explorado la posibilidad de criar genotipos de ciertos cultivos que atraigan polinizadores como una estrategia de manejo para mejorar los servicios de polinización (Jackson y Clarke 1991, Suso et al. 1996).

Caracterización de los Agricultores y Clasificación de los Componentes Abióticos y Bióticos de los Ecosistemas Agrícolas

Si bien es posible que los agricultores no expresen su comprensión de los factores abióticos y bióticos utilizando la terminología científica, no obstante, poseen un gran conocimiento ecológico sobre el clima, los suelos y la disponibilidad de humedad; las interacciones entre sus cultivos y malezas, plagas y enfermedades; y otros elementos del entorno de la finca. El conocimiento ecológico tradicional es la memoria colectiva de la dinámica humano-ambiental en los sistemas socioecológicos.

Cuanto más larga es esta memoria, más se puede esperar que el conocimiento ecológico tradicional refleje con exactitud las complejidades de las interacciones socio-ecológicas y facilite la adaptación de las comunidades a los cambios en los ecosistemas circundantes. El conocimiento tradicional sobre el uso de las plantas, el manejo del paisaje y los procesos ecológicos en los ecosistemas de los agricultores puede ser una parte integral de las estructuras organizativas e institucionales, es decir, las instituciones sociales discutidas en el Capítulo 8 que dan forma a las interacciones de las personas con el paisaje y que regulan el uso de los recursos (Olsson et al. 2004). Van Oudenhoven y colegas (2011), Berkes y colegas (2000), Nabhan (2000) y Bentley y sus colegas (2009) revisaron una serie de estudios que describen las formas particulares en que los pueblos tradicionales en diversas áreas geográficas entienden los procesos ecológicos.

Un punto de partida para apreciar el conocimiento ecológico de los agricultores es reconocer que su comprensión es sistemática. Los agricultores y otros habitantes rurales poseen taxonomías folklóricas detalladas para identificar y clasificar los componentes abióticos y bióticos del medio ambiente. Con base en sus experiencias y percepciones, los agricultores caracterizan y desarrollan sistemas de clasificación o etnotaxonomías para plantas, animales, suelos, fenómenos climáticos, tipos de vegetación, accidentes geográficos (por ejemplo, colinas, ríos y otras características topográficas), etapas de sucesión ecológica, plagas y enfermedades, malezas, competidores de plantas, mutualistas y otros dominios ecológicos (tabla 6.2). Las preguntas para hacer incluyen: ¿Cómo los agricultores locales clasifican los diversos dominios que constituyen su entorno, comenzando con las características geográficas que dominan el paisaje? ¿Son estas características importantes para los agricultores en su selección y manejo de variedades de cultivos?

Los agricultores pueden clasificar las características del ecosistema en parte basados en sus propiedades físicas, morfológicas y químicas, como la textura y el color de los suelos. Los sistemas de clasificación ecológica de los agricultores pueden ser una indicación de las características ambientales que son particularmente importantes o relevantes para el cultivo de diversas variedades. Por ejemplo, una etnotaxonomía altamente detallada de los patrones de precipitación o la precipitación en una región determinada puede revelar que la variabilidad de la lluvia es una característica definitoria para los agricultores del agroecosistema y una fuerte influencia en sus elecciones de variedades. A grandes alturas, la gravedad y la frecuencia de las heladas y el granizo pueden ser una preocupación clave (cuadro 6.1).

TABLA 6.2. UNA LISTA SUGERIDA DE DOMINIOS AMBIENTALES Y SUS DIMENSIONES PARA DISCUTIR CON LOS AGRICULTORES.

<i>Dominio</i>	<i>Dimensiones para discutir con los agricultores</i>
Forma del relieve	Elevación, ubicación y forma; incluye colinas, ríos, fondos de los valles, mesetas, acantilados
Suelo	Color, textura, fertilidad, ácido-alcalinidad, habilidad para trabajarlo, humedad, consistencia, perfil de drenaje, utilidad, salinidad, materia viva en el suelo, susceptibilidad a la erosión del suelo, lixiviación
Clima	Temperatura, precipitación, evapotranspiración, elevación, exposición, topografía (incluyendo la posición de masas de tierra y cuerpos de agua), viento, estacionalidad
Tipo de vegetación circundante	Composición florística (incluidas las especies dominantes), grado de manejo/perturbación humana
Zona de uso de la tierra	Tecnología aplicada, grado de manejo, distancia al hogar, propiedad
Etapas de sucesión ecológica	Cambiando la importancia del cultivo, el número de años de barbecho, la extensión de la perturbación original

Los agricultores pueden clasificar las características del ecosistema en parte basados en sus propiedades físicas, morfológicas y químicas, como la textura y el color de los suelos. Los sistemas de clasificación ecológica de los agricultores pueden ser una indicación de las características ambientales que son particularmente importantes o relevantes para el cultivo de diversas variedades. Por ejemplo, una etnotaxonomía altamente detallada de los patrones de precipitación o la precipitación en una región determinada puede revelar que la variabilidad de la lluvia es una característica definitoria para los agricultores del agroecosistema y una fuerte influencia en sus elecciones de variedades. A grandes alturas, la gravedad y la frecuencia de las heladas y el granizo pueden ser una preocupación clave (cuadro 6.1).

Además de la clasificación de los entornos que los rodean, los agricultores de todo el mundo tienen una amplia conciencia sobre el cambio climático y sus impactos en sus sistemas agrícolas. Las observaciones más comunes de los agricultores son temperaturas más cálidas en promedio (especialmente noches más cálidas) y lluvias más irregulares y dispersas, estudios que hasta el momento se han correlacionado muy bien con los datos meteorológicos regionales (Gbetibouo 2009). En una revisión de 172 estudios de casos, Mijatovic y colegas (2012) describen el uso de la biodiversidad agrícola y el conocimiento tradicional asociado para fortalecer la resiliencia frente a los estreses relacionados con el cambio

Cuadro 6.1. Tolerancia a las heladas y al granizo en quinua combinada con el conocimiento tradicional.

Las heladas ocurren entre 200 y 220 días al año en las tierras altas de Bolivia, y el granizo ocurre casi al azar durante las estaciones lluviosas. La falta de nubes en el cielo, los vientos del oeste de baja velocidad (Desierto de Atacama) o los vientos del norte (Montañas de Nieve) son utilizados por los agricultores locales como indicadores clave de la ocurrencia de heladas en el altiplano boliviano. Los indicadores clave para predecir la ocurrencia del granizo son la alta temperatura diurna, las nubes oscuras y localizadas, y la falta de viento. La predicción se puede hacer con dos o tres horas de anticipación. El conocimiento de los agricultores de los indicadores climáticos les permite identificar áreas donde frecuentemente ocurren heladas o granizo, o donde ambos fenómenos ocurren al mismo tiempo. Según el testimonio de los productores, las áreas bajo riesgo de heladas y granizo son bien conocidas. Usando este conocimiento, ensamblaron un mapa imaginario asociado con los sistemas de cultivo. Las áreas con alto riesgo de heladas son las llanuras planas y bajas donde el agua generalmente se concentra, mientras que las áreas con bajo riesgo de heladas son las laderas.

Las estrategias para manejar el riesgo derivado de las heladas son específicas de un microecosistema e incluyen fechas de siembra y características varietales: plantar en laderas donde rara vez ocurre helada, fechas de siembra más amplias y variedades de maduración tardía o temprana según las fechas de siembra. Las prácticas para redirigir la trayectoria del granizo incluyen la generación de humo y el lanzamiento de petardos. Otra práctica es hacer fuego alrededor de los sitios de siembra durante las noches frías. Cada comunidad designa a una o dos de sus personas para advertir sobre el granizo inminente. En respuesta a una alerta, los agricultores y los pastores producen humo para desviar la trayectoria del granizo o para reducir su intensidad.

climático. Señalan que las propias comunidades locales han expresado la necesidad de garantizar la resiliencia al cambio climático en sus agroecosistemas.

Algunas alteraciones que los agricultores hacen a sus ecosistemas están destinadas a ser permanentes, como los campos en terrazas para reducir la erosión, aunque requieren de un mantenimiento regular a lo largo del tiempo para que funcionen correctamente (Stanchi et al. 2012). Otras alteraciones se manejan en una escala de tiempo de años o décadas, como ocurre con la rotación de barbechos de campo y bosques, mientras que otras intervenciones son a más corto plazo, como el deshierbe de un día para eliminar a los competidores de cultivos. Las intervenciones de manejo pueden venir en varias etapas durante el desarrollo de un cultivo y, en consecuencia, su impacto puede variar. Una intervención temporal como el deshierbe puede tener lugar muchas veces en el transcurso de un ciclo de cultivo. Además, el tipo exacto de respuesta del agri-

TABLA 6.3. CORRESPONDENCIA ENTRE LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO LOCAL EN YUCATÁN, MÉXICO Y LA TAXONOMÍA CIENTÍFICA FORMAL DEL SUELO.

<i>Suelo*</i>	<i>Tsek'el</i>	<i>Box-lu'um</i>	<i>Pus-lu'um</i>	<i>Ek-lu'um</i>	<i>Chak-lu'um</i>	<i>K'ankab</i>	<i>Yáaxom</i>	<i>Ak'alche</i>
Litoosol	X							
Rendzina		X	X		X	X		
Cambisol				X	X	X		
Luvisol				X	X	X	X	
Nitosol						X		
Vertisol							X	X
Gleysol								X

* FAO 1990.

(De Juan Rodríguez 2000, cortesía de Bioversity International)

dependiendo de la cantidad de años que la parcela ha permanecido en barbecho y la etapa de sucesión de la reforestación de la vegetación. En un sistema de cultivos intercalados, la diversidad genética en las especies de cultivos clave puede estar correlacionada, con complejos varietales de diferentes especies plantadas juntas según el tiempo de maduración, la adaptación a los suelos u otras características.

En Yucatán, México, los agricultores de la aldea de Yaxcabá usan un sistema de clasificación popular del suelo que es de una complejidad similar a la taxonomía formal del suelo, y es clave para entender el cultivo de variedades locales (tabla 6.3). Los agricultores de Yaxcabá siembran variedades de maíz en sitios con características topográficas y de suelo específicas, según el tiempo de maduración de las variedades. Los agricultores se dirigen preferentemente a las variedades de maíz, frijol y calabaza de maduración temprana hacia suelos profundos de grano fino, rojo y negro (k'ankab y box-lu'um en la tabla 6.3), que suelen ser de una extensión muy limitada, mientras plantan variedades de ciclo largo en suelos poco profundos y pedregosos (Arias et al. 2000).

Para las plantas y los animales que se encuentran en los sistemas de producción de los agricultores, los etnobiólogos han descubierto que las taxonomías populares pueden compararse bastante estrechamente con la sistemática lineal de Linneo a nivel de especie. Estudios realizados en lugares tan dispares como México y Papua Nueva Guinea han encontrado que las etnotaxonomías de las culturas agrícolas autóctonas reconocen cantidades similares de especies de la

flora y la fauna locales como las identificadas por botánicos y zoólogos en inventarios sistemáticos detallados (Berkes 2008). A niveles taxonómicos superiores por encima de las especies, la correspondencia es menos evidente, principalmente porque a diferencia de la taxonomía de Linneo, las etnotaxonomías no utilizan las relaciones evolutivas como su principal concepto de organización. También hay menos correspondencia para grupos de organismos que se observan menos fácilmente (por ejemplo, insectos contra aves) o para grupos de reducida importancia para la vida de las poblaciones rurales. Por otro lado, los organismos con una importancia cultural especialmente alta, como las variedades de cultivos, tienden a estar sobre-diferenciados en las taxonomías populares (Hunn 1993). Esto tiene implicaciones importantes para correlacionar los nombres vernáculos de las variedades de cultivos con patrones reales de diversidad genética en los cultivos, como se exploró en el Capítulo 5.

La información sobre la importancia relativa de los factores locales del agroecosistema puede reunirse sistemáticamente con los agricultores a través de los métodos de diagnóstico participativo presentados en el Capítulo 5. Como se mencionó anteriormente, las observaciones y la cuantificación del conocimiento de los agricultores deberían vincularse con la observación de campo y los datos experimentales de campo y laboratorio. Las prácticas más comunes para identificar los conocimientos y creencias de los agricultores sobre los componentes ambientales de sus ecosistemas son: (1) diagrama y visualización participativa, que incluye dibujos lineales y creación de gráficos para ilustrar y explicar procesos, relaciones y estructuras, (2) mapeo participativo, que incluye mapeo de transectos y límites de marcado para localizar y orientar componentes en el paisaje, y (3) clasificación participativa y puntuación para clasificar y ordenar información sobre diferentes características de un rasgo o estado ambiental con la intención de categorizar, priorizar y comparar componentes (Tuxill y Nabhan 2000). El mapeo de transectos es un método comúnmente utilizado para reunir el conocimiento de los agricultores sobre sus percepciones de sus propios ecosistemas agrícolas. El mapeo de transectos consiste en una caminata con el grupo (usualmente desde el punto más alto al más bajo) para permitir que el grupo identifique y describa las principales características topográficas del área, patrones existentes de vegetación, distribución de cultivos y restricciones biofísicas.

Las percepciones de los agricultores sobre plagas y enfermedades se pueden recopilar de la misma manera que los métodos descritos en el Capítulo 5 para determinar la consistencia de los nombres de las variedades. En un estudio de Uganda, realizado por Mulumba et al. 2012, para determinar los conocimientos y percepciones de los agricultores sobre plagas y enfermedades y las interaccio-

nes entre plagas y patógenos, se les pidió a los agricultores que dividieran en dos grupos los materiales vegetales que trajeron a la discusión: plantas sanas y plantas no saludables. Luego, los agricultores volvieron a dividir el grupo de plantas no saludables en lo que percibieron como daño de diferentes plagas y enfermedades según los síntomas que reconocieron en las plantas. Se recopilaban las descripciones de los síntomas de la planta para las enfermedades y plagas observadas, incluida una lista de los síntomas en las diferentes partes de la planta (hoja, tallo, fruto, raíz) y en diferentes etapas de crecimiento. También se pidió a los agricultores que definieran claramente lo que percibían como diferentes etapas de crecimiento de las plantas. Luego se mostraron imágenes de otras enfermedades que no se llevaron a la reunión y se pidió a los agricultores que identificaran y dieran todos los nombres que tenían de estas enfermedades. Luego se pidió a los agricultores que clasificaran la gravedad del daño de las diferentes plagas y enfermedades identificadas, y finalmente clasificaran las variedades de acuerdo con su nivel de resistencia al complejo de plagas y enfermedades en sus sistemas. También se les pidió a los agricultores que dibujaran lo que creían que era la fuente de las diferentes plagas y enfermedades en sus sistemas, y describieran las prácticas que utilizan para seleccionar buenos materiales de siembra y para manejar las plagas y enfermedades. La Tabla 6.4 es un ejemplo de los resultados.

Reducir la Dimensionalidad de Complejos Conjuntos de Datos

El sitio para la conservación en la finca puede tener una diversidad de factores del agroecosistema; diferentes suelos; incidencia de malezas, enfermedades y/o prácticas de manejo; y diferentes números de especies vegetales o animales. La diversidad alfa se refiere a la diversidad dentro de un área o ecosistema particular, y generalmente se expresa por el número de especies (es decir, *riqueza de especies*) en ese ecosistema. La diversidad beta se refiere al cambio en la composición de las especies de un lugar a otro (por ejemplo, de un campo de un agricultor a otro, o a lo largo de gradientes ambientales). Para la betadiversidad, contamos el número total de especies o entidades que son únicas para cada uno de los ecosistemas que se comparan. La diversidad gamma es una medida de la diversidad general de una región o paisaje (Whittaker 1972).

Un conjunto típico de datos de agroecosistemas podría documentar docenas de factores (factores abióticos, bióticos y de manejo del ecosistema, tanto de mediciones empíricas como de descripciones de los agricultores), y es imposible para la mente contemplar simultáneamente las dimensiones de dicho conjunto

de datos. Como se discutió en el Capítulo 5, uno de los primeros pasos de cualquier análisis es, por lo tanto, simplificar el conjunto de datos determinando qué dimensiones son más importantes para describir la variación global dentro de los datos. Al decidir qué variables serán el centro de la recolección de datos agroecológicos, el primer paso es consultar directamente a los agricultores. A menudo pueden proporcionar información incomparable sobre los factores ambientales locales y sus efectos en la producción de cultivos, y en las medidas que podrían tomarse para minimizar sus impactos cuando sea problemático. Algunos factores pueden ser los estreses ambientales a los que se han adaptado las variedades tradicionales, mientras que otros pueden limitar las posibilidades de producción adicional. En general, los puntos focales de la investigación agroecológica para la diversidad genética de cultivos son:

- identificar los gradientes abióticos o bióticos clave que influyen en la diversidad genética de los cultivos y la distribución, y
- caracterizar los factores abióticos y bióticos que los agricultores perciben como restrictivos o limitantes.

Clasificación y Ordenación

Dos técnicas estadísticas comunes para reducir la dimensionalidad de los complejos conjuntos de datos son la clasificación y la ordenación. Estos métodos multivariados pueden usarse para explorar las relaciones entre los sitios o campos de estudio en función de sus múltiples características abióticas, bióticas y de manejo, pero también las relaciones entre muestras de cultivos basadas en rasgos morfológicos y/o marcadores genéticos (capítulos 4 y 5) y entre los hogares en función de las características sociales y económicas (Capítulo 8 y 9). Además, los métodos de mapeo pueden ayudar a identificar las relaciones de la diversidad genética de los cultivos y la información agroecológica y socioeconómica a diferentes escalas espaciales.

Los métodos de clasificación agrupan entidades con características similares en categorías. Los métodos pueden ser jerárquicos, lo que da como resultado un dendrograma, o no jerárquico, lo que resulta simplemente en grupos de muestras similares. Para cada uno de estos, existen numerosos algoritmos de agrupamiento diferentes, que a menudo conducen a resultados bastante diferentes con el mismo conjunto de datos. La clasificación no jerárquica es significativamente más rápida y, por lo tanto, a menudo mejor para grandes conjuntos de datos (Gauch 1982).

TABLA 6.4. CLASIFICACIÓN DE LOS AGRICULTORES Y DESCRIPCIONES DE LAS PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LOS CULTIVOS EN LOS AGROECOSISTEMAS DE UGANDA.

Nombre científico	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	<i>Phaeoisariopsis griseola</i>	<i>Ophiomyia phaseoli, O. spencerella</i>	<i>Cosmopolites sordidus (Germer)</i>	<i>Helicotylenchus multincinctus (Cobb), Pratylenchus goodeye (Sherr) Allen</i>	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>
Nombre común	Antracnosis	Mancha angular	Mosca del frijol	Gorgojo del banano	Nematodos	Sigatoka negra
Nombre(s) del agricultor	Conjuntos de síntomas (sin nombre específico)	Amatologojjo	Ekisanzire	Kajojo, Kayovu, Kisokomi, ekikoko	Lusensera, Enjoka	Conjuntos de síntomas (sin nombre específico)
Descriptor del agricultor	Podredumbre de las hojas de las plantas a partir de las partes superiores, vainas empapadas en agua, sin formación de semillas, lesiones marrones a lo largo de los márgenes y tallos de las hojas	Vainas podridas, vainas dañadas*	Plantas amarillas*	El corno tiende a emerger del suelo, las hojas se vuelven amarillentas, la vaina se seca y permanece unida al tallo, agujeros en el corno cuando se corta, caída de hojas en una etapa temprana, racimo enano y desagradable cuando se divide el pseudotallo, tira coloreada	Las raíces se pudren y se secan, las raíces debilitadas conducen al derrumbamiento, reducción del rendimiento, endurecimiento de la parte comestible, los dedos se ponen duros y secos en la cosecha, corno corrosivo, protuberancias y divisiones en la vaina, la raíz se seca antes de que la planta se derribe	Hojas secas en los márgenes, secado de las puntas de las hojas, manchas secas en las hojas, planta seca pero nunca cae, dedo atrofiado, el tallo tiene manchas negras, hoja media seca, los dedos del manojito no crecen al tamaño requerido
Parte de la planta afectada (descripciones de los agricultores)	Hojas, vainas, tallo	Vainas	Raíz, tallo, hojas	Corno, tallo	Raíces	Hojas

Etapa principal de severidad (descripciones de los agricultores)	Floración, envainado	Floración, envainado	Semillero	Doncella, floración, cosecha; todas las etapas	Todas las etapas	Brotación
Importancia que dan los agricultores en comparación con otras plagas y enfermedades en el sistema de los agricultores por sitio						
Nakaseke	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Kabwohe	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja
Rubaya	Alta	Alta	Alta	-	-	-
Bunyaruguru	-	-	-	Alta	Alta	Alta

*Los agricultores mencionaron los síntomas, pero nunca nombraron la enfermedad. También se les dio gran importancia a estos síntomas en todos los sitios. (Fuente: Mulumba et al. 2012).

Los métodos de ordenación organizan las muestras espacialmente en una trama bidimensional o tridimensional de forma que sus posiciones reflejen su similitud. Muestras similares, como los campos de los agricultores con características similares, están ubicadas una cerca de la otra, mientras que las cada vez más diferentes se encuentran cada vez más separadas. Si dos variables están altamente correlacionadas, cualquiera de las dos podría usarse como ponderada para la otra, lo que indicaría que hay redundancia en los datos (Causton 1988). Las técnicas de ordenación se pueden usar para identificar estas correlaciones y reducir el número de variables consideradas.

Los métodos de ordenación pueden basarse en la distancia, como la ordenación polar (PO) y el escalado multidimensional o el análisis de coordenadas principales (PcoA), es decir, basándose en una matriz cuadrada, simétrica o de similitud. Otros métodos de ordenación están basados en la correlación, como el análisis de componentes principales (PCA) descrito en el capítulo 5, el promedio recíproco (RA) y el análisis de correspondencia disperso (DCA). Estos últimos métodos se basan en matrices de covarianza o correlación más que en matrices de distancia o similitud.

La regresión múltiple se usa para aprender más sobre la relación entre varias variables independientes o predictivas y una variable dependiente o de criterio. La regresión múltiple se analiza en el contexto de los modelos econométricos en el Capítulo 9. También se puede usar para permitir que el investigador haga, y quizás responda, la pregunta general, “¿Cuál es el mejor predictor de. . . ?” Otra técnica utilizada para relacionar un grupo de variables dependientes con un grupo de variables independientes, como vincular la distribución de variedades a un determinado conjunto de factores agroecológicos, o un determinado tipo de hogar, o un determinado grupo étnico o de género, es el análisis de correlación canónica (CCA), que relaciona un grupo de variables dependientes con un grupo de variables independientes. El análisis discriminante binario (BDA) se utiliza para relacionar los patrones de las especies con los datos ambientales. Los datos ambientales solo deben expresarse en varios estados, y los datos de la planta en forma de datos de presencia/ausencia. BDA es útil para datos que cubren una gran escala geográfica o cuando solo están disponibles los datos de presencia/ausencia. El análisis discriminante múltiple (MDA) se usa en grupos predeterminados, que pueden especificarse mediante una clasificación anterior o métodos de ordenación. MDA se utiliza para caracterizar las diferencias y superposiciones entre estos grupos predeterminados, así como sus taxa de diagnóstico.

Sistemas de Información Geográfica y Teledetección: Mapeo de Relaciones

Muchos fenómenos en la naturaleza muestran alguna forma de auto-correlación espacial. Es decir, el valor de un factor ambiental en una ubicación particular está fuertemente correlacionado con su valor en ubicaciones vecinas. Tales relaciones espaciales dentro y entre los factores se pueden explorar usando un sistema de información geográfica (GSI). Un GSI es un sistema de manejo de bases de datos que puede manejar simultáneamente datos espaciales en forma de gráficos –es decir, mapas, o el “dónde”– y relacionados, lógicamente adjuntados, datos de atributos no espaciales –que son las etiquetas y descripciones de diferentes áreas o puntos dentro de un mapa, o el “qué”. La aplicación del GSI a la conservación en fincas presenta el desafío de integrar datos demográficos, socioeconómicos, culturales y de otro tipo en poblaciones humanas con datos sobre el entorno biofísico y los taxa objeto.

De particular interés para las especies y la diversidad genética, los datos y la distribución es el DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/>), un programa informático gratuito para el mapeo y para el análisis de datos geográficos diseñado para aclarar aspectos genéticos, ecológicos y patrones geográficos en la distribución de cultivos y especies silvestres (Hijmans et al. 2001). Se puede usar para hacer mapas en cuadrícula de la distribución de la diversidad biológica para encontrar áreas que tengan niveles de diversidad altos, bajos o complementarios. La versión actual (2012) permite la modelación de la distribución de especies (modelado de nichos ecológicos, modelado de coberturas climáticas). Combina esto con opciones para mapear y consultar datos climáticos y predecir distribuciones de especies para diferentes modelos climáticos.

La teledetección (RS) es la ciencia de obtener información sobre un objeto mediante la adquisición de datos con un dispositivo generalmente alejado del objeto de interés (aviones o satélites). RS se basa en el principio de que todo objeto físico en la superficie de la Tierra absorbe o refleja radiación electromagnética, desde ondas ultravioletas de onda corta (UV) hasta microondas de onda larga, y la fuente principal de esta radiación es el sol. En el caso de las plantas, diferentes cantidades de clorofila en las hojas adsorben diferentes cantidades de radiación luminosa, lo que nos permite obtener información sobre el estado fenológico de las plantas, el tipo de planta, el impacto de las plagas, etc. El agua y el suelo adsorben y reflejan la luz de acuerdo con sus propiedades físicas, y por lo tanto RS puede proporcionar información sobre la presencia/ausencia de recursos hídricos o el grado de humedad del suelo. Finalmente, los datos RS pueden

proporcionar un conjunto de datos auxiliares, como la temperatura del aire, la extensión de la superficie verde, etc., que son útiles para la gestión ambiental.

Una ventaja principal de los datos de RS es que toda esta información se puede proporcionar en áreas extensas. Por ejemplo, el satélite Landsat ETM+ puede proporcionar una “escena” que abarca un área que mide 185 x 185 km, con una resolución espacial de 30 m por píxel. Esto significa que en un área amplia podemos distinguir la diferencia cada 30 metros. Sin embargo, en algunos casos una resolución espacial de 30 m es demasiado gruesa. Ahora está disponible una nueva generación de sensores que pueden proporcionar imágenes con una resolución de unos pocos metros por píxel; por ejemplo, los satélites SPOT proporcionan resoluciones espaciales medias de 20 a 2.5 m y son capaces de mapear la vegetación a nivel de la comunidad o a nivel de especies (para una revisión de los sensores, ver Xie et al. 2008).

Por lo tanto, de acuerdo con el objetivo de la investigación, el primer paso es evaluar la resolución espacial y la resolución temporal, o el “tiempo revisitado” (el período de tiempo entre repeticiones pasa sobre un objeto que se detecta remotamente) si el interés también está en el análisis de datos de series temporales. El siguiente paso es identificar el índice de vegetación para cuantificar las concentraciones de vegetación de hojas verdes en un área extrapolada a partir de imágenes de satélite sin procesar. Probablemente, el índice de vegetación más utilizado y conocido sea el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Este índice simple nos permite cuantificar las concentraciones de vegetación de hojas verdes en un área. La principal ventaja de NDVI es que las series de tiempo largas (más de 20 años) están disponibles y listas para ser utilizadas como una capa GIS o para otra evaluación estadística. En el campo del manejo de cultivos, el NDVI se usa a menudo en combinación con otros índices para obtener la mejor información para el manejo de diferentes cultivos (para una revisión de los índices de vegetación en el manejo de cultivos, ver Hatfield y Prueger 2010). Varios productos RS están disponibles como mapas listos para usar y, a menudo, son gratuitos (consulte el Apéndice B para obtener una lista parcial de recursos en Internet). La principal desventaja de estos productos de libre acceso es que a menudo su resolución es demasiado gruesa para proporcionar las imágenes de alta resolución necesarias.

Diversidad y funciones del ecosistema

Cada vez que una especie o variedad en el ecosistema agrícola se extingue localmente, se pierden las rutas de energía y nutrientes, con las consiguien-

tes alteraciones de la eficiencia del ecosistema y la capacidad de las comunidades para responder a las fluctuaciones ambientales. Los servicios de regulación son servicios que se obtienen a partir de la regulación de los procesos del ecosistema, como el secuestro de carbono y la regulación del clima, el control de plagas y enfermedades, la regulación del agua y la polinización. Proporcionan la calidad del agua y la eficacia de la polinización, y disminuyen la vulnerabilidad de los cultivos a las epidemias de enfermedades y artrópodos y a los peligros naturales (inundaciones, sequías). Los servicios de apoyo incluyen el ciclo hidrológico, el ciclo de nutrientes del suelo y la formación del suelo. En los ecosistemas naturales, la relación entre la diversidad y los servicios reguladores y de apoyo del ecosistema ha sido tratada extensamente en la literatura (Díaz y Cabido 2001). Recientemente, se ha prestado atención al papel potencial de la diversidad genética de los cultivos en los ecosistemas cultivados al proporcionar servicios de apoyo y regulación de los ecosistemas. Hajjar y sus colegas (2008) proporcionan un marco para examinar el papel potencial de la diversidad genética de cultivos en el apoyo a mayores rasgos funcionales e interacciones facultativas para otros componentes bióticos del ecosistema agrícola (figura 6.2).

La diversidad funcional es el valor y el rango de los rasgos de una entidad en lugar de, simplemente, números de entidades diferentes. Los rasgos funcionales son aquellos que definen las especies en términos de sus roles ecológicos—cómo interactúan con el medio ambiente y con otras especies (Díaz y Cabido 2001). Las interacciones facilitadoras son interacciones positivas que ocurren entre especies o variedades (Mulder et al. 2001). La diversidad genética de los cultivos en la forma de los conjuntos tradicionales de variedades tiene un efecto directo sobre las funciones del ecosistema al proporcionar la asociación de la diversidad por debajo (organismos del suelo) y por encima (polinizadores) del suelo. Los polimorfismos genéticos de las plantas con flores, en algunos casos, influyen en la alimentación de los polinizadores, lo que a veces puede influir en el tipo y la abundancia de la polinización, y por lo tanto en el mantenimiento de las poblaciones de polinizadores. Más ampliamente documentado es el papel de la diversidad genética de los cultivos en la forma de incrementar la diversidad de variedades de cultivos en los campos de los agricultores para regular las plagas y las enfermedades (discutido en más detalle en el Capítulo 7).

Hajjar y colegas (2008) argumentan que la diversidad genética de los cultivos, al aumentar la estabilidad a largo plazo del ecosistema frente a los estreses abióticos y bióticos y la variabilidad social y económica, promueve el mantenimiento continuo de la biomasa, mejorando indirectamente dichos servicios de

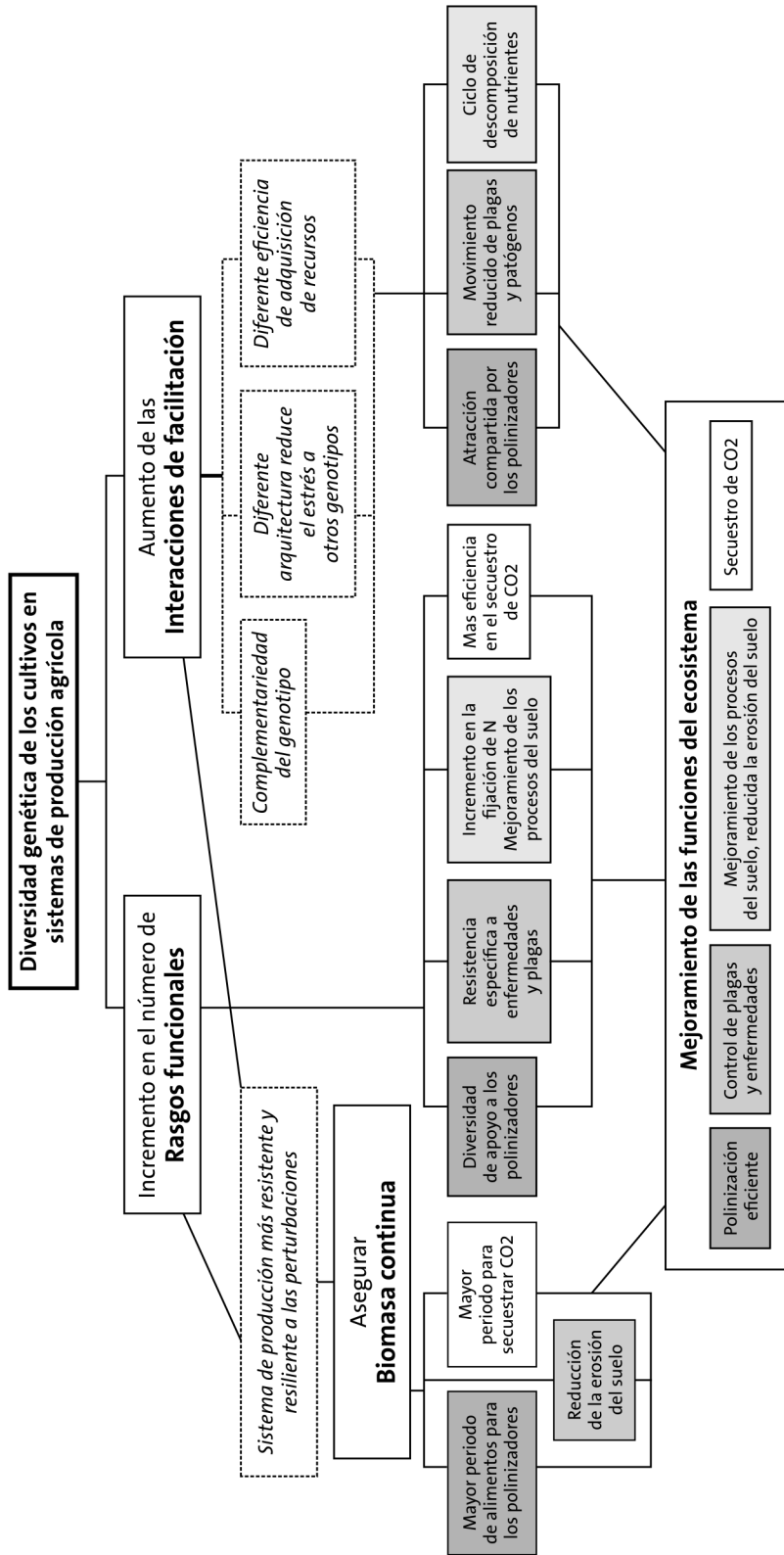


Figura 6.2. Los beneficios potenciales de la diversidad genética de cultivos directamente (mayor número de características funcionales e interacciones facilitadoras) e indirectamente (asegurada la continuidad de la biomasa) mejoran el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas y el suministro de servicios. El texto dentro de los recuadros con puntos se muestra para aclarar los aspectos de los efectos directos e indirectos considerados en la figura. (De Hajjar et al. 2008 en *Agriculture, Ecosystems & Environment*, por ELSEVIER BV, reproducido con permiso de ELSEVIER BV en el formato de reutilización en un libro/ libro de texto mediante el Centro de Autorización de Derechos de Autor.)

regulación y apoyo del ecosistema como el secuestro de CO₂ y la reducción de la erosión del suelo.

El debate aún está en curso para determinar los niveles y escalas a los que la diversidad genética de los cultivos proporciona los servicios ecosistémicos que ayudan a reducir la pobreza en los ecosistemas agrícolas y las prácticas de manejo que tienen el potencial de utilizar la diversidad genética para mejorar o crear servicios al ecosistema. Otra área de trabajo es identificar cuáles de los servicios ecosistémicos provistos por los recursos genéticos de los cultivos están en mayor riesgo a través de prácticas agrícolas insostenibles.

Lecturas Adicionales

- Ahrens, C. D. 2012. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 10th ed. Brooks/Cole, Belmont, CA.
- Brady, N. C., y R. R. Weil. 2007. *The Nature and Properties of Soils*, 14th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Connor, D. J., R. S. Loomis, y K. G. Cassman. 2011. *Crop Ecology. Production and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gleissman, S. 2015. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hajjar, R., D. I. Jarvis, y B. Gemmill. 2008. "The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services." *Agriculture, Ecosystems, and the Environment* 123:261–70.
- Hillel, D., y C. Rosenzweig, Eds. 2013. *Handbook of Climate Change and Agroecosystems. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Migration*, Volume 2. Imperial College Press, London.
- Radcliffe, E. B., W. D. Hutchison, y R. E. Cancelado, Eds. 2009. *Integrated Pest Management: Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Radcliffe's *IPM World Textbook* (web based), <http://ipmworld.umn.edu/>.
- Sylvia, D. M., J. J. Fuhrmann, P. G. Hartel, y D. A. Zuberer. 2004. *Principles and Applications of Soil Microbiology*, 2nd ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Winarto, Y. T. 2004. *Seeds of Knowledge: The Beginning of Integrated Pest Management in Java*. Monograph. Yale Southeast Asia Studies, Yale University Southeast Asia Studies (USA), No. 53.



Ilustración 7. Los componentes abióticos de los agroecosistemas incluyen la temperatura, el suelo, el agua, la humedad relativa, la luz y el viento. Los factores bióticos incluyen parásitos y plagas herbívoras, competencia entre cultivos y otras plantas, y relaciones favorables (simbióticas) entre organismos, tales como organismos subterráneos y polinizadores. Los agricultores pueden necesitar manejar el medio ambiente para mejorar las condiciones agronómicas. Arriba a la izquierda: los agricultores han re-dirigido el agua fría del río para elevar la temperatura del agua a través del calentamiento del sol para estimular la floración temprana en el arroz de gran altitud para que pueda madurar antes de la aparición de las bajas temperaturas. En un agroecosistema de cultivo itinerante o agreste, los agricultores pueden plantar diferentes variedades o especies en una parcela, dependiendo de la cantidad de años que la parcela haya permanecido en barbecho y la etapa de sucesión de la reforestación de la vegetación. Arriba a la derecha: suelos rocosos de piedra caliza en Yucatán, México, donde se usa el cultivo migratorio. El conocimiento empírico tradicional se transmite de un padre a su hijo sobre cómo sembrar maíz, frijol y calabaza en estos suelos pedregosos. Las presiones demográficas han reducido el período de barbecho en esta área de 50 a 8 años, disminuyendo la fertilidad del suelo. Abajo a la izquierda: calabaza de botella local (*Lagenaria* spp.) en Kenia siendo polinizada por una abeja. Abajo a la derecha: restauración del paisaje degradado con variedades de cultivos locales resistentes a la sequía y al viento, combinado con métodos de recolección de agua en Nebek, Siria. Créditos de las fotos: D. Jarvis (arriba a la izquierda, abajo a la derecha y arriba a la derecha), Y. Morimoto (abajo a la izquierda).

CAPÍTULO 7

Diversidad en, y Adaptación a, Ambientes Adversos en Fincas

Al final de este capítulo, el lector debe comprender:

- La adaptación al estrés en ambientes adversos.
- Las diferentes estrategias para el despliegue de la diversidad en fincas hacia el manejo del estrés abiótico y biótico.
- Los métodos para evaluar cómo los agricultores usan la diversidad para manejar condiciones abióticas o bióticas.
- Los conceptos de vulnerabilidad genética en relación con la diversidad genética en fincas: medir el daño potencial versus el daño real.

En el Capítulo 6 se discutió el ambiente agrícola general donde se cultivan variedades tradicionales de los cultivos. En este capítulo nos centramos en los ambientes que presentan extremos abióticos o bióticos, y en la adaptación y el manejo de las variedades de los cultivos en dichos ambientes. Estos ambientes, comúnmente llamados ambientes de estrés, son donde las condiciones a menudo son adversas para el crecimiento de las plantas y amenazan la capacidad productiva y los medios de subsistencia de los pequeños agricultores.

Evolución de las Variedades de Cultivos en Ambientes Propensos al Estrés

Varios procesos históricos se han combinado para dar a las variedades tradicionales un papel clave en el sustento de los medios de vida de los agricultores en

áreas propensas al estrés ambiental (véanse los Capítulos 2, 8 y 9). Tales estreses han influido en la generación y el mantenimiento de la diversidad intraespecífica para incrementar la capacidad para enfrentarlos. Los ambientes extremos seleccionan para un conjunto de caracteres, o complejos co-adaptados, que permiten la supervivencia. La adaptación puede depender de si las variedades tradicionales en hábitats extremos poseen genotipos especializados que son tolerantes a un estrés particular (por ejemplo, un genotipo resistente a enfermedades).

Los genotipos tolerantes también pueden adaptarse considerablemente a una amplia gama de ambientes y muestran la plasticidad fenotípica (la capacidad de un único genotipo para exhibir fenotipos variables en diferentes ambientes). Los cambios genéticos fundamentales de la adaptación continúan ocurriendo cuando las poblaciones experimentan nuevas presiones de selección debido a los ambientes cambiantes o porque el material se traslada a un nuevo ambiente. En Marruecos, las poblaciones de frijol faba irrigadas y de secano tienen perfiles genéticos distintos que reflejan las diferentes presiones de selección natural que enfrenta cada población (Sadiki 1990).

Variedades Tradicionales y Estrés Ambiental

Las variedades tradicionales evolucionan en campos que a menudo están sujetos a estreses múltiples. Muchos autores han señalado la riqueza de la variación genética para la resistencia al estrés entre y dentro de las variedades tradicionales de los cultivos (Teshome et al. 2001, Newton et al. 2010). En estas condiciones, la resistencia comparativa al estrés puede medirse comparando la capacidad de un genotipo para sobrevivir y mantenerse productivo en los campos de los agricultores, en comparación con otros genotipos o variedades de la misma especie. Las variedades tradicionales pueden haber evolucionado bajo múltiples factores de estrés. Una variedad tradicional adaptada a un estrés, por ejemplo, toxicidad al aluminio, puede llevar a adaptaciones útiles a otros estreses, tales como la salinidad y las deficiencias de nutrientes. Es común que el rendimiento de los genotipos menos tolerantes sea mayor que el de los genotipos tolerantes cuando ambos crecen en parches con menor estrés. Los agricultores en áreas propensas al estrés deben tener especial cuidado de no introducir variedades no adaptadas o altamente susceptibles, que a menudo fallan en condiciones adversas o en áreas propensas a enfermedades, y que podrían erosionar la diversidad genética local para las características que los agricultores desean en sus variedades. Ante la posible pérdida de tipos clave resistentes al estrés, el

manejo de la diversidad apropiada de un cultivo específico es un componente importante en las estrategias de los medios de subsistencia de los agricultores en ambientes bajo estrés de producción.

Medición del Estrés y Respuesta

Los fisiólogos y fitomejoradores de cultivos han desarrollado una amplia gama de enfoques y técnicas para medir los grados de estrés y las respuestas de las plantas. La identificación de la causa del estrés, sin embargo, sigue siendo más difícil. Las más básicas son las variables del clima y el ambiente de la finca. Para comparar y establecer patrones de variación, estos deben recopilarse en muchos lugares y momentos en relación con el ciclo de cultivo y la heterogeneidad de los campos de los agricultores (véase el Capítulo 6). Los valores a lo largo del tiempo y el espacio permiten estimar los promedios y las varianzas, y ordena, clasifica y cuantifica el ambiente de estrés con relación a uno benigno. La respuesta del cultivo finalmente es más evidente en la productividad de la planta o el rendimiento económico para el agricultor. Las variables indicadoras durante el crecimiento de la planta usan instrumentos que miden la fluorescencia de la clorofila y el intercambio de gas fotosintético, o rasgos morfológicos que se sabe moderan un estrés particular (por ejemplo, grado de enrollamiento de las hojas y estrés por sequía; ver Taiz y Zeiger [2010] como libro de texto de fisiología vegetal recientemente actualizado). La conversión de valores de la variable básica (rendimiento) obtenida en ensayos de campo replicados o de invernadero en una medida de estrés plantea un problema general en las comparaciones de genotipos. Los genotipos que tienen rendimientos intermedios, pero resistencia en todos los ambientes funcionarán de manera diferente que los genotipos que florecen solo en condiciones favorables. Algunos genotipos pueden ser resistentes a un estrés particular, pero tienen un rendimiento pobre en buenos ambientes.

Para definir un índice de respuesta al estrés, considere Y_s como el valor del rendimiento en parcelas bajo estrés y Y_c el valor del rendimiento en parcelas de control. Estos valores se pueden estimar para una población o variedad particular en una muestra de muchas poblaciones que también pueden incluir una diversidad de tipos genéticos, más líneas de control con reacción conocida en el ensayo. Ahora definimos el rendimiento medio (MY) como el promedio de los valores para cada una de las diferentes entradas en la prueba. La media de los valores de todas estas entradas de las parcelas tratadas con estrés es MY_s , y de

las parcelas de control es MY_c . Según lo dado por Dodig et al. (2012), definimos un índice de susceptibilidad al estrés (SSI) como:

$$SSI = [1 - Y_s/Y_c]/[1 - (MY_s/MY_c)]$$

Este índice, o similares, intenta relacionar el rendimiento bajo estrés Y_s con el rendimiento en condiciones de control y estandarizarlo frente a la sensibilidad promedio para toda la muestra de poblaciones sometidas a prueba. Dado que se incluye una gran muestra de líneas en cualquier ensayo, los valores de SSI se pueden comparar con respecto a los experimentos replicados. Un índice de tolerancia al estrés (STI) se puede definir como:

$$STI = Y_s \times Y_c / (MY_c)^2$$

Esta fórmula ilustra otro problema con las medidas de estrés, a saber, que la relación de resistencia (Y_s/Y_c) es alta si Y_c es baja. El rendimiento geométrico es una medida de compromiso para ponderar en favor de genotipos que tienen rendimientos intermedios pero resistentes en comparación con genotipos que florecen solo en condiciones benignas, o aquellos que son resistentes, pero tienen un rendimiento pobre en buenos ambientes. El rendimiento geométrico se calcula como la n -ésima raíz del producto de la n -ésima medición; por ejemplo, si hay dos mediciones de rendimiento (2 kg/ha y 8 kg/ha), el rendimiento promedio es de 5 kg/ha, y el rendimiento geométrico es la raíz cuadrada de $(2 \times 8) = 4$.

Estrés Abiótico y Diversidad Genética de los Cultivos

En cualquier campo, una amplia gama de factores climáticos, edáficos y fisiográficos pueden estar en niveles que afectan el crecimiento de la planta y la productividad de los cultivos, y por lo tanto afectan el sustento de la finca. Los agricultores preferirán las variedades que muestren, o tengan reputación de mostrar, resistencia a estos impactos, particularmente si su resiliencia se logra con poca pérdida de rendimiento, calidad o valor económico (ver los Capítulos 8 y 9). La altitud del campo, la pendiente, el aspecto y el drenaje son cuatro atributos fisiográficos importantes que describen aspectos de cualquier campo o finca en particular bajo estudio (ver Capítulo 6). Son datos clave que deben recopilarse en cualquier estudio. Estos atributos no son factores de estrés en sí mismos, pero pueden actuar como variables indicadoras del estrés abiótico por-

que tienen efecto a través de uno o más de los factores de estrés que se analizan a continuación.

Las estrategias o caracteres que permiten resistir los estreses abióticos son de tres tipos generales: escape, prevención, tolerancia. Un cultivo puede escapar de un estrés si las etapas sensibles durante su ciclo de vida se completan antes o después de la ocurrencia de las condiciones de estrés. El tiempo de plantación es una herramienta que los agricultores usan para escapar de los estreses. Por ejemplo, con el sorgo de estación seca en Camerún, el ajuste de la siembra al final de la estación lluviosa es muy importante, y los agricultores logran esto mediante el trasplante de plántulas cultivadas inicialmente en viveros (Soler et al. 2013).

La prevención del estrés es similar, pero se logra mediante rasgos y estructuras vegetales particulares. Los mecanismos de prevención evitan la exposición al estrés (por ejemplo, cambios en la morfología de la hoja u orientación de la hoja). Los mecanismos de prevención se pueden expresar en ausencia del factor de estrés. Por otro lado, los rasgos tolerantes al estrés que condicionan la tolerancia al estrés se desencadenan por el estrés mismo y buscan reducir su impacto. Por ejemplo, los mecanismos asociados a la prevención de la congelación generalmente se asocian con atributos físicos de las plantas, como el hielo que se forma dentro de ella, mientras que los mecanismos asociados con la tolerancia a la congelación suelen ser adaptaciones bioquímicas reguladas por un conjunto específico de genes (Gusta y Wisniewski 2013).

Estrés de Sequía

La sequía es el resultado tanto de una temperatura alta como de un régimen de humedad deficiente. El estrés por sequía o el estrés por déficit hídrico surge cuando las membranas celulares pierden agua, lo que altera las bicapas de los lípidos, aumenta la porosidad y altera la integridad y la función de la membrana. No existe un mecanismo unificado de resistencia al estrés para la sequía a nivel de la planta completa, o del gen individual (Blum 2004). Prácticamente todos los aspectos de la fisiología de las plantas y el metabolismo celular se ven afectados (Mahajan y Tutejan 2005). El escape de la sequía se logra si las etapas sensibles de crecimiento se completan mientras el agua no está limitada. Las características de prevención de la sequía incluyen un sistema de raíces que extrae el agua de las capas profundas del suelo y reduce la evapotranspiración con una mínima pérdida de rendimiento. Un ejemplo de un rasgo de tolerancia a la sequía es el ajuste osmótico, o la acumulación neta de solutos en una célula en respuesta a una caída en el potencial hídrico de entorno de la célula, reduciendo

así el potencial osmótico de la célula para atraer agua y mantener la presión de turgencia. Este rasgo de prevención de deshidratación adaptativo y sensible al estrés es importante, ya que se ha relacionado repetidamente con el rendimiento bajo estrés por sequía (Blum 2011a). Los rasgos variables asociados con la tolerancia a la sequía y la prevención pueden ser constitutivos, es decir, diferentes entre genotipos, o inducibles, que varían con la etapa del ciclo de vida. El estrés por sequía en sí mismo es variable en su duración, tiempo y gravedad, lo que resulta en una alta variación genética en el medio ambiente ($G \times E$).

La respuesta a la sequía se mide, en principio, fácilmente en ensayos de invernadero o de campo a nivel de población, en los que se compara una parcela con un tratamiento de agua limitada (“sequía”) con una parcela de “control”, en la que el nivel de humedad se riega de manera mesurada. Es más difícil estimar la variabilidad de una planta a otra en una población, ya que el tratamiento de la sequía y la parcela de control deberían medirse en el mismo genotipo individual. Este es un problema menor para los cultivos clonales, como la papa (por ejemplo, Cabello et al. 2012), o los cultivos de cereales autopolinizados. Un método óptimo para cultivos autopolinizados sería usar progenies de una sola planta extraídas de la población como material experimental, pero este procedimiento exige recursos y rara vez se hace. Por lo general, las variedades tradicionales no se evalúan a nivel de plantas individuales, sino como unidades únicas de muestra a granel para los índices de rendimiento, estabilidad del rendimiento y tolerancia durante varios años (por ejemplo, Dodig et al. 2012). Muchos de los estudios de tolerancia a la sequía en variedades tradicionales han tenido la perspectiva del obtentor para identificar fuentes genéticas de tolerancia o prevención de la deshidratación (Blum 2011b), en lugar de la perspectiva del agricultor de enfrentar el estrés ambiental local con material local.

En el centro de Yucatán, México, el evento climático que comúnmente plantea problemas a los productores de maíz es la “canícula”, un período seco de duración variable que a menudo aparece a finales de julio o agosto durante la temporada de lluvias. Los períodos críticos para la humedad requerida por el cultivo de maíz ocurren primero durante la formación de flores masculinas y femeninas, para la fertilidad del polen y la receptividad femenina, y en segundo lugar durante el llenado del grano. El estrés por sequía durante estos períodos deprimirá los rendimientos del maíz. Las variedades de maíz de ciclo corto y largo representan dos formas de hacer frente a la canícula anual. Las variedades tempranas de maíz, como *nal t'eel*, que madura siete semanas después de la siembra, escapan del estrés por sequía completando la floración y la maduración de la mazorca antes de la

canícula en los años en que la siembra comienza temprano o cuando la canícula se retrasa. Las variedades de maíz de Yucatán de mayor madurez, como x-nuuk nal y ts'it bakal, que tardan 3.5–4 meses en madurar, son capaces de tolerar varias semanas de sequía como plantas inmaduras establecidas y reanudar su crecimiento cuando la sequía se rompe (Tuxill et al. 2010).

Estrés frío

Las temperaturas de enfriamiento, las heladas, el agua fría y el granizo ejercen una fuerte presión de selección sobre los cultivos y restringen en gran medida las especies de cultivos que pueden crecer en dichos lugares, y de hecho la diversidad varietal con ellos. Se necesitan diferentes mecanismos de adaptación para resistir un estrés agudo (por ejemplo, un único evento de congelación) frente a un estrés crónico (un período prolongado de estrés por congelación o encapsulación de hielo). El término “lesión por frío” describe la manifestación visual de la disfunción celular en plantas tropicales cuando se expone a temperaturas de enfriamiento, generalmente en el rango de 0 a 15 ° C.

Las lesiones por frío pueden diferir sustancialmente según las zonas climáticas. En climas tropicales, las lesiones por frío pueden ocurrir a 15–20 ° C, causando la esterilidad del polen. Las lesiones por frío en el arroz, por ejemplo, pueden ser causadas tanto por el clima frío como por el agua de riego fría, lo que puede afectar el crecimiento en cualquier etapa del crecimiento del cultivo. El término “tolerancia al frío” se usa generalmente para describir la respuesta de una planta a las temperaturas de congelación y la capacidad de las plantas para funcionar a temperaturas inferiores a las óptimas. Los mecanismos responsables de la resistencia al frío (la capacidad de las plantas de zonas templadas para sobrevivir a temperaturas bajo cero) pueden diferir dentro de la misma planta, como en el tejido de la corona versus hoja en las plantas de cereal, o en el tejido de la raíz versus el tallo. En su reciente revisión de la adaptación de las plantas al frío en climas templados y alpinos, Gusta y Wisniewski (2013) enfatizan la diversidad de mecanismos. Señalan que las pruebas experimentales de tolerancia deben tener en cuenta el contexto, ya que los mecanismos declarados en las pruebas de invernadero pueden ser indicadores pobres de las respuestas reales de campo.

La mayoría de los informes de tolerancia al estrés por frío en variedades tradicionales provienen de encuestas de colecciones de bancos de germoplasma que utilizan muestreo a gran escala entre regiones o países para obtener recursos genéticos para la reproducción. Se ha realizado relativamente poca investigación

sobre la diversidad de la tolerancia a nivel local y comunitario. Una excepción es el trabajo de Li et al. (2004), quienes encontraron notables diferencias en la tolerancia al frío en las variedades tradicionales de arroz de cinco regiones productoras de arroz en Yunnan, China. Un segundo trabajo es el de Sthapit (1994) que, a través del análisis de la fluorescencia de la clorofila y la capacidad de regeneración de la raíz, identificó arroz con tolerancia al frío en el germoplasma indígena (como chhomorong, kalopatle, Takmare, Jumli Marshi, Sinjali, Raka-sali, Atte, Himali, Seto Bhankunde, Phalame y Bhatte). Todos estos materiales se originan en regiones montañosas de Nepal desde altitudes entre 1,200 y 2,600 m sobre el nivel del mar.

En la sierra boliviana, se han encontrado diferentes grados de tolerancia a las heladas tanto en variedades locales como modernas de quinua, la tolerancia a las heladas más alta correspondió a las variedades locales (Bonifacio 2006). El material vegetal clasificado como susceptible provino de valles donde las heladas casi nunca ocurren, mientras que las variedades tradicionales tolerantes fueron de áreas con altas heladas. En el mismo estudio, la tolerancia al granizo se asoció con variedades tradicionales de quinua que tenían hojas pequeñas, pecíolos cortos, un ángulo pequeño de inserción del pecíolo y un tallo flexible.

Estrés por Calor

El estrés por calor afecta el crecimiento de las plantas a lo largo de su ontogenia a través de niveles umbrales de calor que varían considerablemente en las diferentes etapas de crecimiento de la planta (Wahid et al. 2007). Algunos cultivos requieren calor para la maduración. La adaptación al estrés por calor es un proceso activo mediante el cual se desvían cantidades considerables de recursos de la planta al mantenimiento estructural y funcional para evitar los daños causados por el estrés por calor. Las palmas datileras están adaptadas a altas temperaturas. Sin embargo, el calor excesivo durante un período prolongado y durante las etapas de desarrollo del fruto afectan directamente la calidad de la fruta de la época. Los agricultores eligen las variedades de fecha precoz para limitar el período de exposición al calor extremo, por lo tanto, manejan la variación genética para evitar el estrés por calor en lugar de la tolerancia. Los vientos fuertes y frecuentes en estas áreas pueden acentuar el estrés por calor. La palma datilera, con su poderoso sistema de raíces y su esbelta silueta, es una de las especies de frutales más resistentes a los vientos. La diversidad en las variedades tradicionales contra la caída de frutos o flores durante los períodos de fuertes vientos ha llevado a que las variedades tradicionales a menudo se siembren alrededor de las fincas para proteger otras variedades (Rhouma et al. 2006).

Condiciones Edáficas Adversas: Salinidad, Acidez, Bajo Contenido de Nutrientes, Toxicidad

Se conocen varios genes que condicionan la tolerancia al estrés de factores edáficos tales como nitrógeno bajo, sal, toxicidad de aluminio y acidez e indican que la variación en la respuesta al estrés de estos factores puede existir dentro de una sola población. Es probable que los campos de los agricultores sean heterogéneos para los factores del suelo, lo que dificulta el reconocimiento de plantas tolerantes en una población mixta. Por otro lado, los estreses edáficos pueden ocurrir a una fina escala de mosaicos dentro de una parcela, lo que puede ofrecer la oportunidad de que los agricultores reconozcan los genotipos tolerantes comparativamente. El estrés por salinidad contiene tres componentes principales: exclusión de Na^+ , tolerancia a Na^+ en los tejidos y tolerancia osmótica. Witcombe y colegas (2008) revisaron exhaustivamente la mejora de la resistencia a la sequía, la salinidad y la baja toxicidad de nitrógeno y aluminio. La eficiencia en la utilización de nitrógeno de la planta (NUE), que es el producto de la eficiencia de captación y eficiencia de utilización, ayuda a determinar la capacidad de las plantas para producir en condiciones de bajo N y se mide por la proporción del rendimiento de grano producido por el N mineral disponible en el suelo y el fertilizante. Las plantas pueden usar el N que toman de manera más eficiente, haciendo más con menos (mayor eficiencia de utilización), o pueden aumentar la cantidad de N que adquieren del suelo (mayor eficiencia de captación). La diversidad en fenotipos de raíces se refleja en los niveles de NUE (Garnett et al. 2009), mientras que los vínculos entre la fisiología de la raíz, la actividad de la biota del suelo y la disponibilidad de N ocurren en diversas escalas que afectan la productividad de la planta (Jackson et al. 2008). Existe una variabilidad genética sustancial para NUE en variedades tradicionales. Los estudios para el trigo duro han demostrado una mayor eficacia de absorción para las variedades tradicionales en condiciones de bajo N en comparación con sus contrapartes modernas (Ayadi et al. 2012). Sin embargo, en comparación con sus contrapartes tradicionales, las variedades mejoradas fueron más receptivas a una mayor disponibilidad de N en el suelo.

Se ha demostrado un alto grado de variación en la tolerancia a la sal, tanto entre las poblaciones de variedades tradicionales como dentro de las zonas costeras de Vietnam (Lang et al. 2009) y Bangladesh (Lisa et al. 2004). En Nam Dinh, provincia de Vietnam, las aldeas de Kien Thanh y Dong Lac están ubicadas en el ecosistema de arroz de las tierras bajas del Delta del Río Rojo, con algunas áreas de suelo salino y tierras que bordean el mar. Para seleccionar las mejores variedades para hacer frente al estrés por salinidad, los agricultores ge-

neralmente evalúan el estado de la planta en los campos. Consideran que las etapas críticas del arroz para la salinidad y el estrés ácido son el macollamiento y el arranque de la floración. Los agricultores usan características tales como el color (blanco saludable versus negro) y el vigor del sistema de raíces, y el color (verde saludable versus amarillo) de las hojas y los niveles de crecimiento cuando las plantas están en el periodo de 30 días después de la siembra y en el arranque de la floración (Hue et al. 2006).

Exceso de Agua

Las inundaciones son un estrés ambiental para muchos ecosistemas en todo el mundo. Si bien puede ser una fuente importante de nutrientes para las plantas, las inundaciones pueden causar hipoxia o poca tensión de oxígeno. La hipoxia cambia la respiración a vías anaeróbicas e inicia cambios bioquímicos desfavorables. Para escapar del bajo nivel de oxígeno, las plantas pueden diferir en arquitectura, metabolismo o elongación. Pueden cambiar estos procesos en respuesta a un bajo nivel de oxígeno o soportar una inmersión prolongada estando en reposo. El aumento en el nivel del mar y las inundaciones periódicas más largas asociadas se harán más frecuentes en las tierras bajas y llanuras aluviales anteriormente productivas (Sarkar 2010). El arroz, un cultivo preeminente de ambientes propensos a las inundaciones, es probable que esté sujeto a un mayor grado de estrés, y se sabe que las variedades tradicionales albergan genes de tolerancia (Singh et al. 2010). La variación genética en los rasgos que mejoran la disponibilidad de oxígeno durante las inundaciones proporciona recursos valiosos para la mejora de la resistencia de los cultivos a una adversidad ambiental que se ve reforzada por el calentamiento global (Bailey-Serres y Voesenek 2008). A lo largo de los principales sistemas fluviales del sudeste asiático y el oeste de África, por ejemplo, los agricultores que trabajan en zonas de inundación dependen de variedades de arroz tradicionales que pueden tolerar grandes afluencias estacionales de inundaciones donde los niveles de agua pueden variar varios metros en el transcurso de la época de crecimiento.

CO₂ Elevado

La investigación en trigo, arroz, soya y frijol común ha identificado la variación intraespecífica en las respuestas de las plantas a CO₂ elevado, incluyendo (en el caso del frijol común) el rendimiento de semillas (Bunce 2008, ver también el Capítulo 6). Dichos estudios sugieren que la diversidad genética puede ser un recurso clave para que los mejoradores seleccionen la capacidad de

respuesta al CO₂ en los cultivos mayores para aprovechar el efecto fertilizante de un mayor nivel de CO₂.

Estrés Biótico y Diversidad Genética de los Cultivos

Los estreses bióticos son aquellos que surgen de cualquiera de las diversas formas de vida asociadas que viven dentro del cultivo. Los estreses bióticos pueden tener un impacto diferencial en diferentes poblaciones y diferentes variedades de cultivos y en componentes individuales de genotipos. Incluyen plagas (insectos, nematodos, otros herbívoros) incluyendo plagas de granos almacenados; patógenos, parásitos (por ejemplo, especies de *Orobanche*), microbios del suelo, ausencia de polinizadores, animales de pastoreo y competidores de malas hierbas. La sección anterior sobre estrés abiótico y diversidad genética de cultivos enfatizó la interconexión de varios tipos de estrés en su impacto en las poblaciones de cultivos, y en los mecanismos morfológicos, fisiológicos y moleculares que las plantas emplean para enfrentar el estrés. Sin embargo, la mayoría de las formas de estrés biótico difieren profundamente de las del estrés abiótico en que el propio factor de estrés evoluciona (Teshome et al. 2001). El tamaño y la composición genética de las poblaciones de plagas y patógenos cambiará de una generación a otra, en respuesta a los cambios en la composición de las poblaciones de cultivos hospederos, moderados por los cambios en el medio ambiente (Le Boulc'h et al. 1994). Los estreses enfatizan la diversidad de los cultivos sujetos a entornos adversos en los procesos co-evolutivos en fincas. La co-evolución es un proceso en el cual dos o más especies diferentes vinculadas ecológicamente afectan recíprocamente la evolución de cada una. El potencial de la evolución recíproca entre los cultivos y los agentes del estrés biótico conduce a la pregunta de si el aumento en la diversidad del hospedero siempre será beneficioso. ¿Será beneficioso para el agricultor el uso de la diversidad de cultivos para manejar el estrés biótico a largo plazo, o es un peligro en, por ejemplo, la evolución de las súper razas de patógenos (Marshall 1977, Jarvis et al. 2007a)?

Patógenos

La enfermedad causada por patógenos de plantas ha sido un factor importante en la evolución de los cultivos bajo domesticación. Sin embargo, los patógenos de las plantas siguen siendo una de las principales causas de pérdida en los cultivos, y el cumplimiento de su desafío utilizando la diversidad ge-

nética para la respuesta de las plantas hospederas ha sido una estrategia básica. Si las opciones químicas están disponibles para disminuir el impacto de la enfermedad, generalmente son indeseables y costosas. Los agricultores tienen que depender de estrategias agronómicas (tiempo de siembra, cultivos mixtos, rotación, etc.) junto con la explotación de cualquier diversidad genética en la respuesta del huésped mostrada por el cultivo. La resistencia a la enfermedad se define como la posesión de propiedades que previenen o impiden el desarrollo de la enfermedad. La tolerancia a enfermedades es la capacidad de una planta para soportar una enfermedad infecciosa o no infecciosa sin daño grave o pérdida de rendimiento. Hay dos tipos de resistencia a enfermedades: específica y no específica. Otros nombres para la resistencia específica son la resistencia vertical, de genes mayores y cualitativa. La resistencia inespecífica también se denomina resistencia horizontal, de genes menores, cuantitativa y de campo. La resistencia específica a menudo está controlada por genes únicos y dominantes y, por lo tanto, ha sido ampliamente utilizada por los fitomejoradores porque la característica es relativamente fácil de identificar y manipular genéticamente. Por el contrario, la resistencia no específica a menudo es más difícil de identificar y está controlada por múltiples loci de caracteres cuantitativos (QTL), lo que dificulta su incorporación a nuevas variedades.

La literatura informa muchas evaluaciones de resistencia a enfermedades utilizando colecciones de bancos de semillas en variedades tradicionales debido a su larga historia de co-evolución (por ejemplo, Teshome et al. 2001), típicamente encontrándolas como una rica fuente de diversas respuestas. La resistencia efectiva a cualquier plaga o enfermedad depende de la suficiente expresión de cientos de genes o QTL. La variación en la expresión de la resistencia cuantitativa está indudablemente acompañada por la variación en la expresión de muchos de estos genes.

A medida que los humanos se trasladaban de un país a otro con sus cultivos, también lo hacía el germoplasma resistente y las razas virulentas de patógenos. Los genes de resistencia evolucionan en respuesta a nuevos patógenos, pero también puede haber restos de resistencia ya presentes en una región si los cultivos habían estado históricamente en contacto con la enfermedad. En una proyección de las colecciones mundiales de cebada para la respuesta al Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada (BYDV), las accesiones resistentes se localizaron en Etiopía, un centro de diversidad. Qualset (1975) concluyó que la mutación para resistencia BYDV ocurrió en Etiopía, y la presencia de la enfermedad condujo a la selección natural favoreciendo a las variedades resistentes. Del mismo modo, la

exploración en una colección mundial de maní para resistencia a la roya causada por *Puccinia arachidis*, y la mancha foliar causada por *Phaeoisariopsis personata*, mostró que el 75 por ciento de las accesiones resistentes provenían de la región de Tarapoto en Perú. Perú es un centro secundario de diversidad para el maní, que se desarrolló a partir del centro primario de domesticación en el sur de Bolivia (Subrahmanyam et al. 1989). Un ejemplo de resistencia que ocurre remotamente desde el centro primario de la diversidad es la mancha de chocolate (*Botrytis fabae*) en frijol haba (*Vicia faba*) en los Andes. El frijol haba llegó a las Américas hace varios cientos de años, pero su centro de diversidad es la Media Luna Fértil.

Diferentes tipos de resistencia parecen estar generalizados en las variedades tradicionales (Teshome et al. 2001). Esto se atribuye a la co-evolución a largo plazo entre las plagas y las especies hospederas en los centros de diversidad primaria y secundaria. A menudo, los centros de diversidad genética de una especie de cultivo y los de la diversidad de plagas o patógenos coinciden (Allen et al. 1999), aunque no siempre. Buddenhagen (1983) señaló que el mayor número de genes de resistencia a la enfermedad por lo general proviene de variedades tradicionales donde el huésped y el agente patógeno han coexistido durante largos períodos de tiempo. Algunas de estas poblaciones pueden ser de bajo rendimiento, sin embargo, la variabilidad genética de la resistencia dentro y entre ellos ha dado un grado de seguridad contra las epidemias.

La siembra de cultivares únicos y uniformes en áreas extensas aumenta el riesgo de epidemias de enfermedades (Marshall 1977). La hipótesis de diversidad-beneficio postula que una base genética diversa de resistencia es beneficiosa para los agricultores porque la diversidad les permite mitigar la presión de la enfermedad de manera más estable de lo que permite un monocultivo (Jarvis et al. 2007a). Esto se debe a que la resistencia de un monocultivo puede romperse, lo que resulta en la pérdida de toda la cosecha por el daño de la plaga o la enfermedad. El daño surge de la introducción o evolución de nuevas razas de plagas y patógenos que superan los genes de resistencia actualmente desplegados en grandes áreas. Es menos probable que un campo genéticamente diverso tenga altos niveles de daño debido a la menor probabilidad de que diferentes tipos de resistencia se rompan en el mismo lugar. La hipótesis alternativa o de riesgo de diversidad es que las poblaciones de hospederos mixtos que tienen genotipos que difieren en la resistencia a diferentes conjuntos de patotipos permitirán la acumulación de diversas poblaciones de patógenos y, por lo tanto, el potencial de nuevos patotipos de súper-razas que surjan por recombinación o mutación de

un solo paso. La teoría detrás del argumento de la súper-raza está sujeta a mucha discusión (Mundt 1990, 1991; Kolmer et al. 1991). Se necesita más investigación en poblaciones de cultivos heterogéneos para determinar los factores que determinan dónde y cuándo la diversidad es beneficiosa.

Las fuerzas selectivas abióticas pueden combinarse con la presión del patógeno para afectar la intensidad de la selección de resistencia. La epidemia ocasional del tizón del arroz (causada por *Pyricularia grisea*) puede ser devastadora a gran altura en Bhután, destruyendo localmente cultivos enteros. Esto sugiere que el tizón del arroz tiene una fuerte presión selectiva, pero también que la resistencia al frío es un rasgo vital y de hecho puede ser la fuerza selectiva dominante en el sistema (Thinlay et al. 2000). Los avances recientes en tecnologías para el análisis de alto rendimiento de la expresión génica han permitido comenzar a discriminar tales respuestas de hospederos, patógenos y vectores a diferentes estreses bióticos y abióticos y las posibles compensaciones en las respuestas (Garrett et al. 2006).

Plagas de Artrópodos

Las variedades resistentes a insectos se han cultivado desde el comienzo de la entomología aplicada en los siglos XVIII y XIX. Las variedades de cultivos tradicionales varían en su resistencia a las plagas de artrópodos tanto en el cultivo de campo como en condiciones de almacenamiento. Casi todas las plantas emplean varias líneas de defensa diferentes contra la herbivoría. La tolerancia de la planta consiste en un conjunto de rasgos que le permiten recuperarse o resistir el daño de artrópodos. La antixenosis es la reacción no preferida de los artrópodos a una planta resistente. La antixenosis ocurre cuando los factores químicos o morfológicos de la planta afectan adversamente el comportamiento de los artrópodos, lo que retrasa o rechaza a la planta como huésped. Las diferencias morfológicas en las variedades de trigo tradicionales turcas con tipos de tallo sólido fueron resistentes a la mosca de sierra, mientras que los tipos de tallo hueco no lo fueron (Damania et al. 1997). La antibiosis es cuando una planta resistente afecta negativamente los rasgos de la historia de vida del artrópodo que intenta usar esa planta como huésped. La microevolución de la defensa de la planta generalmente se estudia mediante experimentos de trasplante recíproco de poblaciones de plantas diferenciadas, mientras que simultáneamente se manipula la presencia de los herbívoros, que se presume son los agentes de la selección natural (Agarwal 2010). Las interacciones incompatibles entre plantas resistentes y artrópodos de plagas avirulentas están mediadas por proteínas vegetales inducidas por artrópodos y aleloquímicos de defensa sintetizados por productos

génicos resistentes. Smith y Clement (2012) proporcionan un catálogo de unos 40 genes de resistencia a artrópodos, caracterizados por el mapeo molecular de más de 20 cultivos mayores, junto con el número de loci de resistencia, productos de genes, herencia de la resistencia y categorías de resistencia fenotípica.

Las variedades tradicionales de maíz en México (Arnason et al. 1994) y de sorgo en Etiopía (Teshome et al. 1999) difieren notablemente en la resistencia a plagas de insectos durante el almacenamiento, que es una propiedad crítica para la agricultura de subsistencia. En Etiopía, la variación en la capacidad de almacenamiento y la resistencia a los insectos de grano se relaciona fuertemente con los fitoquímicos antibióticos del grano. En Yucatán, México, la capacidad de almacenamiento es un factor clave para que los agricultores adopten variedades mejoradas de maíz (Latournerie Moreno et al. 2006). Las variedades tradicionales tienen características de la cáscara que cubren completamente la mazorca, protegiendo físicamente el grano de las plagas de insectos durante el almacenamiento. Los agricultores que sí usan semilla mejorada producen predominantemente versiones localmente adaptadas o “criollizadas” de las variedades mejoradas, que desplazan las características de las variedades locales de maíz que facilitan su almacenamiento.

Otros Estreses Bióticos

Las especies de cultivos pueden tener diversidad genética para hacer frente a otros factores bióticos que pueden tener un impacto perjudicial sobre el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Ejemplos de tales presiones son los de la competencia con las malezas, la disminución de polinizadores entre los exogámicos, la pérdida de dispersores de semillas y la diversidad microbiana del suelo. En el caso de la disponibilidad deficiente de polen, puede haber una presión de selección para la autofertilidad y mayores tasas de autofertilización. El *Rhizobium* fijador de nitrógeno puede mostrar un gran rango de diversidad entre cepas para la capacidad de nodulación efectiva entre los genotipos de leguminosas, que ha sido un parámetro crítico en el mejoramiento de leguminosas de pastos. Los polinizadores pueden favorecer una variedad sobre otra, a pesar de la gran proximidad de las diferentes variedades. El polimorfismo genético de las plantas con flores, en algunos casos, influye en la alimentación del polinizador, que a su vez puede influir en el tipo y la abundancia de la polinización y, por lo tanto, en el mantenimiento de sus poblaciones. El cultivo de *Vicia faba* parcialmente polinizado por insectos muestra diversidad en los rasgos florales para atraer a los insectos que afectan la polinización cruzada entre las poblaciones (revisión en Duc et al. 2010).

El Estrés Abiótico Comparado con el Estrés Biótico

El estrés abiótico contrasta con el estrés biótico en el carácter y la respuesta de la diversidad genética en la finca (Brown y Rieseberg 2006). A continuación, se enumeran varias de estas diferencias potenciales expresadas en forma categórica, como una guía para formular hipótesis de investigación. Los contrastes incluyen:

1. La escala de variación para el estrés abiótico en el tiempo y el espacio es mayor que para el estrés biótico. El estrés puede durar más tiempo y ocurrir en un área más amplia.
2. La “granulosidad” del ambiente (Levins 1968) diferente, o cómo el individuo experimenta variaciones temporales y espaciales en el ambiente; los estreses abióticos tienden a ser de grano grueso, mientras que los bióticos son de grano fino.
3. La co-evolución es una característica de los sistemas bióticos; es decir, cómo las poblaciones de plantas responden y evolucionan afectará el grado de estrés biótico y la evolución futura del agente. Los cambios en la composición genética del cultivo para hacer frente al estrés abiótico no provocarán directamente un cambio en los niveles de estrés, en contraste con las poblaciones de patógenos.
4. La divergencia poblacional como proporción de la diversidad total (T_{SG}) es más pronunciada para el estrés abiótico que para el biótico, para el cual es más probable el polimorfismo local.
5. Las tendencias con el tiempo son más lentas para los estreses abióticos. Los gradientes temporales de virulencia o prevalencia en patógenos pueden ser comparados rápidamente con el cambio climático o con patrones insostenibles de uso de la tierra.
6. El alcance y el papel de las estrategias de diversidad, como las mezclas y el entrecruzamiento, difieren entre el estrés abiótico y biótico. Para los estreses abióticos puede haber menos espacio para la diversidad dentro de las poblaciones y un mayor énfasis en el uso de variedades tolerantes.
7. La plasticidad fenotípica, la evasión y los múltiples mecanismos de tolerancia y evasión actuando en las diferentes etapas del ciclo de vida significan que la resistencia al estrés abiótico se puede combinar o piramidar de manera más efectiva que la tolerancia al estrés biótico.

Otras diferencias entre los estreses son menos claras, y las comparaciones sobre si los estreses bióticos son distintos de los abióticos son complejas. Por

ejemplo, los estreses individuales difieren por la importancia relativa de los genes mayores como fuente de la respuesta adaptativa, frente a la acumulación de varios genes menores. Los genes mayores son una característica de las tolerancias a metales pesados y aluminio, así como también respuestas cualitativas de “gen por gen” al estrés biótico. Por el contrario, la tolerancia a la sequía y la respuesta de resistencia cuantitativa al estrés biótico tienen una base genética más compleja. La respuesta a ambos tipos de estrés es probable que varíe con la etapa de crecimiento. La interacción entre lo abiótico y lo biótico es frecuente, ya que ambos constituyen el ambiente de la planta. Ejemplos de tal interacción son los simbioses sensibles a la sal en las leguminosas y la mejora de la respuesta al estrés por sequía en los cereales mediante la mejora de la resistencia a las enfermedades de las raíces.

Los ensayos experimentales de resistencia o tolerancia varían en sus complejidades. Para el estrés abiótico, surgen dificultades en la repetibilidad de las medidas, la multiplicidad de mecanismos y la importancia de las extrapolaciones desde el ambiente de prueba al campo (Munns 2005). En el estrés biótico, las respuestas del ensayo a menudo son específicas de la raza. Por lo tanto, la relación entre la estructura de virulencia del ensayo en comparación con la de las poblaciones de patógenos nativos es clave.

La percepción del agricultor, o la facilidad con la que los agricultores reconocen las principales restricciones de rendimiento, es probable que difiera ampliamente entre los tipos de estrés. Las diferencias en la claridad y especificidad de los síntomas de la planta, los cambios climáticos entre los años, la importancia de los organismos asociados y el conocimiento y la experiencia de los agricultores difieren entre los estreses.

Manejo por Parte de los Agricultores de la Diversidad Genética de los Cultivos para Hacer Frente al Estrés Ambiental

Los agricultores han desarrollado numerosas formas de manipular el medio ambiente para responder a los estreses abióticos y bióticos que enfrentan sus cultivos. Las amenazas pueden estar asociadas con climas locales, cambios estacionales o los efectos de los patógenos; las respuestas pueden ser simples o complejas, temporales o permanentes, tradicionales o modernas. El manejo del ambiente agrícola del agricultor puede estar estrechamente relacionado con el manejo del ecosistema natural circundante, ya que los componentes del ecosistema natural también son importantes como indicadores para determinar el comienzo y el final de la estación lluviosa, lo que influye en las decisiones sobre

las épocas de siembra y el manejo y la cosecha de sus cultivares de cultivos locales. La Tabla 7.1 revisa los diversos tipos de estrés ambiental que enfrentan los agricultores y da ejemplos de las manipulaciones ambientales que pueden usarse para reducir su impacto en las plantas de cultivo.

Estas prácticas de manejo agronómico no son específicas de cada variedad e implican el manejo del medio ambiente en torno a las variedades de cultivos tradicionales en lugar de a las propias variedades de los cultivos, o se combinan con el uso de variedades adaptadas específicamente. Por ejemplo, para minimizar el daño del estrés salino en las zonas costeras del norte de Vietnam, los agricultores saben cómo utilizar no solo la diversidad varietal sino también aplicar prácticas agronómicas específicas antes de cultivar las plántulas de arroz.

Primero, el campo se inunda con el agua dulce del río o es alimentado por la lluvia; luego, el suelo es arado bajo el campo inundado, y esto efectivamente drena el agua salina de los campos. Finalmente, el campo se vuelve a regar y se siembran las semillas o se transplantan las plántulas. Los agricultores creen que esto reducirá los niveles de toxicidad de hierro y aluminio y que su cultivo de arroz se desarrollará mejor (Hue et al. 2006). En las zonas agrícolas de gran elevación de Nepal, las variedades tradicionales de arroz tolerantes al frío se cultivan hasta a 3,000 metros. Los agricultores reencaminan el agua fría del río principal del valle para que sea calentada por el sol antes de ser utilizada para regar el cultivo de arroz; el agua calentada induce la floración en el momento apropiado de la época para permitir la oportuna maduración y cosecha del cultivo.

Debido a que el desarrollo de la planta refleja tanto el genotipo como el medio ambiente, no siempre es fácil identificar con precisión cómo el manejo de los factores del agroecosistema de los campesinos afecta la diversidad genética local. No todas las prácticas agrícolas juegan un papel importante en la configuración de la diversidad genética local. Existen numerosas hipótesis sobre los impactos de los insumos agronómicos de los agricultores en la diversidad genética, como la cantidad y el contenido de fertilizantes y su efecto sobre la diversidad genética de los cultivos. Al alterar las presiones de selección ambiental que enfrentan los cultivos, las prácticas de manejo de los agricultores pueden influir en los patrones de diversidad genética dentro y entre las poblaciones locales de los cultivos. El desafío es identificar cómo el manejo de los agricultores de su agroambiente afecta la utilidad de la diversidad genética de los cultivos para mejorar la productividad de sus ecosistemas. Una segunda pregunta de la investigación es: ¿Cómo influyen las prácticas de manejo agronómico en cómo los agricultores mantienen o eligen la diversidad genética?

TABLA 7.1. ESTRES AMBIENTAL Y POSIBLES RESPUESTAS DE MANEJO AGRONÓMICO POR PARTE DEL AGRICULTOR.

<i>Factor ambiental</i>	<i>Posible respuesta del agricultor para alterar el ambiente</i>
Frio extremo	Protección de cultivos, cobertura para heladas
Calor extremo	Sombreado de cultivos
Alto contenido de arcilla/drenaje pobre	Remoción de la capa de arcilla endurecida, adición de líneas de drenaje
Alto contenido de arena/drenaje rápido	Adición de líneas de retención de agua
Alto contenido de gravilla/roca	Remoción del material de roca
pH alto o bajo	Fertilizantes, aditivos para el suelo
Bajo contenido de nutrientes	Fertilizantes, aditivos para el suelo, cultivos intercalados, rotación de cultivos con leguminosas
Alto contenido de aluminio o sal	Fertilizantes, aditivos para el suelo
Alta precipitación/suelos saturados de agua	Adición de líneas de drenaje
Baja precipitación anual	Sistemas de riego/acumulación de agua
Baja precipitación estacional	Sistemas de riego temporales/estacionales
Desertificación	Barreras de arena
Alto potencial de erosión	Aplanamiento de pendientes de campo, desarrollo de terrazas
Baja intensidad de luz	Disminuyendo la posibilidad de sombra
Fotoperiodo largo/corto	Agroforestería, rotación de cultivos
Fuertes vientos locales	Siembra/construcción de cortavientos, agroforestería
Plagas	Pesticidas, barreras físicas, cultivos intercalados, rotación de cultivos
Enfermedades	Evitando condiciones favorables a la enfermedad, fungicidas, rotación de cultivos
Competencia entre plantas	Deshierbe, reduciendo el espacio entre plantas, herbicidas

Primero, el campo se inunda con el agua dulce del río o es alimentado por la lluvia; luego, el suelo es arado bajo el campo inundado, y esto efectivamente drena el agua salina de los campos. Finalmente, el campo se vuelve a regar y se siembran las semillas o se transplantan las plántulas. Los agricultores creen que esto reducirá los niveles de toxicidad de hierro y aluminio y que su cultivo de arroz se desarrollará mejor (Hue et al. 2006). En las zonas agrícolas de gran elevación de Nepal, las variedades tradicionales de arroz tolerantes al frío se cultivan hasta a 3,000 metros. Los agricultores reencaminan el agua fría del río principal del valle para que sea calentada por el sol antes de ser utilizada para regar el cultivo de arroz; el agua calentada induce la floración en el momento apropiado de la época para permitir la oportuna maduración y cosecha del cultivo.

Debido a que el desarrollo de la planta refleja tanto el genotipo como el medio ambiente, no siempre es fácil identificar con precisión cómo el manejo de los factores del agroecosistema de los campesinos afecta la diversidad genética local. No todas las prácticas agrícolas juegan un papel importante en la configuración de la diversidad genética local. Existen numerosas hipótesis sobre los impactos de los insumos agronómicos de los agricultores en la diversidad genética, como la cantidad y el contenido de fertilizantes y su efecto sobre la diversidad genética de los cultivos. Al alterar las presiones de selección ambiental que enfrentan los cultivos, las prácticas de manejo de los agricultores pueden influir en los patrones de diversidad genética dentro y entre las poblaciones locales de los cultivos. El desafío es identificar cómo el manejo de los agricultores de su agroambiente afecta la utilidad de la diversidad genética de los cultivos para mejorar la productividad de sus ecosistemas. Una segunda pregunta de la investigación es: ¿Cómo influyen las prácticas de manejo agronómico en cómo los agricultores mantienen o eligen la diversidad genética?

“Elección de la Diversidad Genética” en el Manejo de los Cultivos

Las elecciones que hacen los agricultores para manejar sus cultivos se dividen en dos categorías; ya sean elecciones agronómicas que afectan el ambiente del cultivo (ver tabla 7.1), o “elecciones de diversidad genética”. Estas últimas opciones usan la diversidad intraespecífica de los cultivos, en lugar de otras opciones (el uso de insumos químicos o prácticas agronómicas como la rotación de cultivos), para minimizar o mejorar los impactos de los factores problemáticos. Las opciones de diversidad genética son opciones de manejo que afectan la productividad actual, la evolución y la supervivencia del cultivo para la próxima época. Estas prácticas incluyen el mantenimiento de arreglos espaciales y temporales de la diversidad intraespecífica. Los arreglos varietales espaciales pueden ser aleatorios, en filas o en pequeñas parcelas. Se puede obtener información de los agricultores sobre el arreglo espacial y las variedades utilizadas dentro del arreglo. Esta información se usa para examinar las relaciones de la distribución espacial de las variedades de los cultivos con los niveles de daño de plagas y enfermedades, y con los niveles de polinización para la formación del grupo de frutos de los cruces obligatorios que dependen de insectos o pequeños animales para la polinización.

En áreas templadas o tropicales de alta diversidad tradicional para árboles frutales, los agricultores usan la diversidad de variedades en sus huertas o huer-

tos caseros para aumentar la hibridación cruzada y un mejor cuajado (Turdieva et al. 2010). Estos usos se encuentran para la manzana (*Malus* sp.), albaricoque (*Prunus armeniaca*), pera (*Pyrus* sp.) y granada (*Punica granatum*) en Asia Central templada en Uzbekistán, Kazajstán, Kirguistán, Turkmenistán y Tayikistán, y en el mango (*Mangifera indica*), rambután (*Nephelium lappaceum* L.) y cítricos (*Citrus* sp.) en las comunidades de agricultores de Tailandia, Indonesia, India y Malasia en el sur y el sudeste de Asia. Las épocas de floración escalonada entre las variedades de frutales pueden ayudar a prolongar la época de visitas durante toda de floración y aumentar las posibilidades de supervivencia de la población de polinizadores. Se usa con variedades de maíz en Yucatán, México, donde el maíz de ciclo corto y el maíz de ciclo largo más popular se siembran juntos para garantizar cierto rendimiento en caso de que la sequía severa a mitad de época corte la época (Tuxill 2005).

Las opciones de diversidad genética también incluyen la selección de variedades para adaptarse a una característica ambiental particular de los ecosistemas de los agricultores, como se discutió anteriormente. En un nivel más fino, las elecciones genéticas se realizan cuando un agricultor selecciona plantas o poblaciones específicas dentro de una población de variedades para las cuales se tomarán las semillas para la siguiente época de siembra, ya que eso afectará la estructura genética de la siguiente generación (ver Capítulo 5) y como una estrategia de manejo de riesgos para cambios ambientales impredecibles.

Identificando Dónde Se Usa la Diversidad para Hacer Frente al Estrés Ambiental

Los factores climáticos pueden ejercer una presión adversa constante o cada vez mayor sobre los rendimientos de los cultivos, o pueden variar de forma errática o en ciclos con cambios de longitud, intensidad y frecuencia en el espacio y en el tiempo. Las escalas de dicha variabilidad espacial y temporal pueden variar desde un campo a través de regiones enteras, diaria a anualmente. El inicio de las lluvias de primavera puede variar significativamente de un año a otro, y el aumento y la disminución de las temperaturas, estacionalmente o entre los extremos de la noche y el día, y los vientos o los períodos de frío pueden llegar demasiado temprano durante la floración o demasiado tarde para el éxito de la producción de los cultivos. Los cambios en la frecuencia y gravedad de las infestaciones de plagas y enfermedades y las epidemias, junto con los cambios en los grupos de polinizadores, son otros eventos a menudo impredecibles que pueden afectar el rendimiento de los cultivos y el bienestar de la finca.

Bajo estas circunstancias, es útil distinguir entre el uso de un conjunto de variedades elegidas deliberadamente como adaptadas a diferentes ambientes, y el uso de la diversidad per se cómo un seguro para mantener la productividad en ambientes heterogéneos, o bajo climas cambiantes. Para comprender el uso que hacen los agricultores de la diversidad para hacer frente a los ambientes cambiantes, es necesario abordar las siguientes preguntas:

- ¿Qué factores ambientales perciben los agricultores como amenazas para mantener o mejorar los rendimientos de los cultivos?
- ¿Cómo difieren las diferentes variedades de cultivos, o los genotipos que las constituyen, de su reacción a factores ambientales adversos, y a la variación de tales factores?
- ¿Cómo hacen, o cómo pueden los agricultores utilizar el conocimiento de la variación ambiental y de la diversidad de variedades para minimizar las pérdidas en los cultivos y asegurar una productividad sostenible?

Los agricultores tienen conocimiento de la resistencia y tolerancia de sus materiales de siembra al estrés abiótico y biótico. El Capítulo 5 describe los procedimientos de diagnóstico participativo (como las discusiones y encuestas de grupos focales) que reúnen el conocimiento de los agricultores sobre la diversidad con respecto a las variedades tradicionales y al estrés abiótico y biótico. Como se describió en el Capítulo 6, las herramientas de diagnóstico participativo pueden usarse para determinar el conocimiento de los agricultores sobre plantas sanas y no saludables o estresadas de diferentes variedades de cultivos locales y los criterios que utilizan para determinar si una planta es saludable. Döring y colegas (2012) contrastan estas definiciones normativas de la salud de las plantas (que dependen de los valores de los agricultores que las definen) con definiciones naturalistas (que se basan en la salud de las plantas, independientemente de los valores humanos). Su revisión discute cómo la definición de salud de las plantas afecta el tipo de práctica de manejo convencional o alternativa utilizada para la protección de las mismas. Los normativistas reconocen una diversidad de enfoques para la salud de las plantas; los naturalistas afirman que, en una situación dada, un enfoque es válido para todos, determinado por expertos entrenados formalmente con los métodos de las ciencias naturales. Estas posiciones revelan una afinidad entre la protección química de las plantas y una visión naturalista de la salud de las plantas, por un lado, y por el otro, entre la protección ecológica de las plantas y el normativismo.

La Fluctuación en las Variables Climáticas y el Cambio Climático

Las tendencias centenarias en el tiempo para las variables climáticas, como el aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones estacionales, constituyen un aspecto adverso del cambio climático. Vigouroux et al. (2011b) documentan cómo las variedades autóctonas de mijo perla en el Sahel africano se han adaptado a la sequía recurrente y al aumento de la aridez. Comparando las variedades muestreadas *in situ* en 1976 con las del año 2003, encontraron niveles similares de diversidad genética en la mayoría de las variedades nombradas en común. Sin embargo, las muestras del 2003 tuvieron ciclos de vida más cortos, cambios significativos en los rasgos de adaptación y una mayor frecuencia del alelo de floración temprana en el fitocromo C o locus PHYC. Este estudio es un buen ejemplo de cómo la diversidad en las variedades tradicionales puede brindar resiliencia a las tendencias climáticas.

Quizás más desafiante para las respuestas adaptativas es el aumento de la variabilidad climática en el tiempo per se en una región específica. Los eventos climáticos extremos parecen ser más frecuentes y más variables en su grado extremo. En la búsqueda de una producción sostenible en la finca, la diversidad genética y las estrategias mixtas de despliegue pueden ser las únicas herramientas que los agricultores tienen para enfrentar este desafío.

Los agricultores que enfrentan patrones de lluvia muy variables pueden diseminar el riesgo al cultivar variedades múltiples con tiempos de maduración diferencial, o pueden cultivar solo una o dos variedades, pero varían sus fechas de siembra en diferentes campos. Dado este nivel de complejidad, es esencial comprender la relación dinámica entre la diversidad de cultivos, la variabilidad ambiental y el estrés. Las variedades tradicionales albergan mucha variación genética, tanto dentro como entre las poblaciones, para responder a los déficits hídricos. Los agricultores (por ejemplo, los productores de sorgo en África Occidental) utilizan esta diversidad para minimizar los riesgos debido a la variabilidad climática, como la aparición tardía de precipitaciones y frentes de escarcha erráticos durante la floración (Sawadogo et al. 2005b; Weltzien et al. 2006; Zimmerer 2010). En un caso provocativo, los productores de sorgo en Etiopía que adoptaron una variedad de sorgo mejorada, desarrollada para la evasión a la sequía, no la encontraron tan efectiva como las variedades de los agricultores, que tenían más probabilidades de proporcionar las características deseadas de tolerancia a la sequía (Lipper et al. 2009). Los investigadores también notaron que la mejora de los niveles de educación y alfabetización entre los agricultores permitía el acceso a más variedades adaptadas a las condiciones de baja producción.

Variabilidad Espacial y Sucesión: Suelos Heterogéneos

Como se discutió en el Capítulo 6, las propiedades y condiciones del suelo influyen en las elecciones de variedades de cultivos por parte de los agricultores de muchas formas diferentes. En algunos casos, los agricultores se dirigen a los cultivos o variedades para condiciones específicas del suelo en función de la textura o la disponibilidad relativa de nutrientes. Los cambios en las condiciones del suelo a lo largo del tiempo también pueden llevar a los agricultores a cambiar la composición y la diversidad de sus variedades de cultivos. Los suelos en regiones semiáridas que son objeto de riego a menudo acumulan sales y requieren cuidado en el tiempo para evitar la alcalinidad excesiva, lo que limita en gran medida los cultivos que se pueden cultivar. Los campos sujetos a alcalinidad creciente tienden a mostrar tales problemas de una manera muy variable. En tales casos, los genotipos tolerantes a la sal pueden ser más productivos que los genotipos sensibles a la sal en los parches salinos. Por el contrario, los genotipos tolerantes pueden tener un rendimiento relativamente bajo en otros parches que aún no son salinos. Promediando todo el campo, la ganancia de rendimiento por la tolerancia puede ser menor que el costo o el rendimiento perdido en los puntos más benignos. Por lo tanto, la conciencia de los agricultores sobre la escala de variación ambiental es clave para garantizar rendimientos sostenibles de los cultivos.

Principales Catástrofes Aleatorias: Inundaciones, Huracanes, Etc.

De mayor preocupación son los eventos climáticos extremos, que pueden ser más frecuentes y más variables en su grado extremo. Los cultivos y variedades con diferentes épocas de siembra y maduración brindan a los agricultores la opción de sembrar y cosechar cultivos en múltiples ocasiones durante la época para protegerse contra la pérdida total de cultivos de cualquier evento ambiental, como un huracán o una sequía. Tal destrucción claramente no es susceptible de mitigación de la diversidad. Pero igual de claro, la recuperación pone una prima en la diversidad. Si se pierden las reservas locales de semillas, entonces el reemplazo de una fuente *ex situ* es clave, y la semilla reintroducida idealmente debería ser lo más similar posible de las variedades destruidas, así como diversa para permitir rápidamente cambios genéticos *in situ*. Estos temas se discuten más detalladamente en los Capítulos 11 y 12.

Cambios en el Patotipo, la Agresividad y la Virulencia

Las poblaciones de cultivos de los agricultores y los muchos otros organismos que viven dentro de ellos forman un complejo sistema de interacción

dinámica. La evolución de este ecosistema en las fincas determina cómo se comporta la diversidad genética vegetal en el tiempo y cómo los agricultores usan, o podrían usar, dicha diversidad para disminuir los efectos perjudiciales del daño a las enfermedades. Los cambios en la virulencia (la capacidad promedio de una población de patógenos para superar la diversidad de genes de resistencia presentes en la población hospedera correspondiente) y en la agresividad (la capacidad cuantitativa de un patógeno de planta para colonizar y diseminar, causando daño a su hospedero) afectarán la eficacia del uso de la diversidad de variedades de cultivos para disminuir los efectos perjudiciales del daño por la enfermedad. El desarrollo epidémico (el cambio en la intensidad o severidad de la enfermedad con el tiempo) también depende de la escala en tiempo y espacio entre el huésped, los patógenos, el medio ambiente y los humanos. Los mosaicos geográficos de las áreas de coevolución resultan de la naturaleza local de las interacciones huésped-plaga-humano. La diferenciación y la interconexión por migración y aislamiento entre estas áreas geográficas crean metapoblaciones de interacciones huésped-plaga (Bousset y Chèvre 2013). Las estrategias de protección de cultivos tienen como objetivo la eficiencia (la capacidad de producir un efecto en un punto del tiempo y el espacio) y la estabilidad (la persistencia de la eficacia de la planta huésped en el tiempo y el espacio). La eficiencia de cualquier estrategia depende de la biología de los patógenos y del tamaño de la población, mientras que la estabilidad depende de la dinámica de adaptación en las poblaciones de patógenos.

La variabilidad estacional o anual en las interacciones entre cultivos y plagas en agroecosistemas aumenta aún más su complejidad. Las poblaciones de plagas fluctúan con las condiciones climáticas cambiantes, los aportes de los agricultores y la resistencia del huésped. Además, las plagas pueden ser muy móviles, especialmente con ayuda de los humanos. Esta facilidad de movilidad, junto con condiciones favorables, puede engendrar epidemias generalizadas, con graves efectos en las poblaciones de cultivos huéspedes. La reproducción rápida en patógenos de plantas puede aumentar los efectos de otros cambios provocados por cambios en el clima o una mayor variabilidad climática (ver Garrett et al. 2011 para una revisión).

Mezclas, Líneas Múltiples y Diferentes Variedades en Diferentes Parcelas en la Misma Finca

En muchas regiones del mundo, los agricultores prefieren cultivar mezclas o pequeñas parcelas de diferentes variedades por separado en la misma finca, ya que pueden proporcionar resistencia a las plagas y enfermedades locales,

que, a su vez, puede mejorar la estabilidad del rendimiento. En un ejemplo reciente, Mulumba et al. (2012) reportaron un importante proyecto de investigación para investigar el uso por parte de los agricultores de la diversidad de variedades tradicionales en banano (*Musa* spp.) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) como una opción para controlar el daño de plagas (gorgojo y mosca del frijol) y enfermedades (sigatoka negra, nematodos, antracnosis y mancha foliar angular) en Uganda. En los sitios con mayor incidencia de enfermedades, los hogares con mayores niveles de diversidad de variedades tenían menos daño a sus cultivos permanentes. La diversidad dentro del cultivo (a través de mezclas de variedades, líneas múltiples o el uso de diferentes variedades en diferentes parcelas en la misma finca) puede reducir el daño por plagas y enfermedades. Tooker y Frank (2012) revisaron el efecto de la diversidad genotípica en una variedad de sistemas naturales y de cultivos en cuanto a la respuesta a plagas o patógenos y la productividad de la planta. Concluyeron que aumentar la diversidad de genotipos en los campos de cultivo es muy prometedor para disminuir la abundancia de plagas y aumentar el rendimiento de los cultivos. Más recientemente, Ssekandi et al. (2015) demostraron para el frijol común que una mezcla varietal aleatoria sistemática mejorada con al menos el 50 por ciento de una variedad tradicional popular resistente redujo significativamente el daño de la mosca del frijol en la susceptible variedad popular moderna.

El objetivo principal de la diversidad de variedades de cultivos dentro de un conjunto único de parcelas pequeñas para el manejo de plagas y enfermedades es reducir el tamaño de la población de la plaga o enfermedad y entorpecer la propagación de plagas y patógenos. Tales mezclas varietales pueden reducir la gravedad de la enfermedad porque las mezclas de huéspedes pueden restringir la diseminación de la enfermedad considerablemente en relación con la media de sus componentes, siempre que los componentes difieran en su susceptibilidad. En más de 100 estudios, Wolfe (1985) encontró que la tasa de infección en el componente más susceptible en mezclas binarias era solo el 25 por ciento de la tasa de infección en parcelas puras. Desde entonces, las mezclas varietales se han experimentado ampliamente en la agricultura orgánica (Dawson y Goldringer 2012) y en las estrategias de mejora evolutiva (Döring et al. 2011).

Mecanismos que Afectan la Incidencia de Enfermedades

En mezclas y poblaciones genéticamente variables, es posible que varios mecanismos afecten la incidencia o gravedad de la enfermedad (generalmente una reducción) en las poblaciones de huéspedes (Wolfe y Finckh 1997). Siete

de estos mecanismos que pueden aplicarse a enfermedades aerotransportadas, transmitidas por salpicaduras o transportadas por el suelo se enumeran a continuación:

1. La mayor distancia entre las plantas de los genotipos más susceptibles en la población reduce la densidad de esporas y la probabilidad de que una espora virulenta llegue a un huésped.
2. Las plantas resistentes actúan como barreras en la propagación de patógenos.
3. La selección en la población huésped de los genotipos más competitivos o más resistentes puede reducir la gravedad general de la enfermedad.
4. El aumento de la diversidad de la población de patógenos per se puede disminuir la incidencia y el daño de la enfermedad (Dileone y Mundt 1994; Milgroom et al. 2008).
5. Cuando se producen patotipos especializados para genotipos de hospederos, las reacciones de resistencia inducidas por esporas avirulentas pueden prevenir o retrasar la infección por esporas virulentas adyacentes (por ejemplo, para el mildiú polvoriento en mezclas de cebada [Chin y Wolfe 1984]).
6. Las interacciones entre las razas de patógenos (por ejemplo, la competencia por el tejido disponible del huésped) pueden reducir la gravedad de la enfermedad.
7. Los efectos de barrera son recíprocos, es decir, las plantas de un genotipo huésped actuarán como una barrera para el patógeno especializado en un genotipo diferente, y las plantas de este último actuarán como una barrera para el patógeno especializado en el primer genotipo.

Los primeros cuatro mecanismos se aplican a mezclas y poblaciones variables. Los tres últimos se aplican a sistemas huésped-patógeno con resistencia específica.

Las mezclas de genotipos del hospedero que varían en respuesta a un rango de enfermedades de las plantas tienden a mostrar una respuesta global a esas enfermedades que se correlaciona con los niveles de la enfermedad en los componentes más resistentes de la población. Además, cuando los genotipos particulares se ven afectados por la enfermedad, los rendimientos de los otros individuos más resistentes generalmente los compensan.

Análisis del Manejo de la Diversidad en la Dinámica Agricultor-Cultivo-Patógeno-Ambiente

El conocimiento de cómo el manejo de la diversidad genética en las fincas puede permitir a los agricultores lidiar con el estrés biótico puede analizarse en términos del paradigma de patógenos de las plantas del triángulo de la enfermedad (Scholthof 2007). El triángulo de la enfermedad es una herramienta importante para comprender la dinámica de las enfermedades infecciosas en las poblaciones. La enfermedad ocurre cuando el organismo causal o patógeno se encuentra con el huésped adecuado en condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad.

El concepto de triángulo enfatiza la importancia de los tres elementos y, de hecho, las interacciones por pares entre ellos. La manipulación de al menos un lado del triángulo puede reducir el riesgo de infección y controlar la enfermedad. En el caso del manejo de la diversidad por parte de los agricultores para hacer frente al estrés biótico, reconocemos que el agricultor desempeña un papel central en las decisiones que afectan los tres ejes. El protocolo de investigación de Mulumba et al. (2012) tiene como objetivo probar y documentar este rol y su efectividad e incluye los siguientes pasos:

- Paso 1: Diagnósticos participativos a través de discusiones de grupos focales estandarizados y encuestas de hogares para recopilar información de los agricultores sobre la diversidad de variedades de los cultivos y las prácticas de manejo de enfermedades.
- Paso 2: Observación *in situ* (en los campos de los agricultores) para cuantificar la infestación de plagas y enfermedades a través de transectos y anotando la incidencia real, y la relación del daño de la enfermedad con la cantidad de diversidad sembrada. Esta observación debe llevarse a cabo durante las entrevistas en los hogares en los momentos de la incidencia de plagas y enfermedades.
- Paso 3: Evaluación en la finca de la resistencia de las variedades tradicionales bajo las condiciones de los agricultores. Prueba de muestras de variedades de agricultores junto con un conjunto de variedades diferenciales estándar.
- Paso 4: Colección de aislados para estimar la diversidad de patógenos y plagas y para prepararse para experimentos en la estación y ensayos de laboratorio.
- Paso 5: Pruebas de replicación en estaciones experimentales para que los socios puedan seguir las epidemias a lo largo del tiempo (respuestas de plántulas, progreso de la enfermedad, efecto sobre el rendimiento).

Paso 6: Experimentos en casas de cultivo para evaluar las interacciones huésped-plaga o huésped-patógeno en experimentos controlados y para medir la diversidad de interacciones y evaluar el impacto de la diversidad en la vulnerabilidad.

Estimación del Daño de Agentes Bióticos en el Campo

La vinculación de los niveles de diversidad varietal con el daño de plagas y enfermedades a nivel de campo requiere mediciones de la gravedad del daño en el campo para cada variedad que el agricultor está cultivando (Paso 2 anterior). El muestreo es mixto, sistemático y aleatorio, por lo que los puntajes son representativos de cada finca. Cada variedad presente debe puntuarse por el daño causado por cada enfermedad o plaga objetivo para cada variedad presente, la estimación en cada caso es el promedio de 30 observaciones para una o más plantas individuales.

El método de zigzag para obtener una muestra apropiada es caminar en un camino en zigzag a través del campo desde un punto de partida de un extremo al otro de la parcela, cubriendo toda la siembra de esa variedad, cruzando diferentes hileras, de elevación alta a baja y evitando los bordes, como se muestra en la Figura 7.1a. Si caminar en zigzag a través del campo causara mucho daño al cultivo, entonces debe entrar a la parcela por diferentes puntos a lo largo del trazado como se muestra en la Figura 7.1b. Es importante que el mapeo posterior tome una lectura del GPS cuando el evaluador está en el medio de cada parcela.

En 10 puntos aleatorios a lo largo de este camino, se realizan tres observaciones: una a la izquierda, una a la derecha y una al frente. Una o más plantas en cada una de estas áreas se clasifican utilizando la escala de calificación provista para la enfermedad o plaga objetivo, dando un total de 30 puntos para cada variedad o mezcla de variedades cultivadas juntas en una parcela. Si la variedad se cultiva en varias parcelas, se usa una cantidad menor de puntos de muestreo en cada parcela para proporcionar 30 observaciones. De las 30 observaciones, una calificación en una escala de 0 a 100 puede calcularse según la incidencia (porcentaje de plantas, ramas u hojas afectadas) multiplicado por un puntaje de gravedad expresado como una proporción. La estimación del índice de daños a los hogares (HDI) se basa en ponderar el puntaje de daño para cada variedad con el porcentaje de área de la finca cubierta por esa variedad. Luego, se puede comparar el HDI con los valores de riqueza y similaridad de hogares discutidos en el Capítulo 4. La varianza en los niveles de daño también se compara a través de los hogares que cultivan un número diferente de variedades y en el paisaje comunitario a través de las comunidades o los años de muestreo.

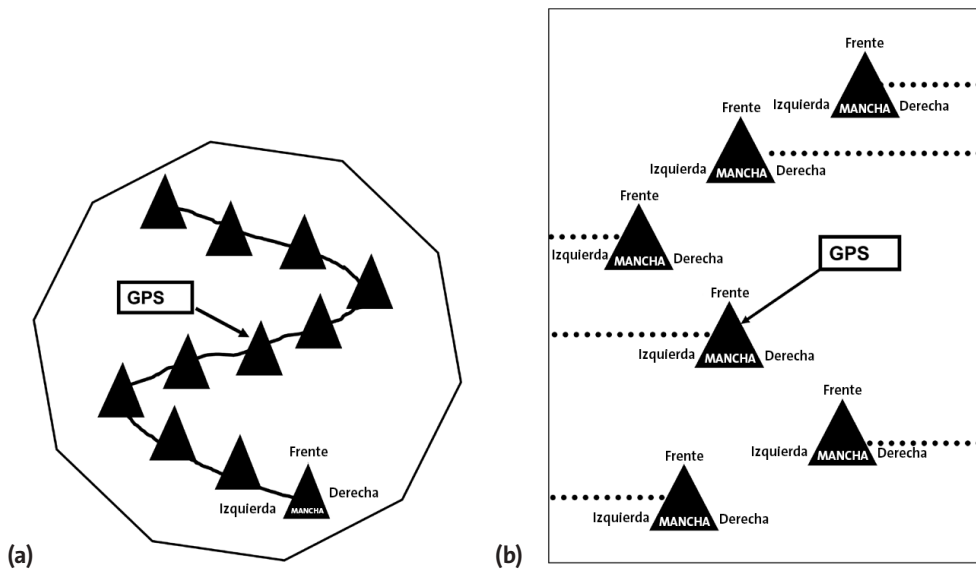


Figura 7.1. Diagramas esquemáticos para recopilar observaciones sobre el daño de plagas y enfermedades en las variedades de los cultivos a nivel del campo del agricultor: 7.1a muestra un patrón Z para muestrear 10 puntos, con tres observaciones en cada punto; 7.1b es un diseño modificado para el daño mínimo al ingresar a los campos de un agricultor, que muestra cómo se alcanzan las manchas en el patrón Z al ingresar al campo desde los lados de la parcela. (De Jarvis et al. 2012, cortesía de Bioversity International).

Diversidad Genética, Daño y Vulnerabilidad Genética

Muchas variables son útiles para caracterizar los sistemas que interactúan en el tiempo; la interacción entre el huésped y la plaga en ambientes específicos es uno de esos sistemas. Aquí nos concentramos en tres conceptos clave aplicables en los campos de los agricultores: la diversidad genética, el daño (de la enfermedad) y la vulnerabilidad genética, y sus interrelaciones. La Figura 7.2 es un diagrama de diversidad-daño-vulnerabilidad (DDV), que es una muestra conceptual de las relaciones entre los conceptos clave. Su intención es proporcionar un marco para construir hipótesis y comparar en varios tipos de ambientes y sistemas de cultivo. A continuación, hay una descripción de los ejes del diagrama DDV en más detalle y un ejemplo numérico simple hipotético de medidas de diversidad para un sistema idealizado de interacción huésped-patógeno. Los agricultores elegirán una estrategia de diversidad que ofrezca la máxima productividad o una mínima pérdida de enfermedades y una vulnerabilidad mínima.

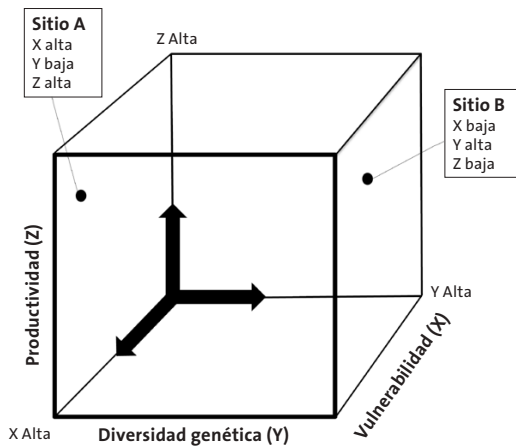


Figura 7.2. Marco tridimensional para la relación entre la diversidad genética, el daño actual de la enfermedad o productividad y la vulnerabilidad genética: Eje X = vulnerabilidad (probabilidad de futuras pérdidas de producción) medido por niveles de homogeneidad genética, baja resiliencia, mutación, migración; Eje Y = diversidad genética medida como riqueza, uniformidad y divergencia; Eje Z = productividad medida como ganancias económicas, sociales y culturales (de Brown 2012, cortesía de Bioversity International).

Diagrama Diversidad-Daño-Vulnerabilidad (DDV)

El diagrama DDV es una construcción tridimensional, cuyos tres ejes se nombran aquí primero y luego se describen en las siguientes secciones tituladas. Convencionalmente, la representación gráfica tridimensional ejecuta el eje Y horizontal, el eje Z vertical y la diagonal del eje X, o imaginada como vertical al plano de la página. En este caso, las tres dimensiones son los conceptos: vulnerabilidad genética, diversidad genética y daño. El eje X puede ser para cualquiera de las medidas de vulnerabilidad genética, o riesgo de daño futuro, que se analizan a continuación. El segundo eje (o Y) es cualquiera de las medidas de diversidad genética (por ejemplo, riqueza, similaridad, etc.). Esta es la principal variable independiente que los agricultores manipularán a través de su elección de la variedad y fuente de semilla. El tercer (o Z) eje es la medida del daño que surge de las presiones bióticas en el campo o, por el contrario, y más simplemente, una medida del rendimiento o la productividad. Un punto en el espacio 3D representa los valores en cada eje medido para una finca, un campo o una comunidad en particular y un cultivo hospedero específico y la enfermedad o la presión de plagas. Un mapeo de los sistemas de estudio conduce a la detección y prueba de las relaciones, y permite la agrupación de los puntos en atributos (como el tipo de cultivos, los sistemas de reproducción particulares y los tipos de patógenos).

Eje de Diversidad Genética

El eje de diversidad genética (Y) ha sido ampliamente considerado en otros lugares (por ejemplo, Jarvis et al. 2008, ver el Capítulo 4), y la diversidad

se puede medir de varias maneras. La riqueza del nombre de la variedad, la similitud y la divergencia entre las fincas son medidas básicas con varias ventajas (Jarvis et al. 2008, Capítulo 5). El índice de Nei de la diversidad genética (que es el complemento del índice de dominancia de Simpson) combina las nociones de riqueza y uniformidad, pero da mayor importancia a la regularidad de la frecuencia de los tipos más comunes. Sherwin et al. (2006) han argumentado que la información del índice Shannon-Weaver es una estadística de diversidad más útil, particularmente en datos jerárquicos, con la partición de la diversidad en componentes dentro del campo, entre fincas, dentro de comunidades y entre comunidades.

Daño o Pérdida del Eje de Productividad

El eje de productividad (o daño) (Z) presenta desafíos en la incorporación de datos y su metanálisis. Las escalas a través de diferentes medidas en diferentes sistemas de cultivo pueden ser muy heterogéneas, desde tipos de respuesta a enfermedades especializadas definidas para sistemas específicos (por ejemplo, para la expresión de síntomas de roya) hasta la medición de rasgos morfológicos. Los métodos de escalonamiento multidimensional, como el análisis de componentes principales, ofrecen formas de combinar muchas variables en menos índices (consulte el Capítulo 6). Para todas las medidas del daño, la clave es que la escala sea consistente en la dirección, de modo que los puntajes más altos indican más enfermedad, más daño, menos rendimiento o mayor adversidad como resultado de la enfermedad. Hemos descrito anteriormente cómo obtener puntajes confiables de daño en el campo. Otras variables que pertenecen a este eje incluyen medidas de impacto económico o social (capítulos 8 y 9) y el reemplazo de plaguicidas por diversidad como un medio de reducir los daños (discutido en el Capítulo 9).

Las variables que miden el daño (enfermedad) de patógenos, parásitos o plagas en la finca (la “presión de la plaga”) incluyen la presencia o prevalencia de plagas específicas en un área, el daño y la pérdida de rendimiento como resultado, la respuesta a aplicación de plaguicidas, y la respuesta de los genotipos del huésped comprobador de resistencia conocida. Los métodos básicos para esta evaluación son el monitoreo del impacto de enfermedades o plagas incluyendo la pérdida de rendimiento, la toma de muestras de plantas hospederas y plagas para pruebas de respuesta a biotipos locales, comparando hospederos locales y exóticos para la diversidad en su respuesta al biotipo, y evaluar la diversidad de los rasgos que afectan la respuesta del huésped (por ejemplo, morfología) y la diversidad de los marcadores neutros.

Eje de Vulnerabilidad Genética

El tercer (X) eje de vulnerabilidad genética es la dimensión más difícil de cuantificar (Brown 2008). La vulnerabilidad genética es “la condición que resulta cuando un cultivo o especie de planta es genética y uniformemente susceptible a una plaga, patógeno o riesgo ambiental” (Consejo Nacional de Investigación 1993). La vulnerabilidad genética se centra en el potencial de daños futuros en lugar de en el daño real en el cultivo actual. Las poblaciones de una especie de cultivo son “genéticamente vulnerables” si carecen de la diversidad genética que les permita resistir un nuevo desafío biótico o un estrés abiótico que probablemente se intensifique, particularmente cuando dicha diversidad genética adaptativa está disponible en otros lugares. Por lo tanto, el concepto de vulnerabilidad genética es más restringido que la vulnerabilidad sola. Para ser “genética”, la diversidad adaptativa o resistente que falta en la actual localidad debe existir en otros lugares. La vulnerabilidad genética surge de una causa genética (falta de diversidad) y tiene remedios genéticos. Un caso claro de alta vulnerabilidad genética es cuando áreas enteras son sembradas con un único genotipo (por ejemplo, un oasis que tiene solo un clon de palma datilera, muy apreciado por su sabor o rendimiento, pero susceptible a la enfermedad, mientras que otras variedades menos apreciadas podrían haber sido plantadas).

Construir una medida de vulnerabilidad genética es difícil porque un verdadero valor requeriría un conocimiento preciso de los ambientes futuros. La Tabla 7.2 describe las posibles medidas y sus suposiciones o bases conceptuales, basadas en distintos tipos de vulnerabilidad genética (Brown 2008). El primer tipo es casi una tautología simple y afirma que la uniformidad genética per se es probable que conduzca a la pérdida severa de los cultivos cuando surge un nuevo desafío ambiental. Para este concepto, la riqueza y la diversidad de las variedades son medidas generales. Alternativamente, las estimaciones de diversidad podrían basarse en la variación en las secuencias del gen marcador. El concepto se basa en una correlación de los argumentos de variación y probabilidad, ya que una mayor diversidad genética para genotipos o variedades de locus múltiples es, en promedio, más probable que conlleve diversidad genética para satisfacer específicas necesidades futuras (como los genes de resistencia). Una puntuación alta en riqueza significa que hay más genotipos o variedades presentes en el sistema local, incluidos todos los que actualmente tienen frecuencias insignificantes. Representan una diversidad dispersa disponible para una rápida multiplicación y despliegue en los cultivos siguientes o posteriores. Por otro lado, la similaridad mide la diversidad ya desplegada a la vez y en una escala específica (dentro de los campos, dentro de una finca o dentro de una aldea). Un puntaje alto para

TABLA 7.2. CONCEPTOS E INDICADORES DE VULNERABILIDAD GENÉTICA (ADAPTADO DE BROWN [2008]).

<i>Concepto de vulnerabilidad genética</i>	<i>Medida</i>
<i>Similaridad genética:</i> en el área crece una o muy pocas variedades del cultivo, y todas estas variedades comparten una estructura de resistencia muy similar.	<ul style="list-style-type: none"> • Riqueza o similaridad de la diversidad de las variedades. • Diversidad de las diferentes resistencias genéticas.
<i>Vulnerabilidad ambiental:</i> las variedades actuales en un área, aunque adaptadas al ambiente actual de esa área, carecen de la diversidad genética que las adaptaría a las catástrofes ambientales o al estrés que aumenta con el tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad relativa de las variedades locales cuando se cultivan en gradientes de aumento de estrés.
<i>Vulnerabilidad mutacional:</i> el cultivo sería susceptible a un nuevo patotipo mutante del patógeno.	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de patotipos no locales o aislados distintos que pueden causar enfermedades.

similaridad implica la diversidad actualmente utilizada, en la resistencia a un amplio espectro de patotipos de enfermedades fúngicas, o en la tolerancia de un rango de tipos de suelo.

Si una medida de la diversidad genética, como la riqueza de variedades, también se utiliza como una medida de vulnerabilidad genética, no tenemos una prueba independiente de la relación entre la diversidad y la vulnerabilidad. Sin embargo, es posible basar la medida de diversidad en marcadores neutros (ver Capítulo 5) o clases genéticas generales (por ejemplo, variedades) y la medida de vulnerabilidad en datos que describen la interacción biótica.

Otra perspectiva sobre el despliegue de la diversidad y su impacto sobre la vulnerabilidad es considerar la ubicación de la diversidad en el espacio. La vulnerabilidad ambiental ocurre cuando el cultivo está en un área emergente de estrés (como una zona de creciente aridez o salinidad) pero la diversidad que lo adaptaría al nuevo estrés no está disponible para los agricultores a nivel local.

Las presiones bióticas aumentan las posibilidades de pérdida futura a través del cambio genético o la migración en poblaciones de patógenos o plagas. La susceptibilidad puede surgir a través de mutaciones de virulencia en el patógeno que son nuevas para la población. Esto denota vulnerabilidad mutacional, que se mide como la probabilidad promedio de infección, o el nivel promedio del daño de la enfermedad causado por una muestra uniforme de aislados no locales o una cepa de enfermedad cuando se prueba en las variedades locales. (Un aislado es un cultivo o subpoblación de un microorganismo separado de su población

original y mantenido en algún tipo de circunstancia controlada). Los puntos separados para cada aislamiento no son ponderados, ya que se desconoce de antemano qué patotipo o espectro de virulencia nueva tendrá la mutación.

La última forma en que la productividad de un área de cultivo está amenazada es cuando una nueva cepa de enfermedad o especie de plaga migra a esa área y la población local es susceptible a ella. Distinguimos esto como vulnerabilidad migratoria, que se mide a nivel de finca o comunidad como la probabilidad de éxito en causar daños que tendrá un migrante aleatorio que ingrese al área. En un contexto más amplio, Stukenbrock y McDonald (2008) distinguen cuatro modelos evolutivos por los cuales nuevos patógenos de plantas han emergido en agroecosistemas en escalas de tiempo muy diferentes y enfatizan la importancia de la diversidad genética en la lucha contra tales eventos futuros. El enfoque aquí es en escalas espaciales locales y escalas de tiempo más cortas. Por supuesto, no sabemos con anticipación qué virulencia del patógeno o raza de plaga llegará al área. En su lugar, intentamos cálculos aproximados con fines comparativos utilizando el conocimiento existente de la distribución geográfica actual de fuentes amenazantes del patógeno o la plaga, ponderado inversamente por la distancia y las probables migraciones. Se dispone de estimaciones alternativas de vulnerabilidad migratoria si una muestra de la población local en cuestión se prueba en una serie de áreas propensas a enfermedades y la puntuación se basa en la proporción de plantas dañadas. La siguiente sección tiene un ejemplo hipotético de variedades huéspedes probadas contra diferentes aislados de una enfermedad.

Sistemas de Interacción Genéticamente Definidos

En este ejemplo hipotético simple, se prueba una muestra de cinco genotipos o variedades de hospederos en situaciones controladas para la respuesta a la infección por cinco aislados separados de enfermedad o infestación provocados por cinco fuentes de plagas. Además, la respuesta de los huéspedes a las pruebas de campo aparece como la fila F. En este caso, resumimos la respuesta como una variable de dos estados; pero los principios pueden extenderse a variables categóricas o cuantitativas más complejas con herramientas para agrupar en clases.

Los cinco aislados de la enfermedad se dividen en tres tipos de respuesta reconocidos por esta muestra de hospederos (SSSSS, RRRRS, RRRSS), con frecuencias en la muestra de 0.4, 0.4 y 0.2. Por lo tanto, la diversidad de riqueza de los biotipos de plagas es 3 y la diversidad de la similaridad de Nei es $1 - (0.4)^2 - (0.4)^2 - (0.2)^2 = 0.64$. Las estadísticas para la respuesta del hospedero son una riqueza de tres tipos (SSRRR, SSRRS, SSSSS) y la uniformidad de Nei es

de 0.56. Se deduce que hay nueve tipos de interacciones huésped-patógeno definidas en la tabla. La frecuencia de cada tipo oscila (6, 6, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 1) en un total de 25 ($= 5 \times 5$) pruebas, y la diversidad de la similaridad de Nei es 0.8416 (la que en esta tabla completa es igual a $1 - [1 - 0.56] \times [1 - 0.64]$) (figura 7.3).

Relaciones entre las variables DDV

Habiendo construido nuestro marco conceptual para el análisis de la evolución de la diversidad genética y los estreses bióticos, ahora podemos considerar las relaciones entre los tres ejes clave y las preguntas de investigación de interés.

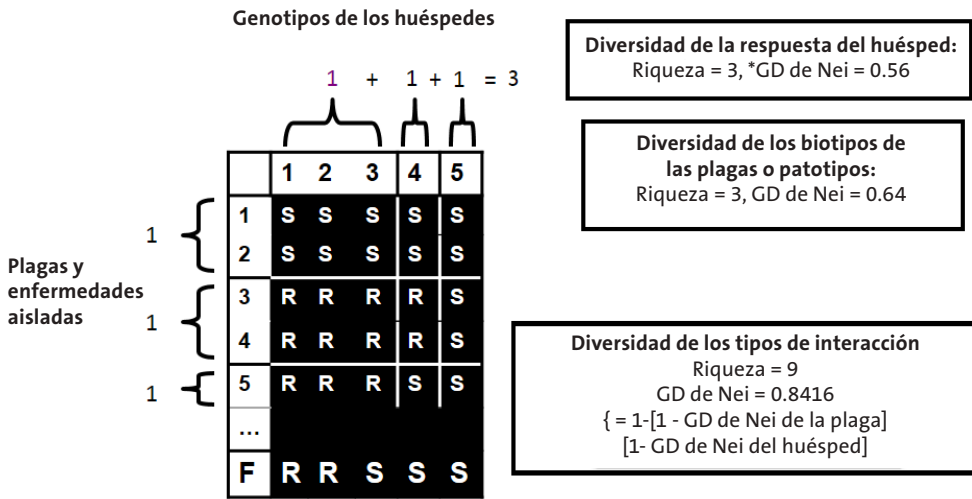
Diversidad: Daño

Cómo el daño se relaciona con la diversidad es fundamental para comprender la diversidad de cultivos tradicionales en su ambiente biótico. Las siguientes son algunas preguntas guías de investigación en respuesta a las presiones bióticas, que son genéticamente diversas en el ambiente del hogar:

- ¿Cuál es el rendimiento de las variedades y genotipos locales en relación con el de los cultivares modernos o exóticos?
- ¿Cuál es el patrón general de relación entre el daño biótico sufrido y la diversidad de variedades, en los campos individuales de los agricultores y en las comunidades?
- Con más diversidad, existe simplemente un promedio de daño, o un beneficio agregado sobre la media de los componentes; o de hecho, ¿un costo para la diversidad en términos de la resistencia reducida?
- ¿Existen diferencias en las relaciones para los tipos de cultivos o tipos de amenazas bióticas?
- En sistemas que se pueden cuantificar de manera similar al ejemplo simple, ¿cuál es la relación entre el daño y las diversas medidas de diversidad?

Diversidad: Vulnerabilidad Genética

Como ya se señaló, la relación entre estos ejes es difícil de analizar si la diversidad genética en sí misma es también la medida de la vulnerabilidad. Sin embargo, observamos que, de los tres ejes, los agricultores pueden influir más en la dimensión de la diversidad mediante el uso de la diversidad varietal, es decir, el número (riqueza) de variedades cultivadas y la similaridad calculada en el área sembrada para cada variedad. Claramente, existe la necesidad de investigar el



**La diversidad genética de Nei (GD de Nei) es el complemento del índice de Simpson de similitud/dominancia (GD de Nei alto = frecuencia más pareja de tipos, GD de Nei bajo = dominancia de pocos tipos)*

Figura 7.3. Matriz para un sistema de interacción genéticamente definido (de Brown 2012, cortesía de Bioversity International)

presunto beneficio de una mayor diversidad para reducir la vulnerabilidad. Por ejemplo, el uso de mezclas de cultivos varietales o diversos conjuntos de variedades de un cultivo abre la pregunta de su composición óptima (riqueza y similitud de los componentes), el diseño de siembra (escalonados en el tiempo, al azar o intercalados, o incluso parcelas separadas y pequeños campos), el cultivo y manejo de la cosecha.

¿Qué tipos de sistemas muestran una relación entre la diversidad y la vulnerabilidad del beneficio para los agricultores?

La cuestión de la estrategia de la diversidad genética (variedad) y la mitigación de la vulnerabilidad tienen un análogo interesante en la “teoría del portafolio” para el manejo de inversiones. La pregunta análoga de interés es la asignación óptima de las inversiones entre las acciones de la compañía (análoga a los diferentes componentes varietales de una estrategia mixta) para obtener el máximo rendimiento total o la máxima capacidad de recuperación. Un resultado fundamental de esta teoría se centra en la matriz de varianza-covarianza del rendimiento del genotipo (acción) en varios ambientes (en el tiempo), ponderados por su probabilidad de ocurrencia. Una mayor resiliencia del rendimiento (vulnerabilidad minimizada) ocurre cuando prevalecen las correlaciones negativas, es decir, cuando diferentes “inversiones” en todo el portafolio funcionan de manera diferente en respuesta a diferentes desafíos en el tiempo en un mercado

en evolución. En el caso de la diversidad varietal, la vulnerabilidad minimizada ocurre cuando la “correlación beneficiosa” neta (definida como la correlación negativa menos la positiva) tiene un gran valor absoluto.

Daño: Vulnerabilidad Genética

La relación entre el daño en el cultivo actual y las posibles pérdidas futuras posiblemente afecten la toma de decisiones sobre la diversidad de los agricultores. En poblaciones hospederas gravemente dañadas que albergan grandes poblaciones de patógenos, la creciente carga de inóculo puede aumentar la posibilidad de desarrollar nuevos biotipos de virulencia. Por lo tanto, las preguntas de interés incluyen:

- ¿Cómo responden los agricultores al daño de los cultivos por la enfermedad? ¿Dispersarán, cambiarán variedades, alterarán las prácticas de cultivo o simplemente soportarán la pérdida?
- ¿El daño en la cosecha actual pronostica un daño mayor mañana y por lo tanto influye en el agricultor para hacer un cambio en las prácticas de manejo?

Conclusiones

Este capítulo ha discutido casos y métodos sobre cómo se usa la diversidad genética de los cultivos para manejar los estreses abióticos y bióticos en el ambiente agrícola. Por supuesto, tal concepto podría formar parte de un esquema integrado de manejo de plagas. Sin embargo, también se sabe que el enfoque de usar diversidad genética de cultivos no es apropiado en todas las circunstancias. El desafío es determinar cuándo, dónde y cómo la diversidad genética de los cultivos puede desempeñar, o está jugando, un papel clave en el manejo de las presiones ambientales perjudiciales en los campos de los agricultores. A esta determinación debemos agregar una comprensión del ambiente sociocultural, económico y político que afecta las decisiones de los agricultores, por lo que acudiremos a los siguientes capítulos (Capítulos 8, 9 y 10). Estos formarán la base de las herramientas y los procedimientos en la toma de decisiones de los agricultores, investigadores y trabajadores de desarrollo. Permiten una comparación de “estrategias ricas en diversidad” con otros métodos disponibles de manejo de cultivos para garantizar una productividad sostenible en condiciones de estrés (véase el Capítulo 12).

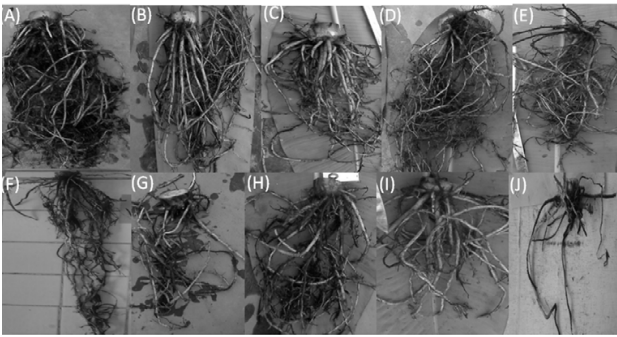


Ilustración 8. En cualquier campo, una amplia gama de factores de estrés climático, edáfico y biótico pueden estar en niveles que afectan el crecimiento de la planta y la productividad de los cultivos. Muchas variedades tradicionales evolucionan en campos que a menudo están sujetos a múltiples estreses. Arriba a la izquierda: oasis de palmas datílicas en Marruecos. Los agricultores eligen las variedades de fecha precoz para limitar el período de exposición al calor extremo, por lo tanto, manejan la variación genética para evitar el estrés por calor en lugar de la tolerancia. Arriba a la derecha: variedades tradicionales de frijol común trepadoras y arbustivas que se han extraído de tres sitios en Uganda para cultivar juntas y evaluar su resistencia a la mancha angular de la hoja (*Phaeoisariopsis griseola*) y la antracnosis. Abajo a la izquierda: diversidad del daño del nemátodo (*Radopholus similis*) en las variedades de *Musa* en Ecuador. Las etiquetas se refieren a diferentes variedades de plátano (*Musa* spp.): (A) Dominio Hartón; (B) Dominicó; (C) Gros Michael; (D) Orito; (E) Barragante; (F) Dominicó Verde; (G) Limeño; (H) Dominicó Negro; (I) Guineo de Jardín; (J) Williams. Abajo a la derecha: experimento de mezcla varietal de maíz del condado de Zhaojue, provincia de Sichuan, China, donde se cultiva una variedad moderna junto con tres variedades tradicionales para el manejo contra la enfermedad del tizón foliar del norte. Créditos fotográficos: D. Jarvis (arriba a la izquierda), Joyce Adokorach (arriba a la derecha), D. Vero/D. Vaca, C. Suárez-Capello/J. López (abajo a la izquierda), H. X. Peng (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 8

¿Quiénes son los Administradores de la Diversidad?

Caracterización de los Ambientes Sociales, Culturales y Económicos

Al final de este capítulo, el lector debe tener un conocimiento básico de:

- Cómo caracterizar a los agricultores y las comunidades agrícolas que mantienen la diversidad dentro de su ambiente social, cultural y económico.
- Métodos para analizar cómo determinados roles sociales, culturales y económicos conforman los patrones de diversidad genética de los cultivos entre los agricultores y sus hogares, redes o asociaciones formales de agricultores y comunidades agrícolas.

Los Roles de los Agricultores y el Manejo de la Diversidad de los Cultivos

Las decisiones de los agricultores sobre la diversidad de los cultivos están definidas por sus determinados roles sociales, culturales y económicos en sus comunidades y sus vidas. Estos roles afectan la extensión y el tipo de diversidad de los cultivos que mantienen los agricultores al darles forma de acceso a los conocimientos y recursos, y sus acciones posteriores. La investigación social explora cómo las personas se agrupan e interactúan en instituciones y se organizan, formal e informalmente, para la acción colectiva. La cultura se puede definir como una expresión de la interacción en el tiempo entre las comunidades y sus entornos naturales, históricos y sociales. Estos entornos no solo satisfacen las necesidades materiales de alimentos, forraje, agua, medicinas y otros recursos

naturales de los pueblos, sino que también proporcionan las bases para valores éticos, conceptos de espacios sagrados, experiencias estéticas e identidades personales o grupales derivadas del entorno local (Kassam 2009). La investigación cultural se centra en las costumbres, creencias y valores a través de los cuales una sociedad o grupo se define a sí mismo. La investigación económica aborda las decisiones que toman las personas con respecto a la asignación y el uso de los recursos, en función de los valores comerciales y no comerciales. Analizar la relevancia de determinados roles sociales, culturales y económicos en el manejo de los cultivos y variedades ayudará a comprender los sistemas de manejo de los cultivos y variedades y, por lo tanto, ayudará a guiar el diseño y la implementación de programas de conservación para la diversidad en las fincas. Las características a considerar incluyen edad, género, parentesco, riqueza relativa, educación, condición social, etnia e idioma. Una caracterización de las relaciones sociales y el capital social también es fundamental.

Como parte de cualquier ejercicio de diagnóstico, las características anteriores se estudian en diferentes escalas espaciales, incluida la unidad de producción agrícola (que a menudo, pero no siempre, es un hogar agrícola), grupos de agricultores (que abarcan redes sociales y asociaciones más formales) y comunidades agrícolas. Una razón principal para enfatizar un rango de escalas espaciales es que las diferencias a menudo se expresan más fuertemente en la variación entre grupos y comunidades en lugar de dentro de ellas. Es importante para el diseño del estudio (y la estructura del muestreo, si se emplean métodos cuantitativos) permitir tales comparaciones.

Caracterización de los Custodios y Administradores de la Diversidad

Las siguientes son algunas de las características sociales que son más útiles para comprender y analizar el manejo de la diversidad de los cultivos por parte de los agricultores.

Edad

El conocimiento sobre la diversidad de los cultivos y los entornos agrícolas locales a menudo lo poseen grupos de edad específica o cohortes en una comunidad. El conocimiento indígena o tradicional sobre la diversidad genética de los cultivos a menudo se desarrolla más plenamente entre los miembros más antiguos de una comunidad, aunque las generaciones más jóvenes también pueden tener un conocimiento único de los cultivos y las plantas silvestres asociadas.

Los agricultores más jóvenes pueden tener preferencias ideológicas o personales que difieren de las de los agricultores de las cohortes más antiguas, lo que lleva a decisiones y elecciones diferentes por parte de los agricultores que afectan la diversidad de sus sistemas agrícolas.

Género

El género se refiere a los roles y las responsabilidades sociales de hombres y mujeres en un contexto cultural específico, que se aprenden y cambian y pueden variar ampliamente dentro de las culturas y entre ellas. El género no es lo mismo que el sexo, que se refiere a las diferencias entre hombres y mujeres que son biológicas y fijas. Los roles de género son conductas aprendidas en una sociedad, basadas en el condicionamiento social sobre las actividades que se consideran apropiadas para los hombres y aquellas que son apropiadas para las mujeres. Los roles y las relaciones de género cambian en respuesta a las cambiantes condiciones sociales.

Las mujeres y los hombres en muchas culturas poseen conocimientos exclusivos sobre diferentes cultivos o incluso diferentes variedades tradicionales dentro de una especie, lo que hace que el género sea una categoría social particularmente importante para comprender la diversidad genética de los cultivos y su manejo en la finca (cuadro 8.1). Las diferencias en el conocimiento o las responsabilidades sobre los cultivos pueden ser el resultado de la variación en los usos, preferencias, propiedad o regímenes laborales asociados con hombres y mujeres. Los diferentes espacios de producción, ya sea un huerto cerca de la casa o un campo o huerto más grande en la misma propiedad, pueden estar bajo la responsabilidad de miembros de la familia de diferente sexo. Dichas divisiones pueden aplicarse tanto a los productos cosechados del cultivo para la venta o el consumo, como a las existencias de semillas seleccionadas para la resiembra. Debido a la naturaleza de género de los conocimientos y las prácticas de manejo sobre los recursos genéticos de los cultivos, los datos se recopilan en forma desglosada por hombres y mujeres. La desagregación de datos debe garantizar una muestra equilibrada; por ejemplo, para una encuesta de 60 hogares en una comunidad se entrevistaría a un hombre adulto en 30 de los hogares (50 por ciento de la muestra), y en el otro 50 por ciento de los hogares se encuestaría a una mujer adulta, independientemente del género del jefe de cada hogar.

Parentesco

Parentesco es la relación socialmente reconocida entre individuos en una sociedad que están relacionados biológicamente, o que reciben el estatus de pa-

Cuadro 8.1. Ejemplos de Género y Espacios de Producción

Yucatán, México

En la región de Yucatán en México, la milpa o campo agrícola es considerada como el centro de la esfera de influencia de los hombres, y son principalmente los hombres quienes manejan los flujos de semillas de los cultivos sembrados allí, particularmente maíz, frijoles y calabaza. Sin embargo, cuando los mismos cultivos se siembran en huertos familiares y en lotes en el pueblo, las mujeres suelen desempeñar un papel destacado en la selección de semillas, la adquisición y el intercambio porque estos sitios se consideran el lugar de influencia de las mujeres. Estos espacios de producción tradicionales son interdependientes en términos de selección varietal y mantenimiento debido a las razones, tanto similares como diferentes, que hombres y mujeres tienen para sembrar un cultivar dado en un espacio de producción dado, junto con la influencia que ejercen hombres y mujeres, el uno sobre el otro, en la selección de variedades según el espacio de producción (Lope 2004).

Burkina Faso

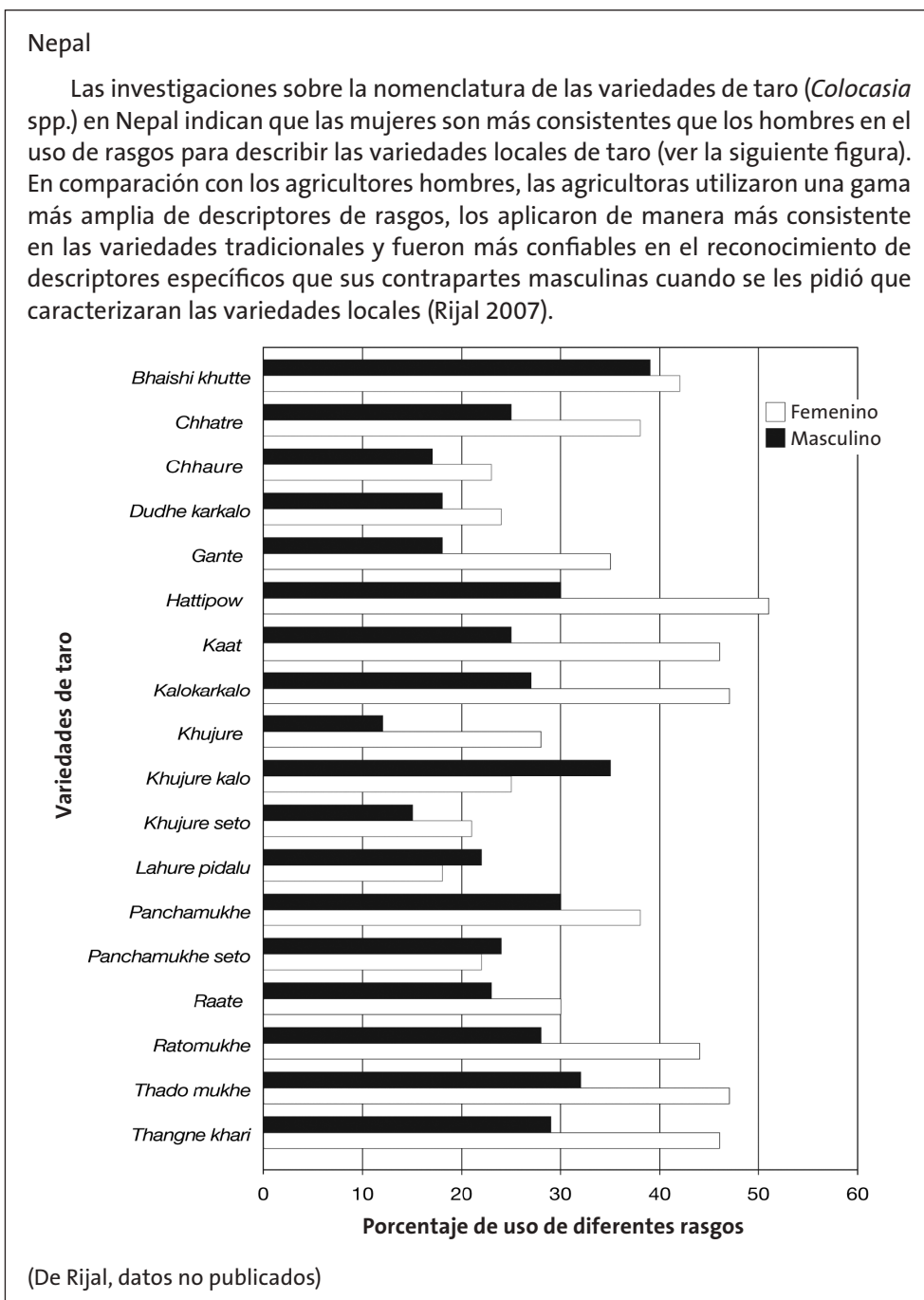
En Burkina Faso, la mayoría de los hogares son a menudo grandes unidades de producción agrícola que comprenden un jefe varón mayor y su esposa o esposas, sus hijas solteras y las familias núcleo de todos sus hijos. Las unidades de producción pueden incluir más de 50 miembros. La mayoría tiene campos familiares principales, que representan la mayor parte del área de la finca y en la que todos los miembros del hogar trabajan para producir el grano básico (ya sea sorgo o mijo). El área restante de la tierra se maneja de forma independiente por miembros individuales del hogar, normalmente con cada esposa e hijos mayores que tienen su propia parcela específica (Dossou et al. 2004; Sawadogo et al. 2005a).

Etiopía

En el norte de Etiopía, los hogares agrícolas encabezados por mujeres, o aquellos que tienen una mayor proporción de miembros femeninos, tienden a cultivar una mayor riqueza de variedades de cultivos de cereales (trigo, maíz y tef [Eragrostis]) que otros hogares (Benin et al. 2006).

rientes por matrimonio, adopción u otro ritual. Las relaciones de parentesco dentro de una comunidad a menudo juegan un papel determinante para establecer el acceso de las personas a las semillas y variedades de los cultivos y al conocimiento especializado sobre los cultivos, por ejemplo, cómo cultivar o usar variedades únicas. Ambas relaciones de sangre y lo que los antropólogos culturales llaman relaciones de parentesco “ficticias” (como los arreglos de padrinos) pueden influir en el acceso a los materiales de siembra y la información relacionada con la experiencia sobre la agricultura. Los aspectos clave del parentesco que son importantes para cuantificar a través de entrevistas y otros métodos de

Cuadro 8.1. Continuación



investigación social incluyen reglas consuetudinarias de residencia, herencia, filiación y matrimonio (por ejemplo, si los individuos tienden a casarse dentro de

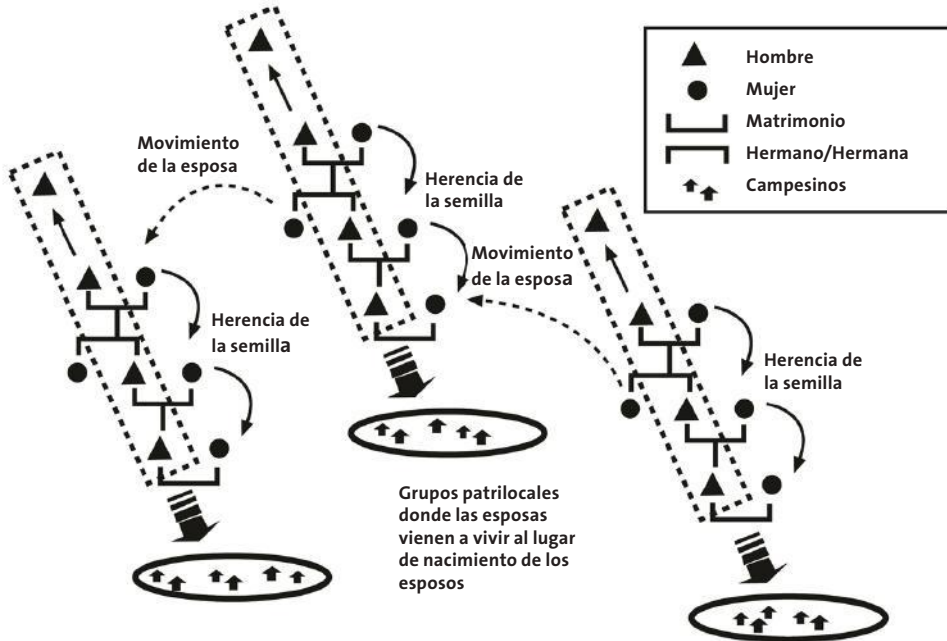


Figura 8.1. Transmisión vertical de semillas entre las comunidades de Muthambi en Kenia. Cuando las mujeres se casan en un clan, reciben reservas de semillas de sus nuevas suegras. Con la residencia patrilocal (es decir, las mujeres que residen en las casas de las familias de sus maridos), el sistema de transmisión de semillas de Muthambi favorece el mantenimiento de las variedades de los cultivos a lo largo del tiempo dentro de linajes de clanes claramente definidos. (De Leclerc y Coppens d'Eeckenbrugge 2012, reimpresso con permiso de MDPI Open Access Journals).

su comunidad [endogamia] o fuera de ella [exogamia]). Tales patrones básicos y reglas de parentesco influyen en la estructura geográfica de la diversidad genética de los cultivos (Leclerc y Coppens d'Eeckenbrugge 2012), más comúnmente al reforzar un intercambio “vertical” de reservas de semillas entre generaciones a lo largo de la familia, clan u otros lazos de parentesco (figura 8.1).

Riqueza y estado de los ingresos

La riqueza a menudo se define como “ingreso permanente”, ya que los activos tales como ganado, herramientas, equipo y vivienda ayudan a asegurar la capacidad de generar ingresos futuros. Las fuentes de ingresos incluyen ingresos agrícolas y no agrícolas, y rentas y remesas de parientes u otras relaciones sociales. De una manera un tanto circular, el concepto de riqueza se define de acuerdo con el contexto social, cultural y económico particular de los agricultores. Por ejemplo, el ganado es a menudo un componente principal y la medición de la riqueza en algunas sociedades africanas, especialmente cuando no se dis-

pone de otros medios de ahorro o inversión, o donde la tierra se mantiene bajo el derecho consuetudinario. Cualquier medición de las características de riqueza comienza identificando primero lo que constituye riqueza en la sociedad o grupo social en estudio.

Dependiendo del entorno agroambiental y socioeconómico local, existe la posibilidad de que la riqueza se relacione positiva o negativamente con la diversidad genética de los cultivos (ver el Capítulo 9). En algunos casos, los agricultores más ricos pueden permitirse el lujo de mantener variedades tradicionales por razones puramente estéticas, como preferencias culinarias, o para ceremonias y celebraciones tradicionales que transmiten prestigio social local. En la Península mexicana de Yucatán, una variedad local de maíz con granos azules es un componente esencial de un adobado guiso yucateco, relleno negro, que se sirve en bodas, cumpleaños y otras ocasiones festivas. La harina de maíz se utiliza para espesar el estofado, y se prefiere el maíz azul porque mejora el color oscuro del guiso. Menos del 15 por ciento de las familias rurales yucatecas cultivan maíz azul, pero quienes lo hacen suelen citar las preferencias culinarias como una razón principal (Tuxill et al. 2010). Los cocineros y los consumidores, y los agricultores que cultivan maíz azul, obtienen así un valor económico privado del uso de la variedad, aunque el producto no se vende en los mercados.

Educación

Con frecuencia, se considera que la educación formal saca a las personas de la agricultura y las lleva a otras actividades generadoras de ingresos, lo que reduce el tiempo que pasan en sus fincas. La educación refleja los niveles de alfabetización. Cuando las personas tienen un nivel relativamente bajo de alfabetización, incluso niveles modestos de educación pueden proporcionarles un mayor acceso a la información, y el estado social necesario para obtener conocimiento y ponerlo en práctica.

Estatus social

La posición social de los individuos tiende a estar vinculada a la riqueza y el ingreso, pero también con frecuencia contiene dimensiones o sutilezas que merecen una consideración adicional. Las personas o los hogares con un estatus social o político particular pueden ejercer control sobre aspectos específicos de la agricultura, como la prueba de nuevas variedades, la agricultura y el momento de la cosecha. Las personas con roles rituales o culturales específicos pueden tener un conocimiento único de la diversidad de los cultivos, al igual que los

agricultores con experiencia en la producción de semillas u otras tareas especializadas, independientemente del estado de la riqueza. El estatus social puede afectar el rol de las personas dentro de las redes sociales, y la medida en que las utilizan o se benefician de ellas.

La posición social de los agricultores y sus roles en instituciones sociales informales (y a veces formales) pueden explicar gran parte de su influencia en los sistemas locales de semillas y en los flujos de diversidad. En un estudio de Uzbekistán, se encontró una correlación positiva entre la participación de un hogar rural en instituciones sociales tradicionales (que iban desde asistir a bodas, pasar el tiempo en el centro del pueblo, participar en grupos de trabajo comunales) y el nivel de la diversidad de árboles frutales y nueces que se mantiene en los huertos caseros. Los huertos caseros de Uzbekistán contienen una importante diversidad para el albaricoque, la manzana, el nogal, la uva y otras especies de frutales y nueces cuyos orígenes son Asia Central y el Cercano Oriente. El análisis de los sistemas de semillas indica que los hogares de Uzbekistán acceden a fuentes informales (por ejemplo, relaciones familiares, vecinos, vendedores de bazares) para más del 85 por ciento del material de siembra de frutales y nueces (Van Dusen et al. 2006).

Etnicidad

La etnicidad, o identidad étnica, se refiere a la membresía en un grupo cultural particular. Se define por prácticas culturales compartidas, que incluyen, entre otras, costumbres, tradiciones, comida, días feriados e idioma. A pesar de las condiciones ambientales similares, diferentes grupos étnicos pueden cultivar variedades únicas de cultivos y posiblemente emplear diferentes enfoques de manejo agroecológico basados en las tradiciones, normas y valores de su herencia étnica.

Entre las comunidades de habla Quechua en Perú, el término *kawsay* se refiere a un conjunto de expectativas filosóficas y morales sobre cómo las personas deben conducir sus vidas. Al reforzar las normas culinarias, *kawsay* ha proporcionado un incentivo importante para que los agricultores mantengan variedades tradicionales de papa, maíz, oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*) y otros cultivos andinos. Los antecedentes culturales de *kawsay* han sido documentados desde la década de 1600, y ha demostrado ser un elemento duradero de la cosmovisión Quechua, incluso cuando los agricultores se han dedicado a la producción orientada al mercado de forma más extensa en las últimas décadas. Una razón para esta durabilidad es que *kawsay* es un concepto

cultural en evolución, no es estático. Durante los períodos de conflicto social, por ejemplo, las comunidades Quechua, privadas de sus derechos, han puesto especial énfasis en *kawsay* como una forma de ayudar a justificar y reforzar sus reclamos de tierras y recursos productivos. Mientras que las normas culinarias de *kawsay* enfatizan la producción y preparación de una diversidad de alimentos tradicionales andinos como la papa y la quinua, también se han incorporado cultivos básicos no indígenas como el frijol haba y el guisante de campo (Zimmerer 1996; Hermida 2011).

Las variedades de cultivos pueden tener un valor particular en contextos rituales o religiosos que siguen los agricultores y las comunidades agrícolas. Por ejemplo, en partes de Indonesia, los agricultores indígenas que cultivan principalmente arroz de tierras secas en tierras altas también mantienen pequeñas poblaciones de variedades tradicionales de camote, taro, ñame y lágrimas de Job (*Coix* spp.). Estos cultivos menores no hacen una contribución importante a la subsistencia del hogar, ni se venden, sino que se mantienen por su papel esencial en ceremonias agrícolas y rituales practicados por hogares individuales (Dove 1999).

Idioma

El lenguaje también es un marcador común de conocimiento social y culturalmente específico sobre la diversidad de los cultivos. La información sobre cómo identificar y administrar variedades de cultivos a menudo se conceptualiza de manera diferente, o en diferentes niveles de detalle, en diferentes idiomas. Dentro de una comunidad, las diferencias intergeneracionales en las habilidades o preferencias del idioma (como cuando el idioma de un grupo étnico minoritario está siendo invadido por un idioma nacional más ampliamente hablado) pueden correlacionarse con los niveles de diversidad de los cultivos que se mantienen. Tanto la etnia como el idioma pueden reflejar relaciones históricas únicas o restricciones sociales que han influido en la distribución de los recursos genéticos de los cultivos dentro de las comunidades agrícolas, en los paisajes agrícolas regionales, o en escalas aún mayores (Perales et al. 2005). Por ejemplo, múltiples estudios de sorgo sugieren que la dispersión y diversificación del sorgo en África han sido moldeadas por patrones lingüísticos entre hablantes de lenguas nilóticas/udanesas y hablantes de lenguas bantúes (Leclerc y Coppens d'Eeckenbrugge 2012). Las relaciones políticas o comerciales entre grupos étnicos son contingencias históricas adicionales que pueden afectar el acceso de diferentes comunidades a los recursos genéticos a lo largo del tiempo.

Relaciones sociales y distribución de la diversidad

Las relaciones sociales dentro de una comunidad influyen en el acceso de una persona a las semillas y variedades de los cultivos, y a la información necesaria para que se cultiven con éxito. Para facilitar el acceso, los agricultores a menudo confían en las redes sociales, basadas tanto en el parentesco como en las relaciones intracomunitarias más sutiles. Para los agricultores que buscan semillas, estas relaciones interpersonales sirven para proporcionar una medida de seguridad sobre la procedencia, las características y la calidad de las semillas que se adquieren –información que un agricultor puede no ser capaz de observar o evaluar directamente en la existencia de semillas antes de la siembra. Por lo tanto, en los sistemas informales de semillas, las relaciones personales y los vínculos sociales tienen una función similar a la que tiene la certificación de semillas en los mercados formales de semillas (Badstue et al. 2007; Dalton et al. 2010).

Por el contrario, también existen situaciones en las que las normas sociales pueden llevar a los agricultores a buscar semillas fuera del ámbito de los parientes y en otras redes. Por ejemplo, los aldeanos en la zona del Sahel de Mali a menudo consideran que tener semillas insuficientes en el momento de la siembra es una fuente de vergüenza, que refleja la pobre auto-capacidad y la capacidad como agricultor (Smale et al. 2010). En estas circunstancias, los agricultores malienses que necesitan semilla pueden preferir no adquirirla de parientes inmediatos o vecinos, sino acceder a los mercados locales o regionales, donde las transacciones pueden hacerse de forma más impersonal o incluso bajo la apariencia de comprar granos para el consumo cuando, en realidad, el agricultor tiene la intención de usarlos como semilla (Lipper et al. 2010). En tales casos, los agricultores recurren a los mercados a pesar de que es probable que haya un costo de oportunidad involucrado, al menos para las variedades tradicionales y otras categorías de semillas no certificadas. La investigación de Mali sugiere que es más probable que los mercados más grandes suministren semillas que han sido incorporadas de múltiples fuentes, lo que resulta en una menor certeza sobre su identidad y, por lo tanto, la confiabilidad de sus rasgos agromorfológicos (Smale et al. 2010).

No todos los hogares agrícolas juegan un papel similar en el manejo y el mantenimiento de la diversidad dentro de una comunidad o una red de semillas en particular. A nivel local y también algunas veces a nivel regional, ciertos agricultores son importantes como fuentes de semillas, información y experiencia para cultivar la diversidad. Estas personas clave, a veces denominadas “agricultores nudos”, también pueden tener el estatus de expertos o maestros de cultivo

Cuadro 8.2. Redes sociales y diversidad de variedades tradicionales en los Andes Centrales

En la región andina de Perú, Ecuador y Bolivia, varios millones de pequeños agricultores cultivan diversas variedades tradicionales de tubérculos de papa, oca y ulluco, maíz, frijol y otros cultivos anuales. Los hogares agrícolas normalmente obtienen la mayoría de sus reservas de semillas de sus propias cosechas, pero los estudios sugieren que los agricultores andinos dependen de fuentes de semillas que no provienen de la finca para al menos el 15 por ciento de las plantaciones de cada año (Zimmerer 2003b). Las redes sociales centradas en el parentesco y las relaciones de parentesco social (“compadrazgo”) son las fuentes más importantes para la semillas de la finca, pero las asociaciones locales y regionales de campesinos, especialmente las organizadas con fines de conservación, desempeñan un papel cada vez más importante. En colaboración con ONGs tanto locales como nacionales, las asociaciones campesinas han ayudado a organizar ferias de semillas, bancos comunitarios de semillas y otros programas que ayudan a facilitar el acceso de los pequeños agricultores a la diversidad de cultivos a nivel local y regional (Tapia 2000). En distintos grados, las ONGs en los tres países han trabajado con instituciones gubernamentales nacionales, como los ministerios de agricultura, para promover las redes sociales que fomentan el acceso a la diversidad de los cultivos (Zimmerer 2003b).

dentro de la comunidad. Muchos también tienen otros roles sociales importantes, como servir como líderes ceremoniales o herbolarios.

Las funciones de los agricultores nudos no son estáticas o fijas, y pueden variar constantemente a lo largo del tiempo; un agricultor reemplaza a otro como agricultor nudo a medida que cambian las circunstancias sociales y económicas. Algunos agricultores clave mantienen cantidades inusualmente altas de diversidad varietal en la finca, incluidos cultivares raros locales o regionales que no son cultivados por la mayoría de los agricultores, y que a menudo se conocen localmente e incluso regionalmente como fuentes de variedades inusuales y difíciles de encontrar (Salick et al. 1997). Es posible que otras personas no mantengan niveles inusualmente altos de diversidad en las fincas, pero en sus comunidades y redes sociales se sabe que son agricultores excepcionalmente diligentes, dedicados y capacitados que logran cosechas incluso en condiciones ambientales por debajo de las ideales. Tales individuos pueden ser fuentes de semilla particularmente importantes para otros agricultores y pueden jugar un papel desproporcionado en los sistemas de semillas locales y regionales, especialmente después de malas cosechas cuando muchos agricultores pueden estar buscando semillas adicionales para sus necesidades de siembra.

Desde una perspectiva de conservación, una función importante de los agricultores que se sabe que conservan y distribuyen altos niveles de diversidad o tipos únicos de variedades de cultivos es que pueden ser el apoyo para aumentar el acceso y la disponibilidad de la diversidad a un sector más amplio de miembros de la comunidad. La realización de una encuesta o entrevistas semiestructuradas (descritas más adelante) con una muestra de hogares agrícolas seleccionada al azar dentro de una comunidad generalmente ofrecerá una sección transversal inicial de la importancia relativa de los diferentes hogares en el manejo de la diversidad genética, pero puede no ser suficiente para identificar a todas las personas clave. Un medio de seguimiento es emplear un proceso de “muestreo en bola de nieve”, mediante el cual los informantes iniciales sugieren a otras personas u hogares para realizar las encuestas, que a su vez sugieren a otros, y así sucesivamente. Este enfoque de muestreo se puede utilizar para seguir líneas de intercambio de semillas y, en el proceso, identificar a los agricultores que son fuentes prominentes de materiales de siembra intracomunitarios y probablemente gestores clave de la diversidad genética de los cultivos. El mapeo de las redes sociales del origen de las semillas también puede arrojar resultados similares (ver el Capítulo 11 para más detalles).

Las semillas y la información relacionada con las semillas se mueven más a través de algunas redes sociales que de otras, y la capacidad de reconocer estos canales es esencial para apoyar la diversidad en los sistemas locales de semillas (cuadro 8.2). Un componente importante de las redes sociales son los muchos tipos de asociaciones, de origen interno y externo, que se encuentran en las comunidades. Todas las asociaciones u otras instituciones que buscan proporcionar beneficios a los agricultores implican la acumulación de capital social, o la capacidad de los agricultores (tanto hombres como mujeres) para desarrollar y utilizar las redes sociales (Jarvis et al. 2011). Algunas asociaciones son formalmente establecidas y lideradas por personas externas, como los clubes de crédito de agricultores que obtienen variedades modernas y otros insumos. Muchos otros se establecen dentro de un pueblo o aldea y están orientados a una variedad de necesidades diarias, como fondos para bodas y entierros, asociaciones informales de crédito y grupos de trabajo. Algunas de estas asociaciones son más inclusivas que otras, y algunas cumplen una función principalmente económica.

La identificación de las asociaciones clave para acceder a las semillas y la información sobre ellas puede hacerse a través de entrevistas e instrumentos de encuestas que soliciten a los agricultores identificar los tipos de asociaciones y otras instituciones sociales en las que participan, y también caracterizar su intensidad y/o frecuencia de participación, específicamente con respecto al intercambio de

información agrícola (Van Dusen 2006). Cuando esta información se combina con otros datos de las encuestas sobre el sistema de semillas, como preguntar a los agricultores de dónde obtienen su surtido para la siembra (ver el Capítulo 11), surge una imagen detallada de la importancia de las asociaciones dentro de las redes sociales para el acceso de los agricultores a la diversidad de variedades. También es posible modelar cuantitativamente la relación entre la participación de los agricultores en asociaciones u otras instituciones sociales y el mantenimiento de su diversidad mediante el análisis de regresión (ver el Capítulo 9).

Capital Social, Acción Colectiva y Derechos de Propiedad

Las redes sociales también influyen en el mantenimiento por parte de los agricultores de la diversidad genética de los cultivos de muchas maneras indirectas que reflejan instituciones sociales y estructuras políticas más amplias. Un papel clave para las redes y asociaciones (como los sindicatos de agricultores y las cooperativas) es facilitar el acceso de los agricultores al crédito y a la información sobre las nuevas opciones y prácticas de manejo. El capital social que obtienen los agricultores a través de redes y asociaciones incluye el desarrollo de prácticas adecuadas de manejo colectivo y el fortalecimiento de los derechos de propiedad de individuos o grupos.

Las acciones colectivas se entienden como los pasos voluntarios que realiza un grupo para lograr intereses comunes y regímenes de propiedad (Meinzen-Dick y Eyzaguirre 2009). La acción colectiva puede involucrar a miembros de un grupo que actúan directamente por sí mismos o a través de una organización, por ejemplo, al acordar e implementar reglas para el uso o no uso de un recurso genético, y coordinar actividades entre fincas individuales. Los agricultores pueden recurrir a la acción colectiva en busca de ayuda para hacer frente a las imperfecciones del mercado y los costos de transacción, como los que traen las restricciones sobre la información, el crédito y la comercialización.

Los derechos de propiedad implican “la capacidad de solicitar al colectivo que respalde el reclamo de una fuente de beneficios” (Bromley 1991). Los proyectos o intervenciones de políticas que fortalecen los derechos de propiedad individuales o grupales y que ayudan a los agricultores a participar en actividades colectivas pueden mejorar sus posiciones de negociación y su capacidad para negociar con otros actores sociales (Eyzaguirre y Dennis 2007). Tales intervenciones pueden implicar el desarrollo de mecanismos institucionales que los participantes locales puedan utilizar para organizarse y promover el uso de variedades de los cultivos tradicionales, como a través de distritos especiales, asociaciones

privadas e iniciativas de gobiernos locales/regionales (Meinzen-Dick y Eyzaguirre 2009). Dichos mecanismos pueden resultar en vínculos más estrechos con instituciones políticas que apoyan a sindicatos y cooperativas agrícolas en esfuerzos para educar a los agricultores en producción y comercialización, ayudar con las negociaciones de precios, recaudar impuestos sobre la tierra y compartir información, todos los pasos que contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas regionales (Caviglia y Kahn 2001; Pretty 2008).

Herramientas y Métodos para Documentar y Relacionar las Características de los Agricultores para Cosechar la Diversidad Genética

Los científicos sociales han desarrollado una amplia gama de métodos de investigación que pueden utilizarse para documentar o medir los roles socialmente, culturalmente y económicamente definidos de los agricultores y relacionarlos con la diversidad de los cultivos a diferentes escalas de análisis. Por lo general, este trabajo comienza con el diagnóstico participativo de la situación sobre el terreno, utilizando una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos.

El diagnóstico participativo tiene como objetivo tomar la “vista desde abajo” al explorar cómo los grupos de usuarios entienden y actúan en situaciones problemáticas. Los resultados del diagnóstico participativo ayudan a definir la agenda para las fases posteriores del proyecto, tales como: (1) identificar y evaluar las opciones tecnológicas que se basan en el conocimiento y los recursos locales; (2) asegurar que las innovaciones técnicas sean apropiadas para los contextos socio-económicos, culturales y políticos locales; (3) establecer mecanismos para compartir y usar más ampliamente las innovaciones agrícolas, y (4) monitorear y evaluar las mejoras agrícolas resultantes del proceso de investigación y desarrollo.

El diagnóstico participativo es útil cuando el propósito del proyecto es examinar problemas, necesidades y oportunidades según lo perciben los grupos de usuarios. Complementa, pero no necesariamente sustituye, otros métodos de investigación en los que el equipo del proyecto observa e interpreta directamente las situaciones biofísicas o sociales (por ejemplo, los científicos que recogen muestras de suelo para el análisis de laboratorio). El diagnóstico participativo se centra en la identificación de problemas y la priorización. También podría cubrir problemas/temas asociados con la evaluación de necesidades y oportunidades, análisis de partes interesadas/género, evaluación de sistemas de los medios de vida, documentación del conocimiento local y estudios de referencia.

Los estudios de diagnóstico, en general, tratan de generar información sobre los sistemas agrícolas a los que se pretende mejorar mediante esfuerzos de investigación y desarrollo. Los estudios de diagnóstico pueden agruparse ampliamente en aquellos que permiten a los investigadores y trabajadores del desarrollo estudiar: (1) las características biofísicas de agroecosistemas particulares, (2) los perfiles sociales de los agricultores y otros administradores de estos agroecosistemas, y (3) el conocimiento etnoecológico y etnográfico propio de los residentes locales sobre las dinámicas biofísicas y sociales de los agroecosistemas. La tercera categoría se refiere al conocimiento en su sentido más amplio –conceptos, percepciones, creencias, valores, decisiones y acciones– y es donde el diagnóstico participativo puede ser más útil.

Métodos Cualitativos de Investigación Social

Los métodos cualitativos permiten al investigador documentar en profundidad el contexto social y cultural de una comunidad agrícola, y familiarizarse directamente con el manejo local de la diversidad genética de los cultivos. Entre las herramientas cualitativas más ampliamente utilizadas por los científicos sociales se encuentran las entrevistas, la observación participativa y la documentación de historias orales. La mayoría de estos son aplicables tanto en configuraciones individuales como grupales. La información sobre el contexto social del manejo de la diversidad que se obtiene cualitativamente a menudo es vital para la interpretación completa y precisa de los datos posteriores que se recopilan cuantitativamente.

Entrevistas

Las entrevistas individuales o en grupos pequeños a menudo son un mejor escenario para hablar con ciertos miembros de la comunidad, como las mujeres o las personas más pobres, que pueden mostrarse reticentes a expresar sus verdaderas opiniones en grupos más grandes (Davis-Case 1990). Como se discutió en el Capítulo 5, una entrevista grupal tiene la ventaja de presentar múltiples perspectivas de un grupo social o comunidad en un entorno único. Con frecuencia, parte de la información más reveladora de las entrevistas grupales puede provenir de la interacción social entre los diferentes miembros de la comunidad a medida que presentan sus perspectivas sobre los temas de discusión (Freudenberger y Gueye 1990). El estilo de una entrevista puede ir desde relativamente abierta, con el objetivo de obtener una idea general de los temas de la vida local, hasta entrevistas semiestructuradas donde el investigador hace

un bosquejo de antemano de temas, puntos de referencia o preguntas clave para cubrir durante la entrevista.

Historias Orales

Las historias orales son un tipo de entrevista en la que el objetivo es documentar los eventos, las tendencias y los cambios pasados desde la perspectiva de los colaboradores locales. Las historias orales pueden realizarse como un ejercicio grupal, como para documentar los cambios históricos en el uso de la tierra o tenencia de la tierra en una comunidad o individualmente (por ejemplo, registrar las experiencias individuales de un agricultor en el cultivo, selección y manejo de variedades de los cultivos). La preparación de una línea de tiempo histórica o un corte histórico es a menudo una forma útil y visualmente enfocada de documentar y organizar la información de la historia oral. En una escala de tiempo más corta, los calendarios estacionales de actividades logran el mismo objetivo.

Observación Participativa

La observación participativa es, en esencia, una especie de entrevista prolongada en la que el investigador se une a una actividad con colaboradores, como limpiar, sembrar, desyerbar o cosechar un campo, o seleccionar semillas para el próximo ciclo de siembra. La información registrada proviene tanto de la conversación informal que se produce con los colaboradores mientras se lleva a cabo el trabajo, como de la experiencia directa del investigador al intentar llevar a cabo el trabajo en cuestión. Una de las ventajas de la observación participativa es que permite hacer preguntas muy detalladas y amplias (por ejemplo, sobre las prácticas agrícolas y el manejo de las semillas) en el contexto de una conversación informal natural, y verificar o hacer una referencia cruzada de la información con las actividades reales que son observadas.

Mapeo

El mapeo es una actividad que se combina bastante productivamente con las entrevistas. La preparación de un mapa informal con un grupo (por ejemplo, mostrando las tierras agrícolas comunitarias o los agroambientes alrededor de una aldea) o con un hogar (por ejemplo, mostrando los campos y parcelas de un agricultor) captura una gran cantidad de información espacial de manera eficiente. Los mapas vernáculos o cognoscitivos que resultan de tales sesiones con colaboradores locales típicamente no están dibujados completamente a escala, o pueden mostrar formas terrestres locales o características desde

perspectivas inusuales; no obstante, son extremadamente útiles como plantillas para hacer preguntas sobre prácticas y tendencias agrícolas, y para el manejo de recursos fitogenéticos a nivel de la comunidad o finca (Tuxill y Nabhan 2000). Cuando los colaboradores están familiarizados con la interpretación de mapas de referencia formales, como los cuadrángulos topográficos, dichos mapas pueden servir como base para la discusión. La tecnología GPS también ofrece un medio para estandarizar la información obtenida a través de ejercicios de mapeo colaborativo (ver Capítulo 6).

Diagramación

La diagramación es una actividad utilizada para ilustrar y explicar procesos, relaciones y estructuras, incluso si la información no es originalmente de naturaleza espacial. La diagramación puede ser una alternativa que ahorra tiempo al hacerle numerosas preguntas al agricultor. Un diagrama de flujo de semillas es una forma visual eficiente para que los agricultores transmitan información precisa sobre dónde y cómo han obtenido semillas de diferentes variedades y a su vez a quienes les han proporcionado semillas (figura 8.2). El diagrama también es una forma efectiva de comunicar la información del flujo de semillas a otros. En la diagramación, es importante que los significados de las líneas y las formas se definan y se utilicen de forma coherente por todos los informantes. Los diagramas individuales se pueden compilar para llegar a una comprensión del porcentaje de semillas que fluye dentro y fuera de una comunidad desde diferentes fuentes.

Métodos Cuantitativos de Investigación Social

Los métodos cuantitativos de investigación social implican la recopilación de datos sociales y económicos de manera sistemática de modo que los resultados sean estadísticamente válidos y, por lo tanto, representativos de toda una población, comunidad o región, según la escala de muestreo. La información cuantitativa sobre el contexto social de la diversidad comúnmente se recopila utilizando instrumentos de encuesta o preguntas estandarizadas de entrevistas individuales. Cuando se aplican correctamente, los métodos de investigación participativa descritos en la sección anterior también pueden arrojar al menos tres tipos distintos de información cuantitativa:

1. Los datos de identificación y caracterización incluyen listas de nombres, criterios, descripciones, razones y datos nominales similares para iden-

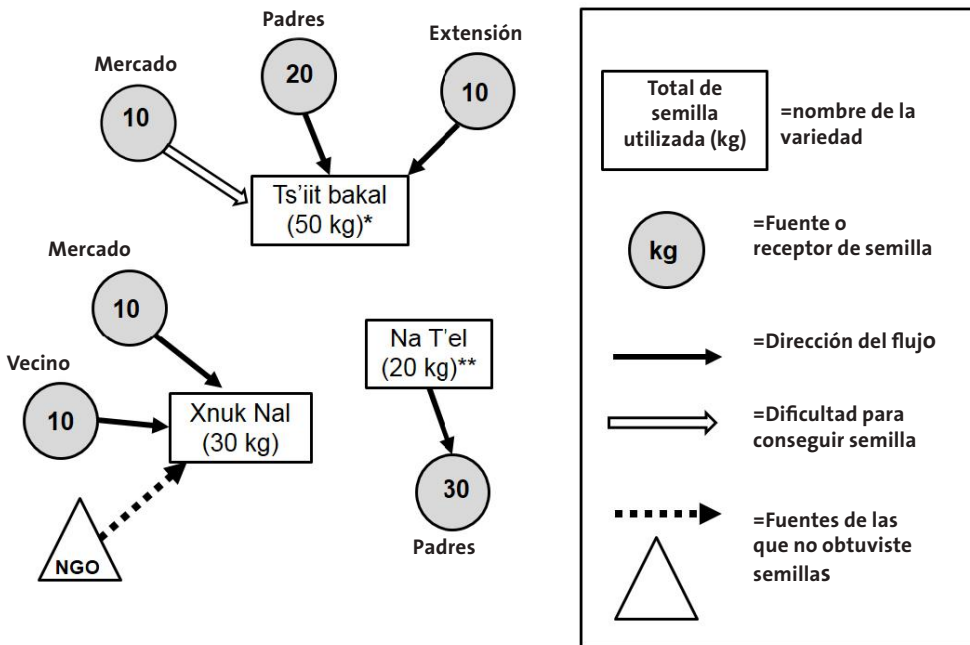


Figura 8.2. Mapa dibujado por el encuestado A para el flujo de semillas de maíz de la familia. (*Para Ts'it bakal: 10 kg del mercado, 20 kg de los padres, 10 kg de extensión, 10 kg de semilla autoprottegida = 50 kg sembrados esa época; **Para Na T'el: 20 kg sembrados sin fuente indica 20 kg de semillas auto-almacenadas). Cuando se compilan, los diagramas individuales de flujo de semillas pueden proporcionar una comprensión del porcentaje de semillas que fluye dentro y fuera de una comunidad desde diferentes fuentes. (De Jarvis y Campilan 2006, cortesía de Bioversity International)

tificar y caracterizar un tema en particular. Por lo general, estos datos se generan a través de preguntas sobre “qué”, “cuándo”, “dónde”, “cómo” y “por qué”.

2. Los datos de clasificación y comparación abarcan rangos, puntajes y datos similares donde se les pide a los agricultores u otros informantes que califiquen, comparen y diferencien un conjunto de variables. Para facilitar la codificación de este tipo de datos, es ideal establecer el mismo rango de puntajes o escalas al diseñar los instrumentos para la recolección de datos. Estos datos se generan comúnmente a través de la clasificación de la matriz y las herramientas de puntuación. Las declaraciones de creencia son otro tipo de datos que incluyen calificación y comparación. Los puntajes se asignan a cada posible respuesta en una escala de calificación. Estos representan la dirección, extensión o grado

de acuerdo o conformidad con creencias, actitudes, normas y motivaciones particulares.

3. Los datos de visualización cubren mapas, diagramas y especímenes, que se utilizan como herramientas visuales para que los informantes expresen sus conocimientos sobre un tema en particular. A menudo, estos se utilizan para ilustrar ubicación, dirección, relación, patrón y tendencia. Los datos en los mapas están representados por símbolos, signos y etiquetas. Estos datos visuales se pueden procesar usando el análisis de contenido. El análisis de contenido es un método para obtener significados transmitidos por los agricultores a través de símbolos como datos de campo, y luego codificarlos en la base de datos a través de identidades numéricas y valores asignados a ellos. Cada mapa o diagrama, ya sea de un encuestado entrevistado individualmente o de un grupo de participantes en una sesión de debate grupal, se considera una unidad de observación. Con el uso del análisis de contenido, un conjunto de diagramas puede codificarse en una base de datos y posteriormente analizarse al igual que los datos de encuestas más convencionales.

La información cuantitativa se puede recopilar de grupos e individuos. En todos los casos es importante distinguir la unidad de observación para la cual se recopila la información cuantitativa. Los datos recopilados de una sesión de debate grupal constituyen una sola observación cuantitativa, independientemente del número de participantes en cada sesión. Del mismo modo, el mapeo comunitario, donde los agricultores que representan una sección transversal de una comunidad trabajan conjuntamente con un equipo de investigación para documentar la información espacial, resulta en un resultado a nivel grupal. Cada mapa preparado colectivamente por un grupo de agricultores informantes clave es una unidad de observación. Las entrevistas individuales son unidades de observación separadas, independientemente de si las herramientas participativas o las preguntas directas se usaron para recopilar respuestas.

Los cuestionarios e instrumentos de encuesta similares funcionan como una “situación de rol interpersonal” en la que un entrevistador hace preguntas a los encuestados diseñadas para obtener respuestas pertinentes a las hipótesis de investigación. Las preguntas, su redacción y su secuencia definen la estructura de la entrevista” (Frankfort-Nachmias y Nachmias 1996: 232).

Con el advenimiento de los sistemas de información geográfica (GIS), es cada vez más factible mapear y analizar el patrón espacial de las variables socia-

les y económicas junto con los factores ambientales. Por ejemplo, en un estudio del centro de Perú investigadores trabajaron con agricultores de ocho comunidades para mapear la distribución espacial de variedades tradicionales de papa junto con patrones de barbecho y rotaciones de cultivos para comprender cómo las decisiones del manejo de la tierra de los agricultores a lo largo del tiempo influyeron en el mantenimiento de su diversidad (de Haan y Juárez 2010). La información espacial también se puede combinar con encuestas centradas en la importancia relativa de diferentes grupos de estatus social o económico en el manejo de la diversidad.

Los instrumentos de encuestas, o cuestionarios, se completan en una entrevista personal, y son un medio para recopilar datos cuantitativos directamente de los informantes. Las entrevistas de la encuesta pueden variar en su nivel de flexibilidad para responder a las preguntas en estudio. En una entrevista más estructurada, las preguntas deben redactarse de la misma manera con cada participante, y las preguntas deben formularse en un orden idéntico para evitar distintas interpretaciones de la pregunta.

Al igual que con otras técnicas cuantitativas, una encuesta correctamente implementada debe producir datos adecuados para el análisis estadístico y, en particular, para desarrollar modelos empíricos que puedan probar hipótesis sobre por qué los agricultores retienen, aumentan o reducen la diversidad de cultivos bajo diferentes condiciones económicas (Smale et al. 1994; Van Dusen 2006). Dichos modelos se pueden utilizar para investigar la toma de decisiones sobre la diversidad de los cultivos tanto a nivel individual como familiar, y son capaces de integrar un rango de variables económicas, sociales, ecológicas y agronómicas cuantitativas, dependiendo de las preguntas particulares formuladas en el instrumento de la encuesta.

Uno de los enfoques de modelado más comúnmente empleado consiste en relacionar una variable dependiente, como la elección de las variedades cultivadas, con una serie de variables independientes (como la edad y la etnia del agricultor, el tamaño de la finca o la disponibilidad de mano de obra familiar). El modelo combina variables independientes en una función matemática, de la que existen diferentes tipos. Por ejemplo, una función de producción describe las compensaciones que enfrentan los agricultores para maximizar las posibilidades productivas de diferentes insumos en un objetivo particular, como el rendimiento, la generación de ingresos familiares o el mantenimiento de la diversidad. Una función de utilidad describe los beneficios relativos que un agricultor o grupo familiar deriva de diferentes atributos de una actividad, como mantener un huerto o cultivar variedades genéticamente diversas, para maximizar el valor

de esa actividad (Birol et al. 2006). Una vez que un modelo se describe en detalle como una función, luego se prueba y se refina mediante la aplicación de datos de la encuesta utilizando una ecuación de regresión (que se describe con más detalle en el Capítulo 9).

Uso de Datos Sociales y Económicos en el Manejo de la Diversidad

Para poder trabajar de manera eficiente, los responsables de las políticas y los profesionales de la conservación interesados en el manejo de la diversidad fitogenética en las fincas necesitan saber qué individuos, hogares o comunidades tienen más probabilidades de mantener la diversidad. Esto es particularmente cierto en un entorno de políticas donde los programas de conservación deben implementarse de manera rentable porque compiten con la asignación de otros escasos fondos públicos (ver Capítulo 10). Las herramientas conceptuales descritas en este capítulo para recopilar y analizar información sobre el contexto social de la diversidad de los cultivos son útiles para identificar y comprender a qué grupos o redes sociales deben dirigirse las políticas de conservación. La modelación económica (analizada en el Capítulo 9), por ejemplo, revela que los programas de conservación en fincas deben integrarse con programas de reducción de la pobreza dirigidos a los sectores más pobres de las comunidades agrícolas rurales, pero también deben estar preparados para trabajar con hogares económicamente mejores con mayor acceso a los recursos productivos, que a menudo les permite jugar papeles clave en el mantenimiento de variedades de los cultivos menos comunes.

En particular, el concepto de “hogar agrícola” emerge como una institución social clave para entender cómo la diversidad de los cultivos ha evolucionado y persistido bajo el manejo de los agricultores en contextos agrícolas que no están totalmente comercializados. La investigación de campo ha demostrado, sin embargo, que se debe enfocar una atención considerable en la definición de la unidad de toma de decisiones dentro de los contextos sociales, culturales y económicos.

Las herramientas de este capítulo también se pueden usar para identificar instituciones potenciales (como cooperativas de agricultores u organizaciones a nivel de aldea) con quienes los programas de conservación pueden colaborar en el terreno. Por ejemplo, en el sur de Italia, las cooperativas de productores resultan ser una institución clave responsable de la presencia continua de diversas variedades de trigo duro dentro del paisaje agrícola (Di Falco y Perrings 2006).

Finalmente, las herramientas también brindan sugerencias sobre cómo diseñar políticas de manera más efectiva, iluminando cómo los diferentes actores sociales valoran la diversidad de los cultivos y por qué continúan manteniendo la diversidad dentro de sus enfoques agrícolas. Medir, analizar y comprender los valores que proporciona la diversidad de los cultivos –para los agricultores y para la sociedad en su conjunto– son el centro del capítulo 9.

Lecturas Adicionales

- Brush, S. B. 2004. *Farmer's Bounty: Locating Crop Diversity in the Contemporary World*. Yale University Press, New Haven.
- Chevalier, J. M., y D. J. Buckles. 2013. *Participatory Action Research: Theory and Methods for Engaged Inquiry*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.
- Howard, P. L., Ed. 2003. *Women and Plants: Gender Relations in Biodiversity Management and Conservation*. Zed Books, London.
- Smale, M., Ed. 2006. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. CABI Publishing, Wallingford, UK.



Ilustración 9. Mujeres, hombres y niños en muchas culturas poseen conocimientos exclusivos sobre diferentes cultivos o incluso diferentes variedades tradicionales dentro de una especie, lo que hace que el género y la edad sean categorías sociales particularmente importantes para comprender la diversidad genética de los cultivos y su manejo en las fincas. Las relaciones sociales y el capital social también son fundamentales para comprender las prácticas de manejo de los agricultores. Arriba a la izquierda: Sona Thapa registra la información de su abuelo Naryan Subedi sobre las variedades tradicionales que está cultivando en Begnas, Nepal, para el registro comunitario de biodiversidad. Arriba a la derecha: agricultor húngaro con una variedad heredada y cultivada para el consumo doméstico. Abajo a la izquierda: los agricultores en Burkina Faso trabajan juntos para almacenar la cosecha. Abajo a la derecha: mujer maya en Yucatán, México, haciendo tortillas de maíz con semillas de calabaza integradas en la masa; ambas provienen de variedades tradicionales altamente valoradas por sus cualidades culinarias. Créditos fotográficos: B. Sthapit (arriba a la izquierda), D. Jarvis (arriba a la derecha), R. Vodouhe (abajo a la izquierda), J. Tuxill (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 9

Midiendo los Valores de la Diversidad en Fincas

Al final de este capítulo, el lector debe comprender:

- Las herramientas y los métodos para valorar la diversidad en fincas desde una perspectiva económica.
- Como probar las relaciones entre los factores sociales, culturales y económicos y la diversidad en fincas.
- La identificación de factores externos que afectan la toma de decisiones de los agricultores sobre la diversidad.

La economía es el estudio de las decisiones que toman las personas y las sociedades sobre la distribución de recursos disponibles para ellas. La investigación económica sobre el manejo de los recursos genéticos de los cultivos en fincas se enfoca en las variedades y los atributos de las variedades que los agricultores reconocen en sus campos más que en la genética o el rendimiento del cultivo en un ambiente controlado. Una forma de pensar acerca de los dilemas económicos asociados con la diversidad genética de los cultivos en los sistemas de producción agrícola es reconocer que los recursos genéticos de los cultivos son “bienes públicos impuros”. Un bien público impuro tiene atributos económicos privados y públicos. Todos los bienes pueden ubicarse en algún lugar en dos ejes definidos por la magnitud de la rivalidad en uso y la dificultad (o costo) de excluir a los usuarios (figura 9.1a).

Un puñado de semillas de una variedad de un cultivo dado, que un agricultor siembra para reproducir esa variedad, es un bien privado (un insumo de

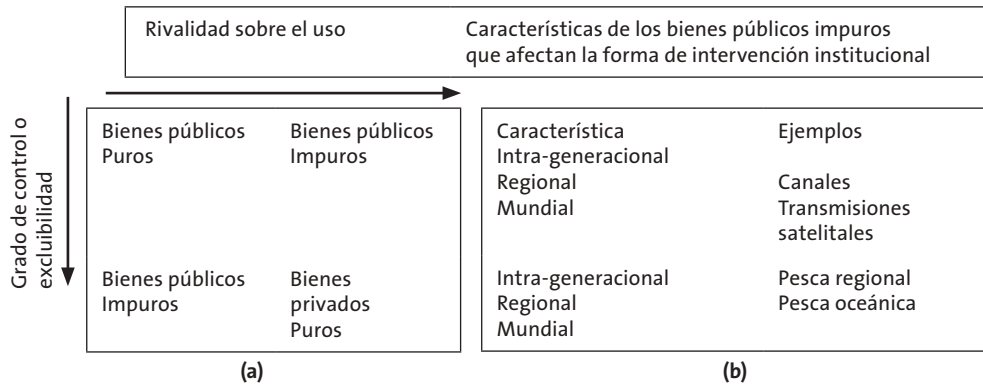


Figura 9.1. Taxonomías simplificadas de productos basadas en atributos económicos (de Smale 2006b, reimpresso con permiso de CABI)

producción), como lo es la cosecha de grano o forraje (un producto de producción). El germoplasma incorporado en ese puñado de semillas, que lo distingue de cualquier otro puñado, es un bien público. Muchos agricultores pueden beneficiarse del mismo germoplasma simultáneamente, y es costoso excluir a otros en su comunidad. También es más evidente para especies predominantemente de polinización cruzada como el maíz, cuyo polen y genes son transportados por el viento de un campo a otro. Una complicación adicional para valorar la diversidad genética de los cultivos es que el contenido genético de un puñado de semillas o granos es, en gran medida, inobservable sin la ayuda de un laboratorio y un microscopio. Estas consideraciones implican que, en muchos contextos, los mercados de recursos genéticos estarán lejos de ser perfectos. Finalmente, dado que las decisiones de los agricultores sobre el uso y manejo de variedades de cultivos en sus campos pueden resultar en poblaciones de plantas más pequeñas y la pérdida de alelos potencialmente valiosos, sus elecciones tienen consecuencias intergeneracionales e interregionales (figura 9.1b). Encontrar la combinación adecuada de políticas e instituciones para resolver el problema es, por lo tanto, especialmente difícil.

Valores Públicos y Privados de la Diversidad

Un punto de partida es diferenciar entre los valores privados y públicos de la diversidad. Los valores privados son aquellos que se otorgan principalmente a los propietarios individuales o a quienes manejan la diversidad, mientras que los valores públicos y los beneficios que generan son compartidos por todos los miembros de una comunidad o sociedad, a menudo de manera bastante indi-

recta. Cuando los agricultores cultivan variedades tradicionales muy apreciadas para producir productos que pueden vender en los mercados, hacen hincapié en un valor privado de la diversidad. Si esas mismas variedades tradicionales diversas producen beneficios ecológicos en términos de requerir menos aplicaciones de pesticidas, se genera un valor privado a partir de la reducción de los costos de plaguicidas y una menor vulnerabilidad al envenenamiento por plaguicidas en la finca.

También se genera un valor público, ya que los agricultores río abajo tienen agua más limpia y los residuos de plaguicidas en el medio ambiente se reducen. La comunidad agrícola y la sociedad en general se benefician de un medio ambiente más saludable. Además, las generaciones futuras de agricultores y consumidores pueden obtener beneficios de la diversidad genética contenida dentro de las poblaciones de variedades tradicionales mantenidas en la finca hoy en día, un concepto conocido como “valor de opción” (Smale 2006a). Los beneficios públicos y privados de la diversidad en la finca y cómo medirlos se abordan en las secciones siguientes, comenzando con los valores sociales y culturales, que a menudo no se expresan en los intercambios del mercado.

Valor Económico Total

La construcción más utilizada por los economistas para identificar y medir el valor de los recursos naturales, incluidos los recursos genéticos de los cultivos, es el valor económico total, que se muestra en la figura 9.2. La economía es utilitaria, con un enfoque en la sociedad humana en lugar de los sistemas biológicos. Por lo tanto, el valor económico de los recursos genéticos de los cultivos se deriva del uso humano directo e indirecto. El uso humano incluye el valor directo de los alimentos, la fibra, los forrajes y los medicamentos, pero también el valor de no uso o amenidad que un agricultor puede disfrutar al sembrar una variedad tradicional de calidad y atractivo conocidos. La noción de valor de no uso fue propuesta por primera vez por Krutilla (1967). Por ejemplo, el valor de existencia se refiere a la satisfacción que los individuos o las sociedades sienten simplemente al saber que algo existe, se use o no. El valor de legado de una semilla especial es la satisfacción que se obtiene al saber que las generaciones futuras disfrutarán de una variedad heredada como reliquia familiar.

El valor de uso indirecto refleja la contribución de los recursos genéticos de los cultivos a los hábitats, ecosistemas y otras funciones de apoyo social circundantes. Ambos usos directos e indirectos tienen dimensiones actuales y futuras. Otro valor de uso, conocido como valor de opción, asegura la flexibilidad para

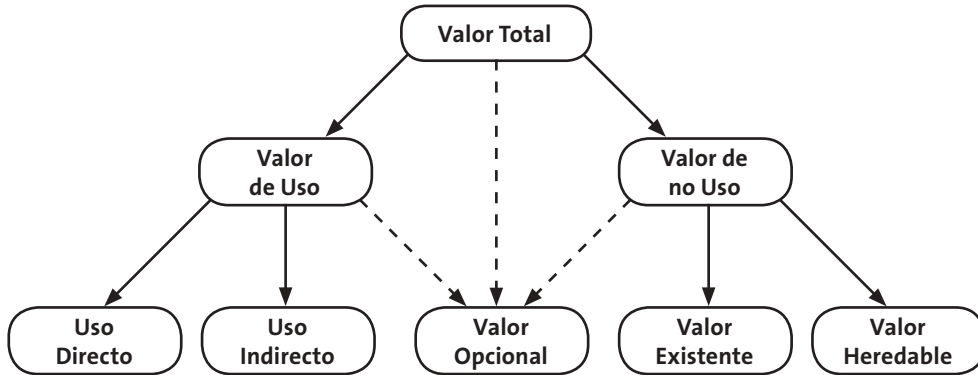


Figura 9.2. Valor económico total y sus componentes principales (adaptado de D. Dziegielewska, T. Tietenberg, y S.N. Seo, “Total Economic Value.” En: *Encyclopedia of Earth*. Ed. C.J. Cleveland [Washington, DC: Environmental Information Coalition, National Council for Science and Environment], http://www.eoearth.org/article/Total_economic_value, 2009)

suministrar recursos genéticos de cultivos a pesar de eventos futuros imprevistos. A veces se considera una prima de seguro para una comunidad o sociedad, aunque no existe un consenso general sobre si el valor de la opción es un valor de uso o no uso, o ambos.

El tema del valor económico total se aborda en una gran cantidad de literatura en el campo de la economía ambiental, y se ha aplicado en muchos contextos. El libro de Pearce y Moran (1994), en particular, aplica el concepto a la biodiversidad.

Selección Varietal y Mantenimiento de la Diversidad

La decisión más básica que toman los agricultores con respecto a la diversidad es la elección varietal: qué variedades cultivar y en qué proporción de área de cultivo sembrar cada variedad. La elección varietal está fuertemente influenciada por los materiales de siembra disponibles para el agricultor. Esto supone que los agricultores tienen tierras, ingresos o conexiones adecuadas para comprar o intercambiar las variedades que necesitan (consultar Capítulo 11). Una de las principales motivaciones para algunos de los primeros estudios de selección de variedades y mantenimiento de la diversidad fue la “hipótesis del desplazamiento” -la rápida difusión de variedades modernas conduce inevitablemente a la pérdida de variedades tradicionales potencialmente valiosas- que se observó durante las primeras fases de la Revolución Verde en Asia (Frankel 1970, Harlan 1972). Estudios posteriores revelaron que la hipótesis del desplazamiento

no siempre era cierta, y que en muchos casos los agricultores que adoptaron variedades modernas también continuaron sembrando variedades tradicionales (suministradas en gran medida por redes de semillas locales o regionales) en una parte de sus propiedades (Brush 1995).

La elección varietal también se ve afectada por los niveles de heterogeneidad ambiental, como la variabilidad de las precipitaciones, los variables tipos de suelo y la incidencia de plagas y enfermedades. Funciona como un seguro contra el riesgo ambiental como se describe en los Capítulos 6 y 7. La variedad cultivada y el área dedicada a esa variedad pueden estar influenciadas por las demandas del mercado y la accesibilidad; por las características sociales y económicas del hogar agrícola (incluida la disponibilidad de mano de obra adulta); y por preferencias culturales, religiosas y simbólicas. El valor simbólico de las variedades puede ser más abstracto, y puede incluir los valores de autosuficiencia e independencia.

La variedad de opciones, incluso para una sola familia, puede cambiar con el tiempo y, a veces, de forma abrupta. Por ejemplo, en tiempos de disturbios civiles o desastres naturales cuando la autosuficiencia del hogar ya no es posible, los agricultores deben recurrir a un conjunto diferente de variedades disponibles para ellos. Las variedades también se eligen por su valor dietético o nutricional, características de postcosecha, sabor o importancia culinaria, o propiedades tradicionales de alta calidad. En este último caso, las variedades tradicionales altamente valoradas pueden cobrar primas de precio y así compensar los menores rendimientos. Las especies y variedades de cultivos específicos también son ingredientes apreciados en las cocinas locales y regionales, y/o aportan beneficios nutricionales a las dietas. Tenga en cuenta que cuando los cultivos locales tienen funciones culinarias distintivas, no se reemplazan fácilmente por otras variedades (para ejemplos, consulte el Capítulo 8). Los agricultores también pueden elegir variedades tradicionales sobre variedades modernas cuando el germoplasma desarrollado por programas de mejoramiento centralizados no está bien adaptado a las áreas marginales y sus microclimas. La elección varietal puede verse influenciada por el uso o la disponibilidad de insumos complementarios, como fertilizantes y pesticidas químicos, o por subsidios que respaldan variedades particulares e insumos químicos.

Relacionar las percepciones de los agricultores de las variedades con la información sobre la estructura genética puede ayudar a identificar poblaciones de cultivos objeto para “agregar opciones de valor”. Un equipo del Instituto Internacional de Investigaciones de Arroz que trabaja en sistemas de cultivo de secano en Filipinas descubrió que un grupo tradicional de arroz no glutinoso, las variedades conocidas como *maggamag*, representaron la mayoría de las respuestas

positivas de los agricultores con respecto a los atributos de las variedades tradicionales de arroz de la región (Pham et al. 1999). En particular, los agricultores apreciaron las cualidades aromáticas y la buena expansión de volumen del arroz wagwag después de la cocción. Un análisis por correspondencia de las relaciones genéticas demostró que el grupo wagwag es genéticamente distinto de todas las demás variedades de arroz cultivadas en los ecosistemas de tierras bajas irrigadas y de secano de Filipinas. Los resultados genéticos también fueron corroborados por los datos sobre polimorfismo, medidos utilizando ambas técnicas, isoenzimas y microsátélites. Sin embargo, las variedades de arroz wagwag tienen rendimientos más bajos y tiempos más largos de maduración que las variedades modernas de arroz. El equipo de investigación concluyó que un programa de mejoramiento o manejo dirigido a disminuir el tiempo de maduración de las variedades wagwag podría agregar valor y aumentar su atractivo para los agricultores, mientras contribuye a la conservación de la diversidad genética del arroz en fincas de Filipinas, asumiendo que no hay mayores cambios en el tiempo en la estructura del alelo del arroz wagwag (Pham et al. 1999).

Un avance importante en el pensamiento sobre la relación entre las plagas y las presiones de las enfermedades y el uso de insumos en las fincas se logró cuando los investigadores reconocieron el concepto de reducción de daños. En las fincas individuales, los insumos pueden dar un efecto de rendimiento directo, que está relacionado con el efecto del uso de insumos productivos como fertilizantes, mano de obra o tipo de semilla que pueden tener un efecto directo sobre el rendimiento del cultivo. Los insumos también pueden proporcionar un efecto de atenuación del daño, relacionado con el efecto del uso de insumos de control como insecticidas, fungicidas o variedades resistentes que no aumentan directamente la producción, pero sí reducen el efecto de plagas o enfermedades en el cultivo. Desde el trabajo inicial (seminal) de Lichtenberg y Zilberman (1986), los investigadores aplicados han especificado modelos que separan los efectos de los insumos sobre la reducción del daño y la mejora del rendimiento.

Algunas referencias clave en la literatura sobre reducción de daños, y varias referencias que relacionan la diversidad genética de los cultivos con la producción de cultivos en las fincas, se enumeran en la tabla 9.1. Los investigadores aplicados han probado la relación de la diversidad genética de los cultivos con el potencial de rendimiento y la variabilidad del rendimiento, pero no se identificaron estudios que examinaran la relación de la diversidad genética de los cultivos con la reducción del daño.

Cualquier variedad típicamente tiene índices deseables e indeseables, y es poco probable que los agricultores dependan de una sola variedad para satisfacer

TABLA 9.1. EFECTO DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE LOS CULTIVOS EN LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS EN FINCAS.

<i>Efecto de la diversidad genética de los cultivos</i>	<i>Efecto específico</i>	<i>Modelo</i>	<i>Referencia</i>
Efecto de rendimiento	Rendimiento potencial	Función de producción estándar incluida la diversidad genética	Headley 1968
	Variabilidad del rendimiento	Incluye riesgo e incertidumbre.	Smale et al. 1998; Widawsky et al. 1998; Di Falco et al. 2006;
Efecto de atenuación de daños	Efecto de los plaguicidas y otros insumos de control	Función de producción dinámica con efecto de retardo para monitorear el impacto de la diversidad genética a lo largo del tiempo.	Di Falco y Chavas 2006
		Función de reducción de daños, que es una función de producción estándar que toma en cuenta el efecto de reducción de daños de los insumos de control.	Lichtenberg y Zilberman 1986; Babcock et al. 1992; Carrasco-Tauber y Moffitt 1992; Oude Lansink y Carpentier 2001; Thirtle et al. 2003; Qaim y Janvry 2005; Pemsil et al. 2005
	Efecto de la diversidad genética de los cultivos	La función de reducción de daños, que es una función de producción estándar que toma en cuenta el efecto de reducción de daños de los insumos de control, incluida la diversidad genética de los cultivos	No se encontraron referencias

todas sus necesidades agronómicas y de consumo. Relativamente pocos análisis económicos de la selección de una variedad de cultivo han considerado otros rasgos como rendimiento de grano y variabilidad del rendimiento (varianza), aunque en muchas partes del mundo, los agricultores necesitan satisfacer al menos una parte de sus necesidades, tanto de comida como de alimentación, desde su propia producción. Si bien la cantidad de producción –ya sea de grano o de forraje– es una variable importante para los agricultores, también prestan mucha atención a la calidad de los materiales suministrados. Por ejemplo, algunas variedades básicas producen mayores proporciones de forraje a grano, mientras que otras producen el grano que es más adecuado para el procesamiento en la finca o platos especializados.

En Uganda, los investigadores examinaron la importancia relativa de los rasgos de producción y los atributos del cultivar para explicar los patrones de

diversidad del banano (Edmeades et al. 2006). La mayoría de la producción bananera en Uganda está en manos de agricultores orientados a la subsistencia, que tienen parcelas de menos de 0.5 ha con métodos de bajos insumos. Los agricultores de Uganda cultivan una impresionante variabilidad de cultivares endémicos de banano de las tierras altas, así como variedades híbridas recientemente desarrolladas y tipos no mejorados originalmente del sudeste asiático. Los investigadores aplicaron una taxonomía de clones de banano para obtener mediciones de diversidad basadas en los conteos de esteras y la proporción de esteras asignadas a los cultivares de banano por los agricultores ugandeses. Una estera es un sistema de raíz superficial única que desarrolla múltiples tallos sobre el suelo durante su vida útil. Los investigadores identificaron un conjunto de atributos para cultivares de banano importantes en la toma de decisiones sobre cuales variedades sembrar y con qué frecuencia. Basándose en los datos de encuestas obtenidas de 517 hogares agrícolas de Uganda, los investigadores cuantificaron la importancia relativa de cada atributo de los cultivares. El estudio reveló que los rasgos de producción como enfermedades de un cultivar o la resistencia a las plagas son generalmente más importantes para explicar la diversidad del banano que los atributos de consumo como la calidad de la cocción (Edmeades et al. 2006).

Se ha trabajado menos en la utilidad potencial de la diversidad de variedades de cultivos o de variedades específicas para proporcionar servicios ecosistémicos, como regular y controlar plagas y enfermedades, mantener la diversidad de polinizadores y apoyar la biodiversidad subterránea y la salud del suelo (Di Falco et al. 2007). El uso de tales variedades podría reducir los riesgos financieros y de salud por los altos niveles de insumos agrícolas, como fertilizantes y pesticidas, tanto para los pequeños agricultores como para el medioambiente, pero se desconoce hasta qué punto los agricultores consideran estos factores al elegir las variedades que cultivan. Factores externos como el acceso al mercado y la agroecología condicionan o limitan las decisiones tomadas por los agricultores individuales, ya que están más allá del control inmediato de los agricultores. El Capítulo 11 analiza con más detalle las limitaciones que encuentran los agricultores para acceder a los materiales de siembra preferidos en el momento en que los necesitan.

Las hipótesis que relacionan la intensificación, la agroecología y el desarrollo del mercado con la elección de variedades de los agricultores solo se pueden probar cuando existe una variación observable en estos factores en una muestra de las comunidades. La estratificación es una forma conveniente de evaluar las hipótesis relacionadas con las características ambientales, sociales y económi-

TABLA 9.2. VARIABLES INDEPENDIENTES UTILIZADAS EN UN ANÁLISIS DE ELECCIÓN DE VARIEDADES ENTRE LOS PRODUCTORES DE ARROZ EN NEPAL

<i>Nombre de la variable</i>	<i>Definición variable</i>	<i>Efecto hipotético</i>
<i>Características del hogar</i>		
AGEPDM	Edad del tomador de decisiones de la producción (años)	(+)
EDUPDM	Educación del tomador de decisiones de la producción (años)	(+, -)
EDUCDM	Educación del tomador de decisiones del consumo (años)	(+, -)
AAGLABR	Adultos activos que trabajan en la finca (número)	(+)
FAADTPCT	Porcentaje de mujeres adultas que trabajan activamente	(+)
LANIMLV	Valor de los animales grandes (bueyes, animales lecheros)	(+)
TOTEXP	Gasto promedio mensual de los hogares desde la última cosecha antes de esta época (ingreso exógeno)	(+, -)
SBRATIO	Relación del promedio quinquenal de kg de arroz producido por kg de arroz consumido	(+, -)
<i>Características de la finca</i>		
IRPCNT	Porcentaje de superficie de arroz bajo riego	(+, -)
LNDTYPS	Número de tipos de tierras arroceras	(+)
RDPLCULH	Distancia total caminando (minutos) desde la casa hasta la parcela de arroz, dividida por hectáreas cultivadas	(+)
<i>Características del mercado</i>		
TMKTDS	Distancia total a pie desde la casa y las parcelas de la finca hasta el mercado local (minutos)	(+)
LR SOLD	Grano tradicional vendido por el hogar en la época anterior (kg)	(+)
MVSOLD	Grano de una variedad moderna vendido por el hogar en la época anterior (kg)	(-)

Fuente: Gauchan et al. (2008)

cas de la diversidad. Se pueden recopilar datos sobre las características de los hogares dentro de cada estrato, incluyendo algunas de las variables sociales y culturales discutidas previamente en el Capítulo 8 y las características ambientales discutidas en los Capítulos 6 y 7. Las variables o factores de muestreo incluyen ingresos, tipo de productor (por ejemplo, de subsistencia o comercial), la dependencia de los ingresos no agrícolas, la oferta de trabajo, el origen étnico,

la edad, el sexo, la tenencia de la tierra y la calidad de la tierra (cuadro 9.2). Las variables seleccionadas se hipotetizan para dar forma a la demanda del agricultor de ciertas variedades, y los agricultores se consideran tanto productores como consumidores. La demanda del agricultor de variedades y sus características depende de los tipos de factores externos que se analizan aquí.

Modelos Económicos

Cuando se han recopilado los datos que caracterizan al hogar de los agricultores, las decisiones de los agricultores pueden analizarse aplicando la teoría microeconómica a la elección de variedades, utilizando modelos econométricos (véase Lectura Adicional para los libros de texto que describen estos modelos). Un modelo econométrico es aquel en el que la teoría económica se utiliza para postular relaciones causales y probarlas con análisis de regresión múltiple. Aunque el análisis de regresión es utilizado ampliamente tanto por ecólogos como por economistas, cada disciplina lo aplica de maneras sutilmente diferentes. Los ecologistas usan el análisis de regresión como una forma de probar patrones observados en un conjunto de datos, especialmente la independencia espacial de las observaciones, e identificar la explicación más parsimoniosa para las relaciones entre las variables. Los economistas, por el contrario, típicamente aplican una regresión múltiple para probar las relaciones entre variables en un modelo teórico desarrollado antes de recopilar datos. Para los economistas, la regresión es un medio para identificar y confirmar las variables dependientes e independientes (o explicativas) en un modelo. A pesar de estos diferentes puntos de vista, el análisis de regresión sigue siendo una herramienta estadística indispensable tanto para los científicos de la Naturaleza como de la sociedad (Armsworth et al. 2009).

En la regresión múltiple, la variable dependiente que representa un índice de diversidad (ya sea variedad o diversidad varietal) está relacionada con los factores citados anteriormente, que se tratan como variables independientes (tabla 9.3). La regresión múltiple permite probar los efectos por separado de cada variable independiente o grupos de variables, mientras controla los efectos de los demás. En los análisis de la diversidad de cultivos en fincas, la variable dependiente se puede medir de muchas maneras, por ejemplo, como una elección entre dos tipos de poblaciones de cultivos; como un número total de variedades para sembrar; como asignaciones reales entre variedades; y como un índice de diversidad espacial para las variedades nombradas (tabla 9.4). En el cuadro 9.1 se presentan ejemplos adicionales de las decisiones de los agricultores sobre la diversidad varietal identificada a través del análisis de regresión múltiple.

TABLA 9.3. RELACIONANDO LA DIVERSIDAD CON VARIABLES SOCIALES UTILIZANDO LA REGRESIÓN MÚLTIPLE.

Los datos de las entrevistas de los agricultores en múltiples estudios de casos se analizaron estadísticamente mediante regresión múltiple. Un signo más (+) indica que la diversidad aumenta a medida que la variable aumenta; un signo menos (-) indica que la diversidad disminuye a medida que la variable aumenta; (0) significa que el efecto no fue estadísticamente significativo; una celda vacía indica que la variable no se incluyó en el estudio de caso de regresión.

	Perú: Variedades tradicionales de papa	Turquía: Diversidad tradicional de variedades de trigo	México: Sistema de milpa, cultivo total y diversidad varietal	México: Diversidad varietal tradicional de maíz	Etiopía: Diversidad varietal de cereales	Hungría: Huertos caseros, variedades tradicionales
Edad del jefe del hogar	0	0	+		+ , 0, -	+
Educación		0	+		+ , 0	
Educación de la mujer					+ , 0	
Suministro de fuerza de trabajo en la finca		-	0		+ , 0	0
Ingresos no agrícolas, migración	-	-	-		0	
Bienes	- , + , 0	-			0	- , 0

Fuentes: Brush et al. (1992); Meng (1997); Van Dusen (2000); Smale et al. (2001); Benin y col. (2004); Birol (2004).

TABLA 9.4. VARIABLES DEPENDIENTES EN UN ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE REALIZADO ENTRE PRODUCTORES DE ARROZ EN NEPAL.

Diversidad	No uniforme, población heterogénea	Si = 1 De otra forma = 0	Cualquier variedad tradicional satisface este criterio de elección
Rareza	Única, rasgos no comunes	Si = 1 De otra forma = 0	Cualquier variedad tradicional satisface este criterio de elección
Adaptabilidad	Amplia adaptación	Si = 1 De otra forma = 0	Cualquier variedad tradicional satisface este criterio de elección

Fuente: Gauchan et al. (2008).

Diversidad: La Importancia de la Escala

Los mercados son instituciones sociales que implican el intercambio de bienes y/o servicios entre los participantes, y tienen una gran influencia en la gestión de la diversidad por parte de los agricultores. Cuando los agricultores deciden producir cultivos para el mercado, los gustos y preferencias de los consumidores juegan un papel importante en la determinación de los precios que los agricultores pueden recibir. El gusto y las preferencias determinan la demanda de un cultivo y pueden cambiar de acuerdo con una variedad de factores, incluidos los niveles de ingresos de los consumidores, las normas percibidas para la calidad del producto y los requisitos para el manejo y el procesamiento postcosecha. Los consumidores expresan sus preferencias pagando primas de precios por lo que más les gusta, y cuando estas señales se transmiten de vuelta al agricultor, él o ella tiene un incentivo para cultivar la variedad del cultivo que obtiene la mejor prima. Los rasgos de valor comercial son muy frecuentes en las variedades modernas, lo que implica que hay “desincentivos” del mercado para el cultivo de variedades tradicionales en muchos lugares. Sin embargo, también hay casos en los que los rasgos únicos de las variedades tradicionales se traducen en primas de precios en los mercados en una variedad de escalas (de local a global) y en entornos rurales y urbanos. Por ejemplo, las variedades tradicionales de maíz en las tierras altas del centro de México reciben un sobreprecio en los mercados de especialidades, y los estudios empíricos en España y Portugal han cuantificado la disposición de los consumidores a pagar más por las variedades tradicionales de tomate y manzana de la región en comparación con los cultivos modernos (Kelemen y Hellin 2009; Brugarolas et al. 2009; Dinis et al. 2011).

Cuando los caracteres varietales tienen valor en los mercados (como los tomates oaxaqueños tradicionales con sus propiedades culinarias únicas), es posi-

Cuadro 9.1. Ejemplos de modelos econométricos para postular relaciones.

Los siguientes hallazgos de estudios en México, Etiopía y Turquía ilustran el uso de los análisis econométricos para comprender el valor de la diversidad genética vegetal:

- Los agricultores en el este de Etiopía confían más en las razas autóctonas de sorgo que en las variedades mejoradas de maduración temprana cuando enfrentan condiciones de sequía severa (Cavatassi et al. 2011).
- Para los agricultores en Tigray, Etiopía, la diversidad varietal en sus campos de trigo mejora la productividad y reduce la variabilidad del rendimiento y la exposición general al riesgo de su cultivo de trigo (Di Falco et al. 2007).
- En un estudio sobre el cultivo del maíz en Chiapas, México, los resultados econométricos respaldaron la hipótesis de que la elección de las variedades de maíz por parte de los agricultores estaba determinada por su taxonomía folklórica popular, con agricultores que comparaban las variedades de maíz con las condiciones del suelo percibidas de manera predecible (Bellon y Taylor 1993).
- En Turquía, donde los agricultores continúan cultivando variedades locales de trigo junto con variedades modernas, la evidencia econométrica sugiere que las variedades modernas y variedades locales pueden coexistir a largo plazo, con beneficios privados positivos para los agricultores y beneficios públicos de la diversidad espacial (Meng 1997; Negassa et al. 2012).

ble cuantificar ese valor e identificar las primas de precio utilizando un modelo de precio hedónico. El análisis hedónico implica una estimación relativamente directa de una regresión lineal que relaciona los precios tomados en muestras de mercado con las características medidas en esas muestras. El signo y la significación de los coeficientes de regresión proporcionan una estimación del valor marginal de cada característica. Relacionar las características observadas por las que los consumidores pagan una prima (como aroma, color y calidad de cocción) con los atributos físicos de una semilla o planta de cultivo puede implicar la colaboración con químicos, científicos de los cultivos y otros especialistas. Otros análisis económicos relacionados, como las evaluaciones de la eficiencia del mercado o los costos de procesamiento y manejo, pueden proporcionar información valiosa sobre cómo funcionan los mercados en el área o el sistema agrícola que se estudia.

Un enfoque relacionado, llamado un análisis de cadena de valor, puede usarse para identificar obstáculos en la obtención de mayor valor para las variedades tradicionales, mapear relaciones entre los actores del mercado y los cuellos de botella en los flujos de recursos genéticos de los cultivos, y proporcionar infor-

mación sobre cómo se comportan los precios en semillas y mercados de productos (Giuliani 2007; Kruijssen et al. 2009; Anderson et al. 2010). El término “cadena de valor” se refiere a la forma en que un bien (como un producto agrícola) agrega valor a medida que se mueve a lo largo de una cadena desde el productor (por ejemplo, un agricultor) a través de uno o más intermediarios (por ejemplo, vendedores, comerciantes, procesadores), hasta que llega al consumidor. Como resultado del movimiento de bienes a través de la cadena de valores, surgen una serie de costos de transacción, clasificados en costos de información, negociación y monitoreo o ejecución (Pingali et al. 2006). Una definición concisa de una cadena de valor es proporcionada por Anderson et al. (2010: 39) desde Kaplinsky y Morris (2001): “La gama completa de actividades requeridas para llevar un producto o servicio desde su concepción hasta las diferentes fases de producción (que implica una combinación de transformación física y la contribución de varios servicios del productor), entrega a los clientes finales y disposición final después del uso”.

El enfoque de la cadena de mercado es una herramienta analítica muy útil para identificar cómo vincular los diversos actores del mercado (productores, procesadores, comerciantes, consumidores). Permite analizar las implicaciones de quién hace qué y en qué etapa de la cadena. El análisis de la cadena de mercado abarca cuestiones tales como la organización, las relaciones de poder entre los actores, los vínculos y los aspectos de gobernanza.

Para cuantificar cómo las variedades de cultivos tradicionales agregan valor de mercado a medida que pasan de productores a consumidores, el análisis de la cadena de valor comienza con la construcción de un mapa conceptual del mercado de semillas u otro material de siembra de un cultivo en particular. Un mapa de mercado completo generalmente identificará tres elementos que están interconectados (Anderson et al. 2010, Albu y Griffith 2005):

1. Los principales actores de la cadena de valor involucrados.
2. La infraestructura, las instituciones, las políticas y las prácticas consuetudinarias que influyen en el entorno más amplio del mercado (también denominado “entorno propicio”). Las instituciones y las políticas que configuran el entorno favorable a menudo operan en una escala (por ejemplo, políticas agrícolas nacionales) que está más allá del control inmediato de los actores de la cadena de valor (Anderson et al. 2010). Idealmente, un mapa de mercado revelará la dinámica de poder y las tendencias en el entorno propicio que influyen en toda la cadena de valor,

y que podría presentar oportunidades para desarrollar nuevas políticas o instituciones que respalden la diversidad genética de los cultivos.

3. Los proveedores de servicios (por ejemplo, empresas, servicios de extensión) que respaldan las actividades y funciones de las cadenas de valores. Los proveedores de servicios son influencias clave en la eficiencia de las cadenas de valor y pueden agregar valor de diversas maneras (tabla 9.5).

Estos elementos luego se relacionan con una medida apropiada de la diversidad, como la riqueza o uniformidad de las variedades, o con las propiedades específicas presentes en las variedades tradicionales disponibles.

Llevar a cabo un análisis de la cadena de valor comienza con la definición de la escala y el alcance del mapa de mercado, seleccionando mercados para muestrear, y luego recolectando datos cualitativos y cuantitativos a través de la observación de transacciones de mercado y encuestas a proveedores. Una forma útil de pensar acerca de la escala apropiada para un análisis de cadena de valor es en términos de una “zona de mercado”, una región geográfica cuyos habitantes tienen relaciones comerciales reales o potenciales con un centro de mercado que pueda definirse (Anderson et al. 2010:44).

Al comprender mejor la contribución que cada actor del mercado aporta al producto en la cadena, el análisis de la cadena de valor intenta identificar ineficiencias, inequidades y pérdidas, que podrían remediarse en diferentes niveles de la cadena. El análisis del “entorno propicio” destaca las tendencias que están afectando a toda la cadena de mercado y examina los poderes e intereses que impulsan el cambio. Tal conocimiento puede ayudar a determinar vías y oportunidades para la acción realista, el cabildeo y el emprendimiento de políticas (Albu y Griffith 2005).

Una vez que se han definido los parámetros iniciales del análisis, las reuniones de las partes interesadas son una herramienta útil para recopilar información crucial sobre las cadenas de valores, con el objetivo de que las actividades involucren a un conjunto de actores (involucrados directa e indirectamente en ese mercado) como sea posible: productores, comerciantes, minoristas, exportadores, expertos de cultivos, ONGs, representantes del ministerio gubernamental y otros (Giuliani 2007). Estas reuniones pueden ayudar a generar confianza en las áreas de calidad y precios entre los actores de las cadenas de valores y la posibilidad de establecer empresas conjuntas con el sector privado, lo cual es importante para reducir los costos de transacción (Almekinders et al. 2010; Lipper et al. 2010).

TABLA 9.5. VIAS POR LAS CUALES LAS EMPRESAS Y LOS SERVICIOS DE EXTENSIÓN AGREGAN VALOR A LAS SEMILLAS Y OTROS BIENES A MEDIDA QUE SE MUEVEN DE LOS PRODUCTORES A LOS CONSUMIDORES.

<i>Categoría de servicio proporcionado</i>	<i>Ejemplos específicos</i>
Información de mercado	precios, tendencias, compradores, proveedores
Servicios financieros	crédito, ahorro, seguro
Seguro de calidad	monitoreo, acreditación
Apoyo técnico	desarrollo de productos, diversificación, comercialización
Transporte	bienes, actores

Adaptado de Anderson et al. (2010).

Medición de Valores No Comerciales de la Diversidad

El mercado no capta el valor total de la diversidad de variedades de cultivos y sus servicios debido a la falta de internalización de los costos externos. Los valores sociales, culturales, de seguridad y de opción de la diversidad varietal se subestiman si se les deja en el mercado. Los hogares rurales a menudo no pueden obtener los atributos de las variedades de cultivos que más les importan a través del intercambio de mercado. En estas situaciones, los agricultores son, al menos, consumidores parciales de los cultivos que producen y reciben el nombre de productores de subsistencia. La producción de subsistencia presenta un desafío para estimar con precisión el valor de las variedades que cultivan los agricultores.

Uno de los enfoques más sencillos para estimar valores no comerciales involucra métodos de categorización o clasificación que (1) obtiene de los agricultores las características del cultivo que son más importantes para ellos, incluidas las características de producción y consumo, y (2) solicita a los agricultores que evalúen la medida en que cada variedad de interés satisface las características deseadas. Los “costos” de producción y consumo identificados de esta manera se pueden cuantificar en términos de horas-persona de trabajo, incluido el manejo del campo del cultivo y el procesamiento postcosecha antes del consumo.

Los métodos anteriores son fáciles de implementar ya que los agricultores conocen bien sus variedades y generalmente no tienen problemas para clasificarlas y calificarlas según sus características. Sin embargo, existen algunas limitaciones para los enfoques de clasificación y calificación. En primer lugar, es importante poder relacionar las características más abstractas de las variedades identificadas por los agricultores con los rasgos fisiológicos de un cultivo, tal como lo reconocen los científicos. En segundo lugar, la clasificación y califica-

ción generalmente dan como resultado una larga lista de características varietales que pueden ser engorrosas de analizar y utilizar con fines estadísticos. En general, sin embargo, si el propósito del estudio es identificar cómo los hogares de subsistencia ven los pros y los contras de las diferentes variedades que cultivan, los métodos anteriores son generalmente suficientes. Siempre es importante, en esta situación, encuestar tanto a hombres como a mujeres, viejos y jóvenes y, cuando sea posible, a diferentes grupos de ingresos, ya que a menudo tienen percepciones distintas sobre el valor relativo de las diferentes variedades. Otra variable a considerar es si los costos de producción, tales como las aplicaciones de fertilizantes o las densidades de siembra, varían sustancialmente entre las diferentes variedades. Si es así, tales diferencias deberían registrarse.

Los economistas emplean una serie de herramientas analíticas para estimar los cambios en los valores no comerciales de bienes y servicios debidos a decisiones o acciones humanas. Algunos de los enfoques requieren una recopilación intensiva de datos siguiendo estrictos protocolos y pueden ser costosos. Las combinaciones de enfoques también pueden aplicarse como una forma de probar la validez. En general, las herramientas que se basan en el comportamiento observado (técnicas de preferencia declaradas, como los análisis de elección de variedades basados en datos de encuestas [por ejemplo, Pham et al. (1999), y el análisis hedónico descrito anteriormente) son preferibles a aquellos basados sobre el comportamiento hipotético (enfoques de preferencia fija].

Las herramientas de preferencia fija se utilizan para evaluar los valores de no-uso. Dos enfoques populares son la valoración de contingencia y el método de elección del experimento. El enfoque de valoración de contingencia implica preguntar a los encuestados sobre su disposición a pagar por un bien o servicio que no tiene un precio de mercado. La valoración de contingencia se ha aplicado ampliamente en la economía ambiental y de recursos naturales (por ejemplo, para estimar el valor que las personas asignan a las áreas silvestres o para determinar el valor de los servicios ecosistémicos (Hanemann 1994). Los problemas comunes con el valor de contingencia incluyen el conocimiento limitado de los encuestados sobre el bien o servicio, y el posible sesgo asociado con las respuestas.

El método del experimento de elección minimiza algunos de estos sesgos, y es particularmente adecuado para el análisis de los rasgos de la variedad de un cultivo porque está basado en atributos. El encuestado cuenta con un menú predefinido de opciones entre las que puede elegir (por ejemplo, consulte la tabla 9.2). La implementación es relativamente simple, aunque el conocimiento del encuestado también puede presentar desafíos. El análisis requiere métodos estadísticos avanzados, que pueden ser complejos.

El método del experimento de elección también puede usarse para estimar el valor de no-uso de las variedades tradicionales. En un estudio de huertos caseros en Hungría (cuadro 9.2), experimentos de elección realizados con agricultores en tres regiones diferentes encontraron que los encuestados que residían en asentamientos aislados y económicamente marginados valoraban más la agrobiodiversidad en sus huertos caseros, incluidas las variedades tradicionales y la riqueza de las variedades de cultivos (Birol et al. 2006). Un estudio similar en México utilizó el método del experimento de elección para estimar la valoración de la riqueza de especies de cultivos y la riqueza de variedades de maíz en el sistema de milpa, y para explorar el interés de los agricultores en cultivar maíz modificado genéticamente (Birol et al. 2009).

En el marco teórico del hogar agrícola, el precio sombra se refiere al valor no observado de un bien o servicio para los que toman las decisiones en el hogar. El precio sombra, que es un valor distinto del precio de mercado, varía entre los hogares y está determinado por las características de los hogares, como su origen étnico, idioma, riqueza y ciclo de vida, y su acceso a mercados donde los bienes y servicios pueden ser obtenidos. Se espera que el precio sombra difiera del precio de mercado cuanto más alejado esté el hogar de los mercados y cuando esté más orientado a la subsistencia.

Un estudio reciente desarrolló un método para estimar el precio sombra de las variedades tradicionales de maíz en México con regresión multivariada, basado en datos de encuestas representativas a nivel nacional (Arslan y Taylor 2009). Los investigadores encontraron que los precios sombra son mucho más altos que los precios de mercado para las variedades tradicionales de maíz, pero se acerca a los precios del mercado para las variedades mejoradas de maíz, particularmente en las áreas indígenas del sur y sudeste de México. Este hallazgo confirma que existen incentivos económicos para que algunos agricultores continúen cultivando variedades tradicionales.

Una fuente que presenta una introducción al enfoque del experimento de elección con ejemplos de aplicaciones en contextos de países en desarrollo es Bennett y Birol (2010).

Uso de la Información Sobre Cómo los Agricultores Valoran la Diversidad en el Manejo de Decisiones y Recomendaciones

Los gobiernos y otras instituciones comúnmente diseñan e implementan subsidios a la producción, exenciones de impuestos, controles de precios y otras políticas agrícolas que influyen, directa o indirectamente, en las decisiones de los

Cuadro 9.2. El método del experimento elegido: un ejemplo de Hungría

Ejemplo de conjunto de opciones planteadas a un encuestado en una encuesta de hogares húngaros que mantienen huertos caseros. Este conjunto de opciones se desarrolló como una combinación seleccionada al azar de características (o atributos) de los huertos caseros que se identificaron en base a la investigación inicial de antecedentes. En este estudio, los principales atributos fueron: número total de variedades cultivadas, presencia o ausencia de variedades locales, presencia o ausencia de ganado, uso de métodos orgánicos y autosuficiencia del hogar agrícola. A cada encuestado se le presentó un conjunto de opciones como el siguiente, y se le hizo la siguiente pregunta:

Suponiendo que los siguientes huertos caseros eran las ÚNICAS opciones disponibles, ¿cuál preferiría cultivar?

<i>Características del huerto casero</i>	<i>Huerto casero Perfil A</i>	<i>Huerto casero Perfil B</i>	<i>Hogar & Huerto</i>
Número total de variedades de cultivos que se cultivan en el huerto casero	25	20	
Huerto casero tiene una variedad tradicional	No	Si	
La producción de huertos caseros se integra con la producción ganadera	Si	Si	Ni el huerto casero A ni el huerto casero B. No cultivaría un huerto casero.
El huerto casero produce completamente con métodos orgánicos	No	No	
La proporción esperada (en %) del consumo anual de alimentos en el hogar se reunió a través de la producción de alimentos en el huerto casero	45	75	

Luego se le pidió al encuestado que marcara una opción para “Prefiero cultivar: (1) Huerto casero A, (2) Huerto casero B, (3) Ninguno”.

Cada agricultor participante en el experimento de elección se presentó con cinco o seis conjuntos de elecciones diferentes, con cada conjunto conteniendo una permutación diferente de las características delineadas para los dos huertos caseros hipotéticos (A y B). En el estudio, se registraron un total de 1,487 opciones de 277 agricultores participantes en tres regiones diferentes de Hungría, que constituyeron el conjunto principal de datos que se sometió al análisis estadístico.

(Fuente: Birol et al. 2006).

agricultores sobre la diversidad. Muchas políticas han distorsionado las decisiones a nivel de finca sobre las elecciones de variedades y el mantenimiento de la

diversidad y, en última instancia, han funcionado en contra de la conservación de la biodiversidad agrícola (Pascual y Perrings 2007). Comprender cómo los agricultores valoran la diversidad es un primer paso en el diseño de políticas agrícolas que proporcionen incentivos para mantener la diversidad en fincas. Los valores de diversidad, tanto comerciales como no comerciales, son puntos de partida importantes en el desarrollo de políticas para apoyar la diversidad en fincas, que es el tema del Capítulo 10.

Lecturas Adicionales

- Bennett, J. W., y E. Birol, Eds. 2010. *Choice Experiments in Developing Countries: Implementation, Challenges and Policy Implications*. Edward-Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
- Kontoleon, A., A. Pascual, y M. Smale, Eds. 2009. *Agrobiodiversity, Conservation and Economic Development*. Routledge, London and New York.
- Lipper, L., C. L. Anderson, y T. J. Dalton. 2010. *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development*. Earthscan, London.
- Nicholson, W., y C. Snyder. 2011. *Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions*, 10th ed. Thomson/South-Western.
- Smale, M., Ed. 2006. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Wooldridge, Jeffrey. 2009. *Introductory Econometrics*, 4th ed. South-Western, Cengage Learning.



Ilustración 10. El valor total de la diversidad de las variedades de cultivos y sus servicios no puede ser capturado por los mercados debido a la falta de internalización de los costos externos. Muchos agricultores están ubicados a grandes distancias de los mercados urbanos y regionales y carecen de acceso a medios de transporte eficientes o confiables. Arriba a la izquierda: agricultor en Perú a lo largo del río Ucayali, un afluente del Amazonas, llevando su maíz para vender en otras aldeas; viajar en canoa a la ciudad más cercana, Pucallpa, puede tomar hasta tres días. Abajo a la izquierda: mujer llevando su cosecha de cebada al mercado en Jumla, Nepal. Arriba a la derecha: selección de variedades de manzana locales en un mercado de frutas en Uzbekistán. Los huertos caseros son una práctica de uso de la tierra en torno a una finca donde los miembros de la familia siembran y mantienen muchas variedades de plantas anuales y perennes, y pueden proporcionar ingresos familiares. Abajo a la derecha: huerto casero administrado por una mujer en Yaxcabá, Yucatán, México; ella planta variedades de maíz que pueden no estar en los campos principales, y las asocia con varias variedades de chile y cultivares perennes. Créditos de las fotos: L. Collado (arriba a la izquierda), A. H. D. Brown (arriba a la derecha), D. Jarvis (abajo a la izquierda), J. Tuxill (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 10

Política y Diversidad Genética en Fincas

Al final de este capítulo, el lector debe comprender:

- Cómo las políticas y los marcos legales influyen en las capacidades de los agricultores para acceder, usar, intercambiar y mantener la diversidad genética de los cultivos en fincas.
- Los posibles mecanismos políticos hacia la creación de incentivos para que los agricultores conserven y usen la diversidad en fincas, en línea con el concepto internacionalmente reconocido de los derechos de los agricultores.

Introducción

Este capítulo explica cómo las políticas y los marcos legales crean desincentivos u obstáculos para que los agricultores mantengan y manejen la diversidad vegetal y presenta una visión general de conceptos y métodos para analizar y desarrollar medidas de política orientadas a la creación de incentivos para que los agricultores continúen utilizando los recursos fitogenéticos en las fincas, en línea con el concepto de los derechos de los agricultores, tal como lo reconoce el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura.

La mayoría de los ejemplos en este capítulo se refieren a las políticas y leyes de los gobiernos nacionales, ya que se espera que las medidas públicas

a nivel nacional tengan la mayor influencia en una gama de diferentes actores involucrados en el manejo de la diversidad de los cultivos. Sin embargo, el término “política” puede y debe entenderse en un sentido más amplio, incluyendo las políticas y reglas internas adoptadas por organizaciones públicas y privadas involucradas en la investigación y el desarrollo agrícola (por ejemplo, centros internacionales de investigación agrícola, instituciones nacionales de investigación, donantes internacionales que apoyan proyectos de desarrollo, y la industria privada).

Políticas y Marcos Legales que tienen un Impacto Negativo en las Capacidades de los Agricultores para Usar la Diversidad en Fincas

La modernización de la agricultura suele ser uno de los principales componentes de las estrategias de desarrollo adoptadas por los gobiernos. A menudo depende de la mecanización de los procesos de producción, el riego de tierras cultivables y la adopción de “paquetes tecnológicos”, que incluyen variedades modernas de plantas y los agroquímicos (pesticidas, fertilizantes, herbicidas) necesarios para garantizar una mayor productividad. La generación y difusión de tales paquetes tecnológicos se basan frecuentemente en un modelo bastante simple y lineal según el cual los científicos en instituciones de investigación y compañías agroquímicas desarrollan la tecnología y la demuestran a los agricultores, que son vistos como usuarios pasivos de tecnologías (Biggs 1990).

Si bien proliferan en todo el mundo ejemplos de enfoques mucho más colaborativos para la generación y difusión de tecnología, las políticas gubernamentales predominantes aún se inspiran en el modelo clásico y simple de transferencia de tecnología lineal. En consecuencia, tales políticas están diseñadas para (1) garantizar que las tecnologías sirvan al objetivo final de modernizar la agricultura para aumentar la productividad, y (2) apoyar a los actores en lo que se supone que deben hacer de acuerdo con una comprensión simple de la generación y transferencia de tecnología.

En esta sección, describimos cómo las políticas públicas sirven para estos dos propósitos y presentan los efectos en la disponibilidad y el uso de la diversidad genética en fincas. Aquí se presentan ejemplos de diferentes partes del mundo que ilustran cómo se pueden adoptar diferentes iniciativas para minimizar o evitar las consecuencias negativas de las políticas.

Instrumentos de Política que Garantizan que las Tecnologías Respondan al Propósito de la Modernización de la Agricultura: Leyes de Semillas

Usamos el término “leyes de semillas” para referirnos al conjunto de leyes y reglamentos emitidos por el estado para garantizar que las variedades de cultivos disponibles para los agricultores tengan un valor agronómico en términos de aumento de la productividad, y que sean uniformes y estables a largo plazo. El término “sistema formal de semillas” se usa a menudo para referirse a las leyes de semillas y los actores que cumplen sus requisitos para el desarrollo de nuevas variedades, así como la producción y diseminación de sus semillas, es decir, instituciones formales de investigación y organizaciones de producción de semillas.

Las leyes de semillas se establecieron por primera vez como resultado del desarrollo de productos especializados de fitomejoramiento en Europa a mediados del siglo XIX, con el fin de crear transparencia en un mercado de semillas donde los nombres de las variedades proliferaban rápidamente (Bishaw y Van Gastel 2009). De acuerdo con la normativa vigente, las variedades deben registrarse antes de que su semilla pueda estar disponible en el mercado. El registro requiere que la nueva variedad sea distinta de todas las variedades conocidas, uniforme en sus características esenciales, y altamente estable después de su repetida multiplicación (DUS = Distinción, Uniformidad y Estabilidad). Estos criterios garantizan que cuando un agricultor compra semillas de una variedad registrada, efectivamente sean de esa variedad, y que todas las plantas se desempeñen equitativamente a lo largo del tiempo. Además, se introdujo la prueba de Valor para Cultivo y Uso (VCU) como un requisito para la liberación comercial, para que los agricultores tengan una evaluación independiente del rendimiento, la calidad y el valor del grano. A medida que los países en desarrollo han establecido sistemas de comercialización de semillas inspirados en gran medida en Europa, han adoptado sistemas de certificación de semillas y de registro de variedades que son similares al modelo europeo (Grain 2005).

Las variedades tradicionales seleccionadas por los agricultores y las variedades mejoradas resultantes del fitomejoramiento participativo a menudo no cumplen con los rígidos criterios de uniformidad y estabilidad requeridos por las leyes de semillas. Además, los agricultores generalmente no pueden pagar los costos involucrados en el registro de variedades vegetales. En algunos países, ni siquiera pueden solicitar el registro, ya que no califican como científicos. La consecuencia de todo esto es que sus variedades quedan fuera del mercado legal de semillas (Leskien y Flitner 1997, Louwaars 2002). Como resultado, la mayoría

de los tipos de semillas disponibles en el mercado legal o formal son de las variedades modernas, que no siempre satisfacen las necesidades de los agricultores tradicionales, especialmente en la agricultura de bajos insumos y en condiciones ambientales extremas. En la agricultura industrial, los agroquímicos aseguran la fertilización, controlan plagas y enfermedades e inhiben las malezas; el suministro de agua está garantizado por sistemas de riego mecanizados o por lluvias relativamente predecibles y suficientes. En este escenario, las estrategias de mejoramiento de cultivos pueden no enfocarse en aquellos rasgos que permiten a la planta obtener y hacer un mejor uso de recursos tales como agua y nutrientes del suelo sin el uso de insumos agrícolas. Tales rasgos suelen ser muy relevantes en los sistemas agrícolas tradicionales que no utilizan mucho los insumos externos, y donde las variedades de cultivos luchan en condiciones climáticas extremas y variables. Además, las variedades modernas certificadas son uniformes y estables por definición. La uniformidad de todas las plantas de la misma variedad no siempre se valora en los sistemas agrícolas tradicionales. Por el contrario, como se discutió en el Capítulo 7, la variabilidad puede asegurar la estabilidad del rendimiento en condiciones desfavorables. De manera similar, la capacidad de las variedades para reproducir las mismas características a lo largo de los años (estabilidad) no es necesariamente buena para los agricultores tradicionales, ya que la capacidad de los cultivares de cambiar y adaptarse a las condiciones cambiantes (discutidas en el Capítulo 11) los hace más adaptables a los cambios ambientales.

En los países en desarrollo, las leyes sobre semillas rara vez se aplican a nivel local, y tanto las variedades tradicionales como las modernas se intercambian libremente entre los agricultores y se venden en los mercados locales (Louwaars y Burgaud, en prensa). Sin embargo, la sustitución de variedades tradicionales por modernas DUS, adquiridas de fuentes formales está respaldada por la acción de los servicios de extensión, que vinculan el uso de tales variedades con las facilidades de crédito y subsidios, y de la industria de procesamiento de alimentos, que impone el uso de variedades uniformes a sus proveedores (Tripp 1997).

Los sistemas formales de semillas existentes no pueden satisfacer toda la demanda de semillas. Las organizaciones públicas de semillas no tienen la capacidad de proporcionar semillas de buena calidad de manera oportuna, y las compañías privadas de semillas, especialmente si son grandes o medianas, no cubren áreas enteras en países donde no parece haber mercado para semillas mejoradas. Además, el sector privado ve ventajas en invertir en la multiplicación y diseminación de híbridos (que los usuarios deben comprar todos los años para mantener sus características únicas) y especies con una demanda relativamente grande y bien estructurada. Esto conduce a un descuido de aquellos cultivos

sembrados principalmente por agricultores marginales con poco acceso a dinero en efectivo o aquellas especies que no están respaldadas por los esquemas nacionales de subsidios. Este es el caso de las leguminosas, que requieren grandes cantidades de semilla por hectárea y son más difíciles de almacenar, y muchas otras especies locales “menores”. Para estos cultivos, y para los pequeños agricultores en áreas remotas, su propia cosecha, otros agricultores y los mercados locales son las principales fuentes de semilla.

La principal limitación de estas fuentes informales es que no se garantiza la calidad de las semillas no certificadas, incluida la pureza varietal. Este problema se agrava cuando la migración y otros factores conducen a la desintegración de las redes sociales que sostienen el intercambio informal de semillas y los mecanismos informales de control de calidad que acompañan a las redes informales de intercambio (véase el Capítulo 11). Además, la ilegalidad de vender semillas no certificadas desalienta el desarrollo y el reconocimiento formal de modelos alternativos de suministro de semillas (Lipper et al. 2010). Como productores de semillas, los agricultores no pueden beneficiarse del reconocimiento oficial de sus variedades, y como consumidores de semillas no pueden obtener semillas de calidad certificada de las variedades que prefieren.

Como estas limitaciones han sido reconocidas en varios países, se han propuesto y probado diferentes modelos para regular la comercialización de variedades tradicionales y modernas de una manera que se adapte mejor a las necesidades tradicionales de los agricultores. Algunos de ellos se presentan en el Capítulo 12, como parte de los instrumentos que mejoran la disponibilidad de una cartera de materiales de siembra genéticamente diversos, que sea suficiente para que los agricultores los utilicen en sus sistemas de producción.

Un ejemplo se puede encontrar en Vietnam: la Decisión 35/2008, aprobada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Vietnam, tiene como objetivo apoyar los esfuerzos de los agricultores para producir semilla económica y de buena calidad. Describe el proceso para que los agricultores obtengan apoyo financiero (hasta 100 por ciento) para recolectar, guardar, seleccionar, evaluar, registrar y producir semillas de variedades locales y define las condiciones de calidad y los procesos de monitoreo de calidad para semillas de dichas variedades locales que se han distribuido como las variedades registradas en el catálogo oficial de variedades de plantas comercializadas en Vietnam. En el 2010, dos variedades de arroz de agricultores se habían registrado en el catálogo oficial, y los agricultores habían recibido apoyo financiero para producir y comercializar semillas de estas variedades con la calidad requerida. El valor de la Decisión radica también en el proceso que condujo a su adopción en el 2011: esta medida

legal es el resultado de un proceso altamente participativo en un país donde las decisiones de política generalmente se toman de manera muy centralizada.

Instrumentos de Política que Apoyan el Mejoramiento de los Cultivos para el Desarrollo de Variedades Modernas: Derechos de Propiedad Intelectual

Las leyes de propiedad intelectual otorgan a los mejoradores el derecho exclusivo de explotar, durante varios años, las variedades de plantas que desarrollan. Sin algún tipo de control sobre el uso de las variedades de los mejoradores, cualquier productor de semillas podría comercializarlas, y los agricultores podrían reproducirlas libremente sin tener que comprar semillas para las siguientes cosechas, evitando que los obtentores se beneficien de sus creaciones. El primer sistema *sui generis* para aplicar la protección de la propiedad intelectual a las variedades de plantas fue adoptado en los Estados Unidos en 1930, mediante la Ley de Patentes de Plantas. En Europa, la protección de cultivares fue iniciada por Francia, y adoptada por varios estados a través de la Convención Internacional para la Protección de Nuevas Variedades de Plantas, desarrollada en 1961 por la Unión Internacional para la Protección de Nuevas Variedades de Plantas (UPOV, según el acrónimo francés). Este marco legal busca proteger nuevas variedades de plantas que han sido producidas por métodos y técnicas que se consideran “científicos”, y que generalmente dan como resultado cultivares homogéneos y estables, adaptados al modelo agrícola industrial.

Partiendo del entendimiento de que la protección estandarizada de la propiedad intelectual en todo el mundo facilitaría la circulación de bienes y servicios mediante el comercio internacional, el Acuerdo sobre los Aspectos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (TRIPS), adoptado en 1992, impuso un nivel mínimo de protección de los derechos de propiedad intelectual sobre todos los países miembros de la OMC (WTC). Con respecto a las plantas y variedades de plantas, el TRIPS estableció que los países (1) pueden permitir la patentabilidad de las plantas y (2) deben permitir la protección de nuevas variedades de plantas. La implementación de estas disposiciones por parte de los países en desarrollo se ha visto favorecida por acuerdos bilaterales con los Estados Unidos, los países europeos y Japón, ya que estos acuerdos incluyen regularmente la adopción de medidas efectivas para la protección de la propiedad intelectual.

Como los marcos jurídicos internacionales han ampliado el alcance geográfico y el tema de la protección de los derechos de propiedad intelectual, estos se han convertido en un elemento recurrente en las discusiones sobre el papel de

los agricultores como conservadores y creadores de diversidad de los cultivos. A continuación, se relacionan los principales problemas en tales discusiones (The Crucible Group 1994):

1. Los derechos de propiedad intelectual imponen limitaciones al uso, el ahorro, la duplicación o el intercambio de germoplasma vegetal. Los regímenes de protección de variedades vegetales inspirados en la UPOV han permitido históricamente a los agricultores guardar semillas de variedades protegidas para su reutilización en sus explotaciones. Una revisión del Convenio de la UPOV en 1991 hizo que esta exención fuera opcional para los miembros de la UPOV. Algunos estados han decidido otorgar a los agricultores un derecho incondicional a replantar las semillas de su cosecha anterior, mientras que otros han limitado este derecho a ciertos cultivos o a los pequeños agricultores.

Varias decisiones en las oficinas de patentes de los Estados Unidos y Europa han allanado el camino hacia la patentabilidad de las formas de vida. De acuerdo con la legislación europea, las variedades de plantas no pueden ser objeto de protección por patente. Sin embargo, en la práctica, la protección de patentes se aplica a los procesos de reproducción, la planta resultante, sus partes y sus semillas (Oficina Europea de Patentes 2009). En este escenario, la exclusión legal de variedades de plantas de la patentabilidad es superflua. En los Estados Unidos y en otros países, patentar variedades de plantas está explícitamente permitido por la ley. Los regímenes de patentes no poseen ninguna exención similar a la exención de la UPOV para los agricultores.

En el campo de la ciencia y la tecnología agrícola, hay un marcado crecimiento en el número de solicitudes de patentes y derechos del obtentor para controlar la explotación de plantas, variedades de plantas y sus semillas, particularmente en países desarrollados y economías emergentes. Esto ha generado una mayor preocupación sobre el posible impacto de la protección de la propiedad intelectual en (1) mejoradores y otros investigadores de plantas que necesitan tener acceso al germoplasma avanzado para el desarrollo de variedades, y (2) agricultores que pueden necesitar variedades modernas/protegidas para combatir los estreses bióticos y abióticos. Sin embargo, tal impacto no ha sido aún demostrado por evidencia empírica. Además, aunque tanto el alcance como la extensión geográfica de la protección se están expandiendo, la preponderancia de la protección se aplica a los países de ingresos altos y me-

dianamente altos, lo que deja a los países pobres libres para utilizar estas tecnologías. Además, una gran parte de las variedades protegidas son ornamentales, no cultivos alimenticios, y la mayoría de las variedades vegetales tienen protección que permite a los titulares de derechos limitar o excluir a otros de la comercialización, pero no del mejoramiento con el material protegido o guardar sus semillas para el futuro cultivo, dejando libres a los investigadores y los agricultores de los países desarrollados y en desarrollo para utilizarlos en sus actividades (Koo et al. 2004).

2. Los regímenes de propiedad intelectual no pueden proteger las innovaciones de los agricultores y las comunidades de agricultores. Los regímenes de propiedad intelectual consideran de facto a los mejoradores profesionales como los únicos capaces de aportar innovaciones a la agricultura. De forma similar a lo que hacen las leyes de semillas, la protección de las variedades vegetales requiere que las nuevas variedades sean distintas, uniformes y estables. Las variedades tradicionales y de los agricultores rara vez cumplen estos criterios y, por lo tanto, no son adecuadas para la protección. Algunas leyes nacionales han desarrollado sistemas *sui generis* de derechos de propiedad intelectual para proteger variedades locales y nuevas variedades desarrolladas por los agricultores. Ejemplos de estos sistemas son la Ley de Protección de Variedades Vegetales de 1999, la Ley de Protección de Variedades Vegetales y Derechos de los Agricultores del 2001, y la Ley de Protección de Nuevas Obtenciones Vegetales de Malasia del 2004. Sin embargo, el éxito de tales leyes para lograr la conservación de la diversidad de los cultivos y la protección de los derechos de los agricultores es cuestionable. También existe una gran oposición a la creencia de que otorgar derechos privados a las variedades de los agricultores sería beneficioso para los agricultores y las comunidades de agricultores (Eyzaguirre y Dennis 2007). Jaffé y Van Wijk (1995: 76) argumentan que la introducción de la protección de variedades vegetales causa un cambio de principio: “Cuando los agricultores comienzan a usar variedades protegidas, su derecho natural de ahorro de semillas se convierte en un derecho legal, o incluso menos, un ‘privilegio’. “Tal derecho legal está sujeto a la toma de decisiones políticas y posiblemente propenso a restricciones en el futuro”.
3. Los esquemas actuales de propiedad intelectual no proporcionan herramientas para reconocer y/o compensar a los agricultores cuyas variedades tradicionales y/o conocimiento ancestral se convierten en la fuente de variedades modernas desarrolladas por otros.

4. Las fallas del sistema de propiedad intelectual han llevado a otorgar patentes y protección de variedades vegetales a variedades de plantas que son de hecho de dominio público y que tradicionalmente han sido cultivadas por los agricultores. Un reciente y famoso caso es el del frijol Enola. En 1999, la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO) y la Oficina de Protección de Variedades Vegetales de los Estados Unidos (USPVPO) otorgaron una patente y un certificado de PVP, respectivamente, a Larry M. Proctor para un frijol común de campo llamado Enola. En la solicitud de la patente, Proctor explicó que había comprado algunos frijoles en un mercado en México y, después de unos años de siembra, había desarrollado “una nueva variedad de frijol que produce semillas amarillas de colores distintivos que permanecen relativamente sin cambios por temporada”. Muchas organizaciones denunciaron la patente de Enola, incluido el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la organización no gubernamental Grupo ETC, de los Países Bajos. El CIAT pudo cuestionar las afirmaciones de Proctor al proporcionar evidencia de 260 frijoles amarillos entre las muestras de frijoles conservados en su banco de germoplasma, y también presentó varios artículos científicos sobre frijoles amarillos que demostraron la existencia de literatura previa. En el transcurso de la revisión de la patente, varios estudios mostraron la identidad casi completa de Enola con tipos de cultivares mexicanos/peruanos preexistentes y comúnmente cultivados por agricultores latinoamericanos, así como la identidad del genotipo de semilla de color amarillo con la de los cultivares de frijol amarillo existentes y documentados en la literatura científica antes de la solicitud de la patente (Pallottini et al. 2004). Azufrado Peruano 87, que fue lanzado por primera vez por el Ministerio de Agricultura de México en 1987, demostró tener una huella genética idéntica a la de la semilla de Enola. La USPTO emitió una decisión preliminar en 2003 que rechazó todas las reclamaciones de patentes y dio un rechazo final en diciembre de 2005. Proctor presentó una apelación a través de la USPTO, y la patente permaneció vigente mientras la apelación estaba siendo considerada por la Junta de Apelaciones e Interferencias. Finalmente, la junta rechazó todas las reclamaciones de patente en abril de 2008, nueve años después de que Proctor comenzara a explotar la patente al reclamar US \$ 0,6 por cada libra de frijol amarillo vendida en los Estados Unidos. Esta decisión fue

confirmada por el Tribunal de Apelaciones de Estados Unidos para el Circuito Federal en julio de 2009.

Instrumentos de Política para Ayudar a los Agricultores a Adoptar Variedades Modernas de Cultivos Valiosos en los Mercados Nacionales e Internacionales: Subsidios

Los subsidios son una forma de incentivo proporcionado por el gobierno u otras instituciones, y están destinados a alentar a las personas a participar en actividades que de otro modo no podrían emprender. Los subsidios son un instrumento comúnmente utilizado para promover la adopción y difusión de nuevas tecnologías agrícolas mediante la reducción de los riesgos iniciales y el costo de aprender a utilizar una nueva tecnología. Al superar las fallas temporales del mercado, compensar los costos fijos de la infraestructura y reducir el riesgo, los subsidios mejoran el uso de insumos (semillas de variedades mejoradas, fertilizantes, pesticidas, créditos) para aumentar la producción agrícola, lo que eventualmente puede contribuir a la reducción de la pobreza (Banco Mundial 2008) Se pueden encontrar muchos ejemplos del éxito de los subsidios en la disseminación de cultivos y variedades particulares en la literatura; por ejemplo, sin apoyo público en forma de incentivos, información e infraestructura, la Revolución Verde en Asia no habría tenido éxito. La difusión de variedades de alto rendimiento de trigo y arroz, particularmente en la India y China, fue posible gracias a un fuerte apoyo político y a la inversión en investigación y desarrollo agrícola. Del mismo modo, los incentivos económicos, incluidos los precios subvencionados de las semillas y los alimentos basados en el maíz, han sido fundamentales en la adopción y difusión del maíz en África. Más recientemente, el programa subsidiado de minikit, implementado por los gobiernos locales en Bengala Occidental, India, ha ayudado en la difusión del germoplasma mejorado de arroz y otros cultivos.

Se reconoce cada vez más que los subsidios obstaculizan potencialmente la demanda y el uso de la diversidad de cultivos en la producción agrícola. Los subsidios generalmente se otorgan a variedades mejoradas de los principales cereales (arroz, trigo, maíz) a través de sistemas públicos de distribución, lo que desincentiva a los agricultores a cultivar otros cultivos -incluyendo aquellos de los que dependen sus medios de subsistencia, como granos pequeños, legumbres y tubérculos- y a utilizar variedades tradicionales de aquellos cultivos o variedades no registradas desarrolladas a través de métodos alternativos de mejoramiento, como el fitomejoramiento participativo y la selección participativa de variedades (discutido en el Capítulo 12).

Algunos estudios muestran cómo, en Filipinas, los subsidios gubernamentales masivos en arroz híbrido han distorsionado la capacidad de los agricultores para tomar una decisión orientada entre híbridos y variedades de arroz endógeno (Cororaton y Corong 2000, David 2007). En la India, los cultivos tradicionales como el mijo, el sorgo y las legumbres, que son clave para la seguridad alimentaria de los agricultores, no están cubiertos por subsidios agrícolas, que para semillas como el arroz híbrido pueden llegar al 50–60 por ciento del precio. A veces, las semillas se distribuyen de forma gratuita, no siempre con buena calidad. Los subsidios también están disponibles para fertilizantes, maquinaria, riego y otros insumos agrícolas.

En algunas de las antiguas repúblicas soviéticas de Asia Central, la producción de cultivos prioritarios está regulada por los gobiernos. En Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán, todavía existe una estructura institucional de mando y control que, en algunos casos, encierra a los agricultores en un patrón rígido de cultivo de algodón o trigo (normalmente en la mejor tierra de regadío), privándoles de libertad para decidir qué sembrar en sus fincas. La intervención estatal generalizada se lleva a cabo a través de planes detallados para las entregas de algodón y las superficies cultivadas, el momento de la siembra y la cosecha, y los precios de producción. A cambio, estos planes van acompañados de programas de apoyo público que garantizan el acceso de los productores de algodón al agua y a los subsidios económicos para la energía y los fertilizantes. La práctica del gobierno de reservar acceso al agua y otros insumos de producción para el trigo o el algodón impulsa a los agricultores hacia el abandono de cultivos no prioritarios por la expansión de los sistemas de monocultivo (Lapeña et al. 2013). En Kazajstán, los esquemas de subsidio se aplican a una lista de cultivos prioritarios y abordan principalmente las necesidades de los grandes productores agrícolas de cereales, haciéndolos inaccesibles para las pequeñas explotaciones. En el 2009, también se estableció un mecanismo de apoyo financiero para las plantaciones perennes de árboles frutales, bayas y vides, pero solo para las variedades registradas en el Registro Nacional de Variedades Vegetales y para sistemas modernos de producción con un mínimo de cinco hectáreas. Esto deja fuera del mecanismo de apoyo a las pequeñas fincas donde se cultivan variedades ancestrales aplicando prácticas tradicionales de bajos insumos (Lapeña et al. 2013).

La gestión de la diversidad de cultivos en la finca por parte de los agricultores puede verse afectada por complejos esquemas de subsidios públicos, no exclusivamente dirigidos a la agricultura. Por ejemplo, en México, los programas agrícolas del gobierno han jugado un papel importante para fomentar la adopción del maíz híbrido, mientras que un programa de reducción de la

pobreza, con un fuerte componente de empoderamiento de la mujer (programa “Oportunidades”) parece haber fomentado la retención de variedades tradicionales (Bellon y Hellin 2010).

En la India, los sistemas de distribución de alimentos subsidiados para los pobres (Fair Price Shops) respaldan el consumo de alimentos a base de trigo, arroz, maíz y azúcar. Otros programas de seguridad alimentaria como los que apoyan las comidas del mediodía en la escuela también se basan exclusivamente en cultivos mayores, teniendo un impacto negativo en la demanda de alimentos basados en cultivos tradicionales indios y por lo tanto también en el interés de los agricultores de continuar cultivando dichos cultivos (López Noriega et al. 2012).

Procesos Políticos: Una Descripción General de Conceptos y Métodos

El término “proceso político” comúnmente se refiere a un proceso complejo y dinámico a través del cual los temas se ponen en la agenda como asuntos de interés público y están sujetos a la toma de decisiones por parte de los gobiernos. A lo largo del camino, numerosos mecanismos intangibles definen la manera en que se piensan y se mencionan estos temas (Keeley 2001). Los procesos de política abarcan (Karl 2002):

- Formulación (que involucra recopilación de información, análisis y toma de decisiones).
- Implementación (que implica el establecimiento de reglas, regulaciones e instituciones).
- Monitoreo y evaluación.

Según una visión clásica y aun ampliamente aceptada de la formulación de políticas, los procesos políticos siguen un modelo vertical descendente donde se supone que los responsables de la toma de decisiones cuentan con la experiencia necesaria para garantizar que sus decisiones conduzcan a acciones racionales y pronosticadas a nivel de implementación, a través del seguimiento de etapas secuenciales (Hogwood y Gunn 1984, Fischer 1990):

- Reconocimiento y definición de la naturaleza de los problemas.
- Identificando posibles cursos de acción.
- Sopesando las ventajas y desventajas de las alternativas.
- Eligiendo la opción que ofrece la mejor solución.

- Implementando la política.
- Evaluando el resultado.

El modelo lineal puede explicar los procesos de política hasta cierto punto, pero la evidencia muestra que las cosas en realidad no funcionan de una manera tan simple. La formación e implementación de políticas son procesos más complejos donde la negociación entre las partes interesadas, la combinación de diferentes tipos de conocimiento y los juegos de poder entre los actores definen tanto el proceso como sus resultados (Dobuzinskis 1992). Además, la implementación requiere una serie de acciones para que la política tenga resultados prácticos: desarrollo de capacidades, participación de actores claves, resolución de conflictos, compromiso, planificación de contingencia, movilización de recursos y adaptación (Sutton 1999).

La gran variedad de formas en que se pueden formular las políticas muestra que no existe un único modelo de formulación de políticas que sea universalmente válido y aplicable. Cómo se hace la política depende del contexto. Con base en la literatura existente y en nuestras experiencias pasadas, proponemos que el trabajo relacionado con las políticas dentro de los proyectos de investigación y desarrollo sobre la conservación y el uso de la diversidad de cultivos en las fincas se basa en los siguientes pilares.

Identificación de Áreas Para la Reforma Política

La necesidad de intervenciones políticas debe evaluarse de acuerdo con un análisis combinado de las necesidades y limitaciones de los agricultores con respecto al acceso a la diversidad de los cultivos y su manejo, y a las políticas y marcos legales existentes, incluido su nivel de implementación y sus lagunas. Preguntas como las siguientes pueden guiar dicho análisis:

- ¿Qué políticas afectan las decisiones de los agricultores sobre qué sembrar?
- ¿A qué niveles están activas tales políticas? ¿Internacional, regional, nacional, subnacional, local?
- ¿Las políticas se implementan realmente? ¿Qué instituciones están a cargo de la implementación de políticas?
- ¿En qué medida son necesarios los procesos de políticas para abordar las necesidades de los agricultores? ¿Hay enfoques/soluciones más efectivas?

- ¿Qué parte del proceso de política necesita más atención: recopilación de información, análisis, toma de decisiones, formulación de leyes y reglamentos, establecimiento de instituciones, evaluación, etc.?
- ¿Qué restricciones a la reforma de políticas se pueden prever?

Comprender el Contexto en el Que Tiene Lugar el Proceso Político

Comprender el contexto político es crucial para determinar posibles puntos de entrada para la influencia política, evaluar la viabilidad de posibles intervenciones de política y elegir los enfoques y metodologías apropiados para la formulación e implementación de políticas. El contexto político está definido por una serie de elementos. Algunos de los más relevantes son:

- el tipo de régimen que tiene el país (democrático o menos),
- la estructura del gobierno (centralizada o descentralizada),
- la transparencia, o la falta de transferencia, de su burocracia,
- la cultura del país en relación con la participación de los ciudadanos en la legislación y la formulación de políticas,
- los canales existentes para la influencia política y el desarrollo de políticas,
- las prioridades del gobierno con respecto al desarrollo socioeconómico y la agricultura,
- la disposición y la capacidad de la estructura gubernamental para emprender reformas normativas e institucionales en relación con la agricultura, y
- cambios repentinos o progresivos que tienen fuertes implicaciones en el área de la agricultura, como la transición a una economía de mercado, un acuerdo comercial internacional, la introducción de nuevas tecnologías de producción, un conflicto o un acuerdo de paz.

Poniendo en Práctica Herramientas Participativas Para la Investigación y el Desarrollo de Políticas

La participación de los interesados, entendida como un proceso donde individuos, grupos y organizaciones eligen tomar un rol activo en la toma de decisiones que los afectan o que ellos puedan afectar, se ha ido incorporando gradualmente en las políticas ambientales y agrícolas nacionales e internacionales.

les. La introducción de herramientas participativas en la toma de decisiones políticas responde a una comprensión de los procesos de políticas, que se aleja del proceso lineal clásico y reconoce las complejidades involucradas en la generación e implementación de políticas.

Se argumenta que la participación de las partes interesadas reduce la probabilidad de que los que están en la periferia del contexto de toma de decisiones estén marginados (Martin y Sherington, 1997). La participación de las partes interesadas puede empoderar a las partes interesadas al proporcionar espacio para diferentes tipos de conocimiento (local, tradicional, científico) para conocer y co-generar una mejor comprensión de los problemas complejos (Greenwood et al. 1993; Stringer y Reed 2007). De esta forma, la participación de las partes interesadas puede aumentar la probabilidad de que las decisiones se perciban como holísticas y justas, teniendo en cuenta la diversidad de valores y necesidades y reconociendo la complejidad de las interacciones entre los seres humanos y el medio ambiente. Se dice que la participación de los interesados permite el desarrollo de nuevas relaciones y evita las relaciones adversas, lo que ayuda a los individuos a apreciar la legitimidad de los puntos de vista de los demás (Stringer et al. 2006). Como consecuencia de todo esto, se percibe que la participación de las partes interesadas mejora la calidad de las políticas y, por lo tanto, aumenta su tasa de aceptabilidad, durabilidad y difusión entre los grupos meta (Fischer 2000; Beierle 2002).

Los beneficios potenciales de los enfoques participativos en el proceso de desarrollo de políticas adquieren particular importancia cuando se trata del uso de la diversidad genética de las plantas de cultivo (véanse los Capítulos 5 y 8). Las cuestiones de política requieren la participación de diferentes partes interesadas (desde agricultores hasta científicos de plantas, representantes de la industria privada y formuladores de políticas) y el uso combinado de una amplia gama de disciplinas (biología, agronomía, etnografía, sociología, economía, política). Esta complejidad tiene una serie de implicaciones para los procesos de formulación de políticas.

En primer lugar, la estructura compartimentada tradicional de los gobiernos actuales puede ser un obstáculo para implementar plenamente políticas sobre la conservación de la diversidad genética de los cultivos, ya que es posible que estas políticas deban ser reconocidas, apoyadas e implementadas por departamentos gubernamentales distintos de los tradicionalmente responsables del manejo de la agricultura y los recursos naturales (es decir, ministerios o departamentos de agricultura y medio ambiente). En segundo lugar, la participación insuficiente de todos los interesados en los procesos de toma de decisiones puede conducir al

establecimiento de políticas e instrumentos legales que no satisfagan las necesidades de las partes interesadas, o que puedan estar en conflicto con sus intereses o sus condiciones socioeconómicas y culturales. Este es a menudo el caso de los pequeños agricultores que viven en zonas rurales remotas.

Finalmente, la comunicación entre la comunidad científica y los legisladores es esencial para asegurar que las políticas de conservación y manejo se basen en evidencia científica, que las disposiciones legales sean técnicamente asequibles y que los impactos económicos y sociales de las políticas se consideren en la etapa de desarrollo.

Al definir qué herramientas de participación se deben aplicar a las actividades relacionadas con las políticas y, por lo tanto, cuánto se involucrarán los interesados en un proyecto determinado, se deben tener en cuenta una serie de factores, que incluyen: (1) los objetivos del proyecto; (2) los recursos necesarios y disponibles; (3) el contexto político que rodea el proyecto (como se describió anteriormente), y (4) quién dirige los procesos de políticas en el proyecto (una agencia gubernamental, una organización de investigación, una organización de la sociedad civil). Si el proyecto tiene un fuerte componente de intervención, y la evaluación y reforma de políticas se encuentran entre sus objetivos principales, se recomienda que el proyecto adopte esas herramientas participativas que no solo incluyen la recopilación de información y opiniones de diferentes partes interesadas, sino que también facilitan intercambios de puntos de vista y entendimiento entre ellos. Dado el papel central de los agricultores como conservadores y creadores de la diversidad de los cultivos en fincas, las actividades orientadas a dar a conocer los intereses de los agricultores son cruciales. Idealmente, la investigación de políticas en sí misma sería llevada a cabo por los agricultores, en cooperación con otros actores, para llamar la atención de los responsables políticos sobre las voces de las comunidades locales.

Se han concebido, probado y evaluado numerosas tipologías de herramientas participativas con el objetivo de aumentar la participación de los actores en la formulación de políticas agrícolas (Reed 2008). La Tabla 10.1 presenta estas herramientas clasificadas en diferentes categorías, que van desde la participación mínima a la intensa.

Identificar a los Interesados Para Que Participen en la Evaluación y Formulación de Políticas

El mapeo de los actores y la relación entre ellos facilita la identificación de aquellas organizaciones y personas que tienen interés en la conservación y el

uso de la diversidad genética de los cultivos en los campos de los agricultores. Algunas preguntas que pueden guiar dicho ejercicio son:

- ¿Qué grupos y organizaciones existen a nivel local?
- ¿A quiénes representan? (agricultores, servicios de extensión, empresas privadas, consumidores, etc.).
- ¿Hay algunos sectores sub-representados (por ejemplo, mujeres, pueblos indígenas)?
- ¿Cuáles son las relaciones de poder y la dinámica entre los grupos y las organizaciones?
- ¿Qué experiencia tienen en investigación participativa de políticas y desarrollo de políticas?
- ¿Qué recursos humanos, sociales y financieros pueden aportar a los procesos de políticas?
- ¿Qué habilidades poseen o carecen para el desarrollo de políticas participativas?
- ¿Qué tipo de fortalecimiento de capacidades necesitarían para sentirse fortalecidos?

Algunas metodologías aplicadas por las ciencias sociales, como el Análisis de Redes Sociales, son útiles en mapear a los interesados directos para que participen en los procesos de las políticas y las relaciones entre ellos.

La representación adecuada de los agricultores en las actividades relacionadas con las políticas de un proyecto dado depende de la participación de grupos y organizaciones de la sociedad civil que defiendan los intereses de los agricultores. Pueden ser organizaciones no gubernamentales internacionales o nacionales, sindicatos de agricultores, organizaciones religiosas, instituciones de investigación y otros. La asociación con organizaciones particulares debe basarse en un análisis comparativo de su función potencial de acuerdo con sus fortalezas y debilidades, y de las ventajas y desventajas de trabajar con ellas. Se pueden tener en cuenta los siguientes criterios para la selección de socios que trabajan a nivel local, aplicados por el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD 2001):

- Conocimiento de la situación local.
- Compromiso de desarrollar la capacidad organizacional local dentro de un marco de enfoques participativos.

TABLA 10.1. HERRAMIENTAS PARTICIPATIVAS PARA PROCESOS DE POLÍTICAS.

<i>Herramientas participativas</i>	<i>Nivel de implicación de las partes interesadas</i>	<i>Actividades e Instrumentos</i>
El intercambio de información	Las partes interesadas son informadas sobre sus derechos, responsabilidades y opciones	Borradores de documentos de políticas, informes de progreso sobre políticas existentes compartidas a través de medios tradicionales (radio, televisión, boletines informativos) y electrónicamente a través de sitios web y correo electrónico, o estableciendo un puesto de información en un espacio público.
Consulta	Las partes interesadas tienen la oportunidad de interactuar y proporcionar retroalimentación, y pueden expresar sugerencias e inquietudes. El análisis y las decisiones generalmente son hechas desde fuera, y las partes interesadas no tienen la certeza de que su aporte sea utilizado	Foros de discusión como mesas redondas, audiencias públicas, grupos focales, conferencias electrónicas. Encuestas (en persona o electrónicas). Herramientas de consulta de los gobiernos, como sondeos de opinión pública, comentarios sobre un borrador de política. Instituciones de consulta permanente como paneles de ciudadanos, comités asesores de representantes de grupos de interés
Cooperación y construcción de consenso	Las partes interesadas negocian posiciones y ayudan a determinar las prioridades, pero el proceso está dirigido por personas externas	Plataformas de múltiples partes interesadas Conferencia de consenso
Toma de decisiones	Los interesados tienen un papel en el diseño y la implementación de proyectos y políticas	Paneles de ciudadanos Foro de ciudadanos
Asociación	Las partes interesadas trabajan juntas como iguales hacia objetivos mutuos	Campañas públicas
Empoderamiento	Transferencia de control sobre la toma de decisiones y los recursos a las partes interesadas	Asociaciones Alianzas

Fuentes: Basado en Rietbergen-McCracken (1996) y OCDE (2001)

- Disponibilidad para colocar su propia operación en el contexto de planes comunitarios.
- Disposición demostrada para cooperar y compartir conocimiento con otros.
- Compromiso tanto con la movilización de recursos locales como con la capacidad de respuesta a las necesidades cambiantes de las comunidades locales.
- Estructura organizacional bien definida y transparente.
- Capacidad técnica, experiencia, manejo adecuado e instalaciones para las tareas a mano.

En relación con la formulación de políticas, se podrían agregar los siguientes criterios (Karl 2002):

- Una relación de confianza entre la organización y la comunidad local.
- Capacidad y compromiso de canalizar información hacia y desde la comunidad local y los responsables de la formulación de políticas.
- Capacidad y compromiso para facilitar el acceso directo y la comunicación.

Desarrollar Políticas Que Respalden el Papel de los Agricultores como Generadores, Administradores y Conservadores de la Diversidad de Cultivos

Garantizar el Acceso de los Agricultores a los Beneficios Derivados del Uso de la Diversidad en Fincas

La idea de que quienes conservan los recursos genéticos deberían recibir parte de los beneficios derivados del uso de esos recursos fue adoptada por la comunidad internacional mediante la adopción en 1993 del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). El CDB tradujo los derechos soberanos de los países sobre los recursos genéticos en tres principios concretos: (1) la responsabilidad de los países de conservar los recursos genéticos encontrados en sus territorios, (2) su capacidad para regular el acceso a dichos recursos, y (3) su derecho a recibir parte de los beneficios derivados del uso de esos recursos, incluidos los beneficios monetarios. Se esperaba que el enfoque de Acceso y Distribución de Beneficios (ABS) propuesto por el CDB y reafirmado por el Protocolo de Nagoya sobre ABS (2010) creara ciclos virtuosos de uso y reinversión en la conservación para

que muchos de los fondos necesarios para los países en desarrollo conservaran los recursos provendrían del uso comercial de estos recursos (Stannard 2012).

Ese mismo enfoque fue adoptado por los negociadores del Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA) para crear el sistema multilateral de acceso y distribución de beneficios (sistema multilateral), mediante el cual las partes contratantes acuerdan facilitar el acceso a los recursos genéticos de 64 cultivos y forrajes que son cruciales para la seguridad alimentaria en todo el mundo. Parte de los beneficios monetarios derivados del uso comercial de dichos recursos debe depositarse en un fondo multilateral destinado a apoyar proyectos para la conservación y el uso sostenible de los RFAA en los países en desarrollo (Halewood y Nnadozie 2008, Manzella 2012). Hasta ahora, sin embargo, el CDB y el Tratado aún no han logrado el objetivo de canalizar parte de los beneficios comerciales a los agricultores que conservan la diversidad de plantas en fincas. Los fondos disponibles en el fondo multilateral del Tratado y actualmente utilizados para apoyar proyectos de conservación y desarrollo en países en desarrollo son donaciones de países miembros y organizaciones internacionales. En el marco del CDB, los agricultores no han recibido apoyo directo para la conservación en fincas de las empresas comerciales que producen productos agrícolas y alimenticios. Estas empresas dependen de sus propias colecciones de trabajo y del material de mejoramiento de otras agencias públicas y privadas. La existencia de grandes colecciones públicas que proporcionan germoplasma e información sin cargo hace innecesario que las empresas comerciales tengan que recolectar recursos genéticos de cultivos de los campos de los agricultores.

Para garantizar que los agricultores obtengan acceso a los beneficios que otros obtienen al usar la diversidad genética que generan, conservan y administran, los gobiernos y las organizaciones, cuyo trabajo depende del uso de la diversidad genética, tienen la responsabilidad de institucionalizar modalidades de beneficios compartidos que garanticen a los agricultores la participación en los resultados monetarios y no monetarios de las actividades de investigación y comercio basadas en el uso de los recursos fitogenéticos, independientemente de que dichos recursos hayan sido adquiridos de colecciones *ex situ* o campos de agricultores. El sistema multilateral del Tratado va en esta dirección, pero su potencial se ve obstaculizado por la lenta implementación de los países y el limitado alcance del sistema: no todos los cultivos están incluidos, y solo los beneficios comerciales derivados de los recursos genéticos de cultivos patentados están sujetos a la obligación de la distribución de los beneficios.

Las iniciativas de ABS dirigidas por instituciones públicas y privadas deben guiarse por los resultados de un análisis exhaustivo del éxito y el fracaso de las leyes internacionales y nacionales que establecen mecanismos de ABS para crear incentivos para que los agricultores mantengan la diversidad genética en fincas en beneficio de diferentes usuarios. Entre estas leyes, los ejemplos indio y tailandés merecen atención. La Ley de Protección de Variedades Vegetales y Derechos de los Agricultores del 2001 se ocupa de cuestiones de participación en los beneficios, el establecimiento de un Fondo Nacional de Genes cuyo objetivo es recaudar dinero de la comercialización exitosa del conocimiento local o la transferencia de variedades locales para el mejoramiento, y dinero disponible para los titulares originales de los recursos genéticos. La Ley de Protección de Variedades Vegetales de 1999 crea también un fondo de distribución de beneficios, pero el fondo tailandés no está asociado con los beneficios reales derivados del uso de los recursos genéticos o conocimientos identificados: se efectúan las contribuciones impuestas a cualquier solicitud de variedad vegetal en Tailandia.

Avanzar en la Implementación de los Derechos de los Agricultores

El Artículo 9 del Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (adoptado por la Conferencia de la FAO en 2001) está dedicado a los derechos de los agricultores (véase el Cuadro 10.1). Según este artículo, los gobiernos deben adoptar medidas para promover y proteger los derechos de los agricultores. Algunas de esas medidas, según el texto del Tratado, pueden incluir la protección de los conocimientos tradicionales de los agricultores, el acceso a los beneficios derivados del uso de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, la participación en la toma de decisiones y el derecho a ahorrar, usar, intercambiar y vender semillas conservadas en la finca y material de propagación.

Sin embargo, la comprensión de los derechos de los agricultores y las modalidades para su implementación sigue siendo vaga. El Órgano Rector del Tratado Internacional ha tomado medidas para guiar a los países en el reconocimiento efectivo y práctico de los derechos de los agricultores. En última instancia, las medidas bajo el concepto general de “derechos de los agricultores” deberían estar orientadas a facilitar el papel de los agricultores como custodios y generadores de la diversidad genética en fincas. Numerosas experiencias en todo el mundo brindan ejemplos de buenas prácticas sobre cómo crear incentivos y eli-

Cuadro 10.1. Artículo 9 del Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura

Derechos de los agricultores

9.1 Las Partes Contratantes reconocen la enorme contribución que las comunidades locales e indígenas y los agricultores de todas las regiones del mundo, especialmente las de los centros de origen y diversidad de cultivos, han hecho y continuarán haciendo para la conservación y el desarrollo de los recursos fitogenéticos que constituyen la base de la producción alimentaria y agrícola en todo el mundo.

9.2 Las Partes Contratantes acuerdan que la responsabilidad de hacer efectivos los Derechos del Agricultor, en lo que se refiere a los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, recae en los gobiernos nacionales. De conformidad con sus necesidades y prioridades, cada Parte Contratante debería, según corresponda, y sujeta a su legislación nacional, tomar medidas para proteger y promover los Derechos de los Agricultores, incluyendo:

- a) protección de los conocimientos tradicionales aplicables a los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura;
- (b) el derecho a participar equitativamente en el reparto de los beneficios derivados de la utilización de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, y
- (c) el derecho a participar en la toma de decisiones, a nivel nacional, sobre asuntos relacionados con la conservación.

9.3 Nada de lo dispuesto en este Artículo se interpretará en el sentido de limitar los derechos que los agricultores tienen para guardar, usar, intercambiar y vender material de siembra/propagación conservado, sujeto a la legislación nacional y según corresponda.

minar los desincentivos para que los agricultores desempeñen ese papel. Estos se presentan en el Capítulo 13.

Lecturas Adicionales

- Aoki, K. 2004. "Malthus, Mendel and Monsanto: intellectual property and the law and politics of global food supply: an introduction." *Journal of Environmental Law and Litigation* 19:397–454.
- Bishaw, Z., y A. J. G. Van Gastel. 2009. "Variety release and policy options." Pp. 565–87 en *Plant Breeding and Farmer Participation* (S. Ceccarelli, E. P. Guimaraes, y E. Welzien, Eds.). FAO, Rome.

- Bragdon, S., D. I. Jarvis, D. Gaucham, I. Mar, N. N. Hue, D. Balma, L. Collado, L. Latournerie, B. R. Sthapit, M. Sadiki, C. Fadda, y J. Ndungu-Skilton. 2009. "The agricultural biodiversity policy development process: exploring means of policy development to support the on-farm management of crop genetic diversity." *International Journal of Biodiversity Science and Management* 5:10–20.
- Brush, S. B. 2013. "Agrobiodiversity and the law: regulating genetic resources, food security and cultural diversity." *Journal of Peasant Studies* 40:447–49.
- Correa, Carlos. 2000. "Options for the Implementation of Farmers' Rights at the National Level." South Centre Working Paper 8, December 2000.
- Gepts, P. 2004. "Who Owns Biodiversity, and How Should the Owners Be Compensated?" *Plant Physiology* 134:1295–1307.
- Louwaars, N. 2002. *Seed Policy, Legislation and Law: Widening a Narrow Focus*. Food Products Press and Haworth Press, Binghampton.
- Reed, M. S., A. Graves, N. Dandy, H. Posthumus, K. Hubacek, J. Morris, C. Prell, C. H. Quinn, y L. C. Stringer. 2009. "Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management." *Journal of Environmental Management* 90:1933–49.
- Santilli, J. 2012. *Agrobiodiversity and the Law: Regulating Genetic Resources, Food Security and Cultural Diversity*. Earthscan.
- Tripp, R. 1997. *New Seed and Old Laws*. Intermediate Technology Publications on behalf of the Overseas Development Institute. Retrieved from http://books.google.ch/books/about/New_seed_and_old_laws.html?id=c5_vAAAAMAAJ&redir_esc=y.
- Vernooy, R., y M. Ruiz, Eds. 2012. *The Custodians of Biodiversity*. Sharing Access to and Benefits of Genetic Resources. Routledge and IDRC, London and Ottawa.
- Visser, B. 2002. "An Agrobiodiversity Perspective on Seed Policies." *Journal of New Seeds* 4: 231–45.
- Wale, E., N. Chishakwe, y R. Lewis-Lettington. 2008. "Cultivating participatory policy processes for genetic resource policy: lessons from the Genetic Resources Policy Initiative (GRPI) project." *Biodiversity Conservation* 18:1–18.



Ilustración 11. Los marcos normativos y legales crean desincentivos u obstáculos para que los agricultores mantengan y manejen la diversidad de las plantas. Para garantizar que los agricultores obtengan acceso a los beneficios que otros obtienen al usar la diversidad genética que generan, conservan y administran, los gobiernos y las organizaciones tienen la responsabilidad de institucionalizar modalidades de distribución de beneficios que aseguren la participación de los agricultores en los resultados monetarios y no monetarios de investigación y actividades comerciales basadas en el uso de los recursos fitogenéticos. Los procesos de políticas que conducen a leyes y regulaciones sobre la conservación y uso de la diversidad de los cultivos, el reconocimiento y la implementación de los derechos de los agricultores deben asegurar la participación de un número de partes interesadas que tienen intereses y responsabilidades en estas materias. Arriba a la izquierda: ministro de agricultura en Nepal interactuando con un agricultor premiado durante una feria de diversidad. Arriba a la derecha: Sarawati Adhikari, un agricultor, cultiva variedades de arroz en su finca en Nepal. Abajo a la izquierda: sesión de capacitación sobre análisis de redes sociales para identificar a los actores que participarán en la implementación del Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura en Rwanda, en mayo de 2013. Abajo a la derecha: participantes de 30 países discutiendo la colaboración Sur-Sur como parte de una consulta global sobre Uso y Manejo de la Agrobiodiversidad para la Seguridad Alimentaria Sostenible, celebrada en Nueva Delhi, India, en febrero del 2013. Créditos de las fotografías: B. Sthapit (arriba a la izquierda y arriba a la derecha), G. Otieno (abajo a la izquierda), C. Zananiani (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 11

Finca, Comunidad y Paisaje:

*Diversidad Genética y Presiones de Selección
a Diferentes Escalas Sociales,
Espaciales y Temporales*

Al final de este capítulo, el lector debe tener una apreciación de:

- Las relaciones entre el manejo del agricultor y las fuerzas evolutivas que determinan la diversidad genética presente en las variedades tradicionales.
- El rol central de la selección.
- La operación de los sistemas de semillas en comunidades agrícolas tradicionales.
- La importancia de las dimensiones sociales, espaciales y temporales con respecto a los patrones de diversidad.

Introducción

Los capítulos anteriores han descrito los diferentes métodos que pueden utilizarse para comprender las formas en que las fuerzas dentro de las dimensiones ambiental, social, económica y política influyen en el manejo y uso de las variedades tradicionales. Estas fuerzas, junto con las características biológicas y de producción en el crecimiento de los cultivos determinan las prácticas de manejo que los agricultores y las comunidades utilizan para mantener las variedades tradicionales en sus sistemas de producción. Estas fuerzas biológicas, genéticas, ambientales, sociales, económicas y culturales no funcionan de manera aislada, sino que operan juntas e interactúan de formas complejas. Junto con las prácticas de manejo de los agricultores ellas influyen en la selección, el flujo

de genes, la mutación, la migración y la recombinación de manera que resultan en patrones observados de diversidad genética dentro y entre las variedades en los sistemas de producción. Este capítulo explora cómo los diferentes aspectos del proceso y el sistema de producción afectan la diversidad genética y describe los enfoques de investigación que pueden usarse para comprender las formas en que diferentes fuerzas influyen en la diversidad genética a diferentes escalas sociales, espaciales y temporales. La investigación de esta situación compleja requiere enfoques multidisciplinarios, interdisciplinarios y transdisciplinarios (Vandermeulen y Huylenbroeck 2008), donde los investigadores con diferentes conocimientos trabajan juntos para desarrollar un entendimiento común. La recopilación de datos debe integrarse para que los datos recopilados por diferentes investigadores puedan combinarse de manera significativa.

El enfoque adoptado en este capítulo es el de observar primero las diferentes etapas de la producción de los cultivos: manejo y siembra de semillas, crecimiento y recolección de semillas o materiales de siembra para plantar en la próxima generación. La selección es una importante fuerza evolutiva que influye en la diversidad genética de las variedades tradicionales, y una sección de este capítulo está dedicada a explorar las consecuencias de la selección de los agricultores. El intercambio de semillas actúa como un aspecto importante en el mantenimiento de variedades tradicionales con una gran influencia en los patrones observados de diversidad, y se describen las formas en que se pueden analizar los patrones y el grado de intercambio de semillas. La última sección del capítulo discute las dimensiones más amplias –sociales, espaciales y temporales– que influirán en la diversidad observada en cualquier sistema de producción.

El Ciclo del Cultivo

La diversidad genética presente dentro y entre las variedades tradicionales se afecta al sembrar, plantar y cuidar un cultivo durante su crecimiento. Muchos de los factores específicos que afectan las actividades de manejo de cultivos como la siembra, el trasplante, y el momento y la frecuencia del deshierbe han sido descritos en capítulos anteriores. Incluyen el uso óptimo del trabajo disponible (Capítulo 9) o prácticas de manejo específicas para reducir las heladas o plagas y enfermedades (Capítulo 7). Por ejemplo, los campos que están saturados de agua o particularmente pedregosos, o que se encuentran en bolsas heladas, pueden requerir cultivos específicos o ser adecuados solo para ciertas variedades de cultivos que se sabe que son tolerantes a esas condiciones. Estas variedades pueden aparecer como raras, crecen en áreas pequeñas y deben ma-

nejarse de manera que se asegure su mantenimiento con adaptación a las condiciones específicas del campo.

Un primer paso para tratar de comprender el mantenimiento de las variedades tradicionales e identificar algunos de los factores ambientales, agronómicos, socioculturales y económicos más importantes involucrados, puede ser el desarrollo de un calendario para los cultivos bajo investigación (ver Capítulo 6). Un aspecto importante de este análisis es el de combinar información sobre la distribución de diferentes variedades y cultivos con las prácticas de cultivo durante la época de producción (las dimensiones espaciales y temporales a nivel local). Las diferencias en los períodos de siembra y cosecha entre variedades pueden ser importantes para optimizar el uso de la mano de obra disponible o para escalonar las épocas de floración y evitar la polinización cruzada, mientras que una mezcla de variedades o cultivos que tienen diferentes requisitos y épocas respecto al manejo y a los insumos puede optimizar el uso de los recursos. Esto se puede observar tanto a nivel de finca como de comunidad y puede tomar una serie de formas diferentes que reflejan el uso cooperativo de la mano de obra disponible o compartir los equipos que se requieren para cosechar o arar.

El muestreo apropiado que integra factores humanos, genéticos y ambientales es importante para garantizar que la representación adecuada de la situación o el sitio se refleje en la información recopilada. El tamaño del muestreo dependerá de la cantidad de variación entre las muestras de cualquier grupo. Un tamaño de muestra más grande dará más información sobre la variación entre muestras que una muestra más pequeña. Muchos estudios de diversidad han indicado que es más informativo muestrear menos individuos en más sitios que más individuos en menos sitios cuando hay una opción disponible (Frankel et al. 1995).

Una decisión clave es si las muestras deben tomarse de forma aleatoria o sistemática. El objetivo principal del muestreo aleatorio es detectar y evaluar la correlación entre las distribuciones de un factor en relación con otro factor. Los procedimientos de muestreo deben diseñarse para explorar cómo la distribución de la diversidad genética se relaciona con ciertos factores sociales, económicos, biológicos, ambientales y de manejo de los cultivos en la comunidad. ¿Los agricultores con tierras más fragmentadas tienen más diversidad? ¿Ciertas prácticas de selección de semillas se relacionan con cualquier nivel de diversidad genética en la comunidad? Estas preguntas se pueden analizar mejor utilizando una muestra aleatoria de hogares en todo el paisaje.

Las muestras aleatorias de los campos de los agricultores a través del sitio también pueden ser apropiadas para tener una idea del rango y la diversidad de

los principales factores abióticos y bióticos que afectan la diversidad de los cultivos (Capítulo 7). Aunque es el método estadísticamente más robusto, el establecimiento de muestras aleatorias consume mucho tiempo. El establecimiento regular o sistemático de las muestras es simple de realizar, pero puede ser menos apropiado para el análisis estadístico. Un método de compromiso es el muestreo aleatorio estratificado, donde los criterios se utilizan para dividir el sitio de estudio o la población en varios estratos, de cada uno de los cuales se extrae una determinada cantidad de muestras al azar.

La estratificación puede ayudar a reducir el tamaño del muestreo para los datos recopilados en más de una disciplina. Esto es importante para evitar un número irrazonable de muestras totales dadas las limitaciones de tiempo y recursos; por ejemplo, el número de hogares muestreados para factores socioeconómicos multiplicado por el número de cultivos por hogar multiplicado por el número de variedades por cultivo multiplicado por el número de plantas muestreadas por variedad para el análisis genético. La reducción de este tamaño de muestreo requiere que la recopilación de datos esté estructurada para responder a hipótesis comprobables específicas para escalas espaciales y temporales específicas, y algunos ejemplos se presentan más adelante en este capítulo. Independientemente del enfoque de muestreo elegido, no se tomarán muestras de alguna parte de la diversidad en los factores de diversidad humana, ambiental y genética.

Cuando los datos se recopilan en diferentes momentos, los métodos de análisis de series de tiempo se pueden usar para examinar las relaciones entre variables a lo largo del tiempo (Kendall y Ord 1990). El análisis de series de tiempo se basa en la idea de que las variables medidas que se observan continuamente pueden considerarse como señales de información. Muestreando esta señal en diferentes intervalos produce una señal discreta o serie de tiempo. Se determina un coeficiente de autocorrelación como una medida de las similitudes de las mediciones que están separadas por un intervalo de tiempo particular, mientras que se usa un coeficiente de correlación cruzada para detectar patrones de variación entre variables a lo largo del tiempo. Para comparar frecuencias de eventos a lo largo del tiempo, una herramienta estadística común es el análisis espectral de potencia. El análisis espectral de potencia se usa para determinar las periodicidades dentro de los datos al dar una indicación de las diferentes frecuencias a lo largo del tiempo de variación, que representan la mayor parte de la variabilidad en los datos. Todas estas herramientas generalmente requieren numerosos puntos de datos u ocasiones de muestreo. En algunos casos, puede ser interesante calcular probabilidades de transición entre clases (por ejemplo,

identificar diferentes variedades de cultivos cultivadas en diferentes tipos de uso del suelo (Capítulo 6) o para diferentes valores de uso (Capítulo 8) en el área de estudio y luego usar el modelo de Markov para simular cambios a lo largo del tiempo a medida que se predice que cambiarán los tipos de tierra o el uso.

Uso de Materiales Cosechados y la Diversidad de Variedades Tradicionales

Existe una rica literatura que describe las diferentes prácticas de cosecha de variedades de cultivos y la importancia de garantizar que las variedades estén disponibles para satisfacer diferentes usos o para satisfacer usos múltiples (Balick 1997, Capítulos 7, 8 y 9). En los cultivos que producen semillas, un primer aspecto a explorar es la medida en que los agricultores diferencian entre la semilla cosechada para el consumo y la semilla para la futura producción. Los agricultores en un lugar pueden bien diferir en su nivel de diferenciación y las prácticas que utilizan. Esta diferenciación también afectará sus métodos de almacenamiento que se analizarán más adelante en este capítulo.

Las formas en que se utilizan los productos cosechados afectan tanto la diversidad dentro de las variedades como la elección de variedades. El patrón de uso, ya sea que los materiales se produzcan para un mercado específico, ambiente o actividad cultural, o si son para fines más generales, afectará las prácticas de selección de los agricultores y, por lo tanto, la diversidad genética de los materiales (Rana et al. 2007). El tipo de uso también puede influir en cómo las prácticas de manejo afectan la diversidad genética de las variedades. Las variedades seleccionadas para cocinar o las cualidades nutricionales frente a las variedades seleccionadas específicamente para forraje o materiales para techos afectarán la naturaleza y la diversidad de los diferentes rasgos presentes en las diferentes variedades. El destino final de los productos puede influir en el nivel de atención que los agricultores pueden prestar a la pureza varietal o a los verdaderos materiales de siembra. La Tabla 11.1 presenta algunos de los principales aspectos de esa necesidad que deben tenerse en cuenta al explorar las formas en que el uso afecta la diversidad genética.

Diferentes aspectos o tipos de uso a menudo se combinan. Por lo tanto, en África Occidental, tanto la producción de paja como la producción total de semilla son importantes en una variedad de sorgo que se utilizará para proporcionar tanto forraje para animales como para alimento humano (Nordblom 1987). La selección del agricultor tenderá a favorecer las plantas vigorosas vegetativamente que todavía producen un rendimiento de semilla aceptable. Se pueden cultivar

TABLA 11.1. DIFERENTES ASPECTOS DEL USO DE LOS MATERIALES COSECHADOS QUE AFECTARÁN LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES.

<i>Características de uso</i>	<i>Características de las variedades</i>
Patrón de uso	<ul style="list-style-type: none"> • Específico (crece para un uso específico, por ejemplo, granos para el mercado, arroz basmati de alta calidad) • Múltiple (crece deliberadamente para proporcionar diferentes usos, por ejemplo, alimento y forraje) • General (se puede usar de muchas maneras según sea necesario)
Tipo de Uso	<ul style="list-style-type: none"> • Alimento (almacenamiento, cocina, nutrición, características para la cocina, sabor) • Forraje (calidad, cantidad, adecuado para diferentes animales) • Material de construcción (cubiertas de paja, cercas) • Bebida alcohólica (cerveza, espíritus) • Medicina (adecuado para madres lactantes o para diferentes enfermedades)
Forma de distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo doméstico • Venta a individuos • Venta a mercados locales • Venta a puntos de venta especializados como productos de alto valor

tipos particulares, como el arroz basmati, para satisfacer las oportunidades conocidas del mercado, y las decisiones de mantenimiento de semillas y cultivos buscarán garantizar que el valor de estas variedades se mantenga, por ejemplo, evitando la contaminación con otros lotes de semillas o haciendo una cuidadosa selección negativa durante el crecimiento del cultivo. Se puede pensar en un lote de semillas como la unidad de manejo del agricultor –es decir, la población de semillas manejada como una sola unidad por un agricultor. Las formas en que se usan las variedades actúan entonces como fuerzas selectivas significativas.

En la mayoría de las comunidades, que todavía cultivan variedades tradicionales, la seguridad alimentaria es un objetivo principal, y el rendimiento y la capacidad de almacenamiento son siempre las preocupaciones predominantes de las familias de agricultores, lo que hace que el rendimiento sea un criterio de selección importante. El rendimiento y otras características de uso suelen estar bajo control genético complejo y, como se señala en el Capítulo 4 (y más adelante), los objetivos de selección pueden implicar un gran número de rasgos complejos diferentes, con el resultado de que la eficacia general de la selección puede ser muy baja. Este es especialmente el caso cuando la selección para objetivos de uso específico tiene que combinarse con la selección para otros rasgos agronómicos tales como la resistencia a enfermedades o plagas.

El mantenimiento de muchas variedades diferentes adaptadas a diferentes usos es una forma de cumplir estos complejos objetivos múltiples y parece ser

particularmente característico de cultivos básicos autógamos o propagados clonalmente, como el arroz, la papa y el banano (para más información sobre la elección varietal, consulte el Capítulo 9). La diversidad dentro de las variedades en otros cultivos puede ofrecer una forma de cumplir objetivos múltiples o proporcionar el compromiso más aceptable para el agricultor. El registro de los diferentes usos de diferentes variedades, la importancia relativa de los diferentes usos y las características asociadas (necesarias, deseables u opcionales) son, por lo tanto, una parte esencial del proceso de análisis de variedades descrito en el Capítulo 5.

Una buena cantidad de literatura sugiere que los agricultores tienen un interés natural en identificar y mantener diferentes variantes de sus cultivos. Por ejemplo, los agricultores de África Occidental identificaron tipos de arroz de una variedad de lugares diferentes y mantuvieron aquellos que parecían poseer rasgos valiosos (Richards 1986). Estos pueden ser el resultado de la polinización cruzada, la recombinación o, en cultivos propagados clonalmente, la mutación. Es probable que los agricultores que hacen esto tengan más información y tengan un interés particular en la variación y las posibilidades que ofrece para generar nuevos tipos. La práctica parece ser más común en cultivos autógamos o propagados clonalmente, donde las oportunidades para mantener un tipo identificado recientemente son mayores que en cultivos alógamos.

Manejo de Semillas

Se pueden distinguir tres aspectos del manejo de semillas que tienen una influencia importante en la diversidad de las variedades tradicionales: (1) el tamaño y la naturaleza del “lote de semillas”, incluida la ubicación, el momento y la proporción de semillas seleccionadas para la siembra, (2) el manejo o almacenamiento de semillas entre la cosecha y la siembra por parte de los agricultores, y (3) las formas en que los agricultores mantienen e intercambian semillas de diferentes variedades de cultivos diferentes (denominado “sistema de semillas” y que se analiza más adelante). Tenga en cuenta que, como en capítulos anteriores, el término “semilla” se utiliza para el material de propagación de un cultivo e incluye raíces, cormos, tubérculos u otro material de propagación. Los siguientes párrafos se centran principalmente en el mantenimiento de semillas verdaderas, aunque son ampliamente aplicables a raíces, tubérculos o cormos. Muchos cultivos de frutos y nueces se propagan a través de esquejes que a menudo se injertan en patrones específicos (frecuentemente una especie silvestre relacionada), y la variedad es un clon genéticamente uniforme, al igual que la mayoría de las varie-

dades de frutos rojos (fresa y frambuesa). En estos cultivos, el llamado sistema de semillas funciona de manera bastante diferente; la selección y otras fuerzas evolutivas, excepto la mutación, no tienen ningún efecto sobre la constitución genética del material propagado.

El Tamaño del Lote de Semillas y la Naturaleza de la Semilla

En la mayoría de los cultivos de semillas anuales (cereales, leguminosas, semillas oleaginosas), se cosecha mucho más de lo que se plantará la siguiente temporada. Por lo tanto, el tamaño de la población fuente es, en principio, grande, y sus características son, en términos generales, las de la variedad cosechada junto con los productos de cualquier cruce. Sin embargo, en muchas culturas, los agricultores seleccionan ciertas plantas o semillas élite cosechadas de diferentes cultivos que proporcionen la semilla para el año siguiente. También pueden seleccionar de una parte particular de sus campos donde hayan identificado mejor suelo, agua u otras condiciones de crecimiento. Esta selección puede realizarse en el campo antes de la cosecha o en la fase de trilla después de la cosecha. Donde esto ocurre, puede constituir una fuerza selectiva fuerte y crear un tamaño de población mucho más pequeño que el material total cosechado. En Cuzalapa, México, Louette (1999) notó que los agricultores usaron semillas de un equivalente de alrededor de 40 mazorcas de maíz para proporcionar la semilla para el siguiente cultivo. Consideró que, en este cultivo de polinización cruzada, la pequeña población retenida conduciría a una pérdida de diversidad y posiblemente a una depresión consanguínea, especialmente en variedades que se cultivaron en cantidades relativamente pequeñas. Sin embargo, la polinización cruzada y el flujo de genes entre las variedades mantuvieron la diversidad en el área.

Si bien hay muchos ejemplos de selección deliberada para proporcionar la semilla de futuros cultivos, también hay casos donde parece que no se practica ninguna selección. Esto puede ser característico del agricultor, la comunidad o la cultura, o puede ser el resultado de circunstancias particulares (manejo deficiente, falta de trabajo en la cosecha, desgracias familiares); estos diferentes factores deben distinguirse en cualquier investigación.

El número de plantas cultivadas en cultivos de hortalizas suele ser mucho menor que en los cultivos de semillas de campo. Una o dos plantas a menudo son suficientes para proporcionar la semilla para el siguiente cultivo y a menudo se seleccionan deliberadamente y se dejan hasta producir frutos maduros y semillas. Por lo tanto, la presión de selección puede ser fuerte en estos cultivos, y el tamaño efectivo de la población puede ser pequeño. En el caso de cultivos

alógamos como las hortalizas brassicas, se deben dejar suficientes plantas para asegurar la polinización cruzada y prevenir la depresión consanguínea.

Almacenamiento de Semillas

Almacenar semillas es una etapa crucial tanto para el mantenimiento de variedades tradicionales como para asegurar que la familia tenga suficiente para alimentarse hasta la próxima cosecha. Los agricultores y las comunidades rurales de todo el mundo han desarrollado una amplia gama de métodos diferentes para almacenar semillas, incluidos contenedores especialmente diseñados; la adición de sustancias tales como estiércol de vaca, cenizas u otros compuestos para reducir el riesgo de plagas y enfermedades; y el mantenimiento en entornos específicos, como las vigas llenas de humo de la casa de la finca (Lewis y Mulvany 1997, Latournerie Moreno et al. 2006).

Nuevamente, existe una distinción importante entre mantener por separado la semilla para usar al año siguiente de la utilizada para el consumo y mantener ambas juntas. Incluso cuando el mantenimiento por separado es la práctica normal, esto puede no ser posible en algunos años cuando la cosecha es pobre. Sin embargo, los agricultores a menudo logran guardar algunas semillas de variedades tradicionales incluso en condiciones de conflicto civil o hambruna como resultado de un desastre (Sperling y McGuire 2010).

Los factores sociales y culturales obviamente juegan un papel importante en determinar las prácticas de almacenamiento de semillas y se reflejan en características como el conocimiento sobre los métodos de almacenamiento de semillas, los diferentes usos, y la identidad del miembro del hogar responsable del almacenamiento de semillas (Latournerie Moreno et al. 2006). Los factores ambientales también son importantes. El almacenamiento de semillas en ambientes secos es generalmente mucho más fácil y más efectivo que en climas tropicales húmedos. En última instancia, el estado económico del hogar puede determinar si la semilla está disponible para la cosecha del próximo año o si debe usarse durante el año.

La reducción en el tamaño de la población como resultado de la depredación o enfermedades es probable que sea un factor importante que afecte la constitución genética del material almacenado. La selección también ocurrirá y favorecerá, por ejemplo, la resistencia a enfermedades o plagas específicas, o la supervivencia bajo condiciones específicas de almacenamiento donde ellas están genéticamente controladas. En cualquier investigación, se deben realizar algunos estudios sobre la calidad de la semilla después del almacenamiento, utilizando muestras tomadas de diferentes agricultores y diferentes variedades.

Esto proporciona una medida de la semilla disponible para la producción y de la existencia o naturaleza de cualquier selección que pueda afectar la diversidad genética durante el almacenamiento.

Selección Durante la Producción de Cultivos y el Manejo de Semillas

La selección es la principal fuerza evolutiva que opera durante el crecimiento del cultivo y ocurre a lo largo del período en que el cultivo está en el campo, desde la siembra hasta la cosecha. Una porción de la semilla sembrada no podrá germinar o emerger, o no podrá sobrevivir hasta la cosecha. Algunas de las principales características de la selección se han descrito en el Capítulo 4. Allard (1999) definió la selección como “cualquier proceso no aleatorio que haga que los individuos con diferentes genotipos estén representados desigualmente en las generaciones posteriores”. Hemos visto que muchos de los procesos y las decisiones de los agricultores en los sistemas agrícolas tradicionales tienen un impacto en la diversidad genética presente en la comunidad agrícola o tienen el potencial para afectarla. Cuando tales procesos dan como resultado un cambio en la composición de la variación heredada, hablamos de selección que produce el cambio evolutivo. No todos los procesos selectivos dan como resultado un cambio evolutivo (por ejemplo, cuando una población se encuentra en equilibrio de frecuencia de alelos bajo selección balanceada).

Los individuos dentro de las poblaciones y de hecho diferentes poblaciones dentro de una especie inevitablemente difieren en la probabilidad de supervivencia y en su tasa de reproducción. Sin embargo, no siempre es cierto que tal variación en la reproducción tenga alguna consecuencia evolutiva. Para provocar un cambio en la composición genética de la especie, los individuos favorecidos deben poseer una diferencia genética consistente del resto de la población. Estos individuos pueden ser favorecidos porque portan un determinado gen, o una combinación específica de genes, y, para las variedades tradicionales, proporcionan un uso apreciado por el agricultor.

La naturaleza del cambio evolutivo se ve muy afectada por el sistema de reproducción. En las especies alogamas, las combinaciones de genes se dividirán por recombinación, a menos que se mantengan unidas mediante una unión cromosómica estrecha. En las especies diploides autógamas, la endogamia ralentiza la recombinación y mantiene unidas las combinaciones alélicas beneficiosas durante más tiempo. Sin embargo, en cada generación, la endogamia reduce a la mitad cualquier heterocigosidad que estaba presente en genotipos favorecidos.

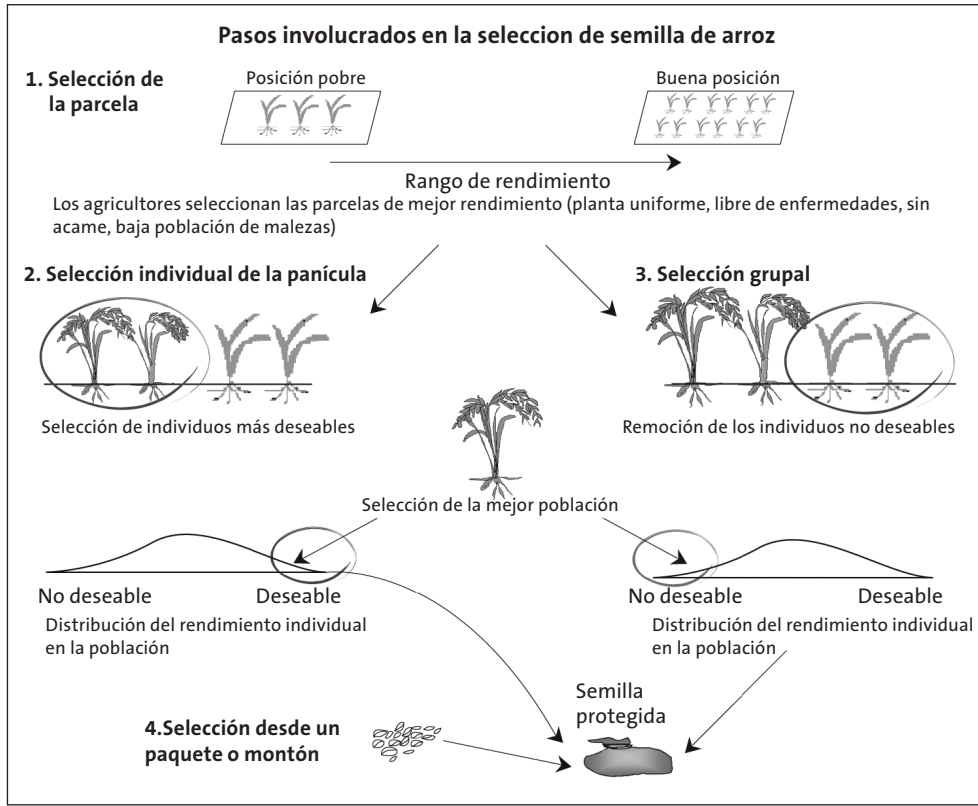


Figura 11.1. Diferentes momentos para la selección de semillas de arroz en Nepal (de Hodgkin et al. 2007, cortesía de Bioversity International)

Cuando las plantas se reproducen asexualmente, como en tubérculos, tallos o semillas que surgen por apomixis, se conserva todo el genotipo y la selección opera en genotipos enteros entre diferentes clones.

Los agricultores realizan una selección inconsciente y deliberada a través de sus diversas prácticas agronómicas (por ejemplo, adelgazamiento de plántulas germinadas, trasplante, eliminación de plantas fuera de tipo; Rana et al. 2011; figura 11.1). El momento y la ubicación de estas operaciones pueden apoyar a algunos genotipos a expensas de otros. Los agricultores pueden seleccionar semillas de una parte particular de su campo, que manejan específicamente para semillas, o donde las condiciones del suelo son mejores, o se lleva a cabo un deshierbe extensivo para una mejor producción de semillas.

En el maíz, en México, la selección a menudo se lleva a cabo después de la cosecha y antes de la trilla, cuando las mazorcas enteras se reservan para futuros cultivos. Este enfoque también se utiliza en el caso del sorgo o el mijo perla en diferentes comunidades agrícolas de África. Gautam et al. (2009) in-

formaron que la selección en el campo de materiales de siembra para la próxima generación era común en Nepal, ya sea en la etapa de pie de la cosecha o en la primera fructificación, cuando los agricultores seleccionaban las mejores plantas o la mejor fruta para semilla en la mostaza de hoja ancha (*Brassica juncea*), la calabaza esponjosa (*Luffa cilíndrica* L.) y el pepino (*Cucumis sativus* L.). En otros cultivos, como el taro y el frijol, los agricultores usaron cualquier material de propagación que quedara después del consumo. Gautam y sus colegas sugirieron que las prácticas de los agricultores estaban relacionadas en gran medida con la biología reproductiva de las especies clave y que los agricultores parecían ser más cuidadosos en la selección de semillas para cultivos de polinización abierta.

La determinación de la efectividad o importancia de la selección durante el proceso de recolección involucra experimentos específicamente diseñados que relacionan las diferentes prácticas agrícolas involucradas con la variación agromorfológica y molecular a lo largo de varias épocas y el sistema de reproducción involucrado. En cultivos de semillas de polinización cruzada como el maíz o el mijo perla, el flujo de genes puede ser de importancia durante la floración. La selección del agricultor durante las fases de producción y cosecha puede estar dirigida a contrarrestar el flujo de genes y la recombinación a fin de garantizar que se conserven las características preferidas de la variedad. En Camerún, Barnaud et al. (2009) encontraron que la selección durante la producción y la cosecha mantuvieron las características varietales a pesar de la naturaleza autógama del cultivo y la presencia de tipos silvestres e intermedios en y alrededor de los campos de los agricultores.

Niveles y Modos de Selección

La selección puede operar en muchos niveles. Acabamos de hacer hincapié en que opera a favor de genes específicos. El proceso de selección también se produce cuando se favorecen determinados estados de caracteres (por ejemplo, contenido y calidad del grano, altura de la planta, madurez de la planta, hábito de crecimiento, etc.). En este caso, la pregunta clave es la base genética de las diferencias entre individuos para tales características. Si el carácter preferido es fuertemente heredado, los genes que lo codifican aumentarán en frecuencia. De manera similar, la selección puede tener lugar entre diferentes poblaciones de una especie o variedad. La selección en este nivel, la preferencia de una población sobre otras, significará que cualquier diferencia de otras poblaciones en su composición genética aumentará en la prevalencia dentro de la especie. Po-

demos anticipar tales tendencias cuando hay fuentes de semillas muy preferidas o “agricultores nudos” en las redes de semillas (ver más abajo). Un tercer nivel de posible preocupación es con la selección entre variedades. En este nivel, toda una variedad puede caer por la elección de los agricultores, y se perderán todos los genes particulares exclusivos de ella.

La teoría de selección reconoce muchos modos, incluyendo direccional, estabilizadora, disruptiva, deliberada o inconsciente, temporal y espacial, y otros, que se detallaron en el Capítulo 4. Típicamente, la selección que actúa en una población no tiene lugar como un modo único para un solo individuo; en su lugar, varios modos funcionan en conjunto. Las más prominentes serán las formas en que la selección determinada por los agricultores (la llamada “selección artificial”) interactúa con la determinada por el ambiente de la finca (ecológica o “selección natural”). Los agricultores eligen las plantas de las poblaciones o las diferentes fuentes de semillas de la población y, de hecho, eligen diferentes variedades según la capacidad percibida o informada de esas variedades para hacer frente a los desafíos ambientales y ser productivas –su adaptación al entorno agrícola.

En la medida en que (1) la elección del agricultor se refleje bien en las variantes genéticas para esa condición, y (2) las características ambientales de esa finca sean relativamente estables, de modo que la productividad permanezca, los genes de las plantas seleccionadas también aumentarán en su frecuencia. De esta manera, la selección “artificial” y la selección natural se refuerzan mutuamente. Una variedad que se elija para una determinada tolerancia o propósito, y que en realidad funcione como se espera, beneficiará al agricultor y al futuro evolutivo de los genes que conlleva. Un ejemplo clásico serían los genes para la domesticación (como el no desgrane en los cereales) que confieren una ventaja al agricultor en la retención de semillas para la cosecha y, por lo tanto, un incremento en la frecuencia de la semilla seleccionada para la siembra, ya sea la selección deliberada o inconsciente de los agricultores.

La agricultura tradicional tiene lugar en comunidades que están estructuradas por parentesco, ubicación o circunstancia en diversos grados. Los miembros de la comunidad comparten semilla, conocimiento y diversidad ecológica, también en diversos grados. El resultado es un mosaico de toma de decisiones: una situación de “múltiples nichos”. Esperamos que dicho modelo conserve la diversidad en mayor medida que si las costumbres, regulaciones, mercados, usos y entornos fueran uniformes y se hicieran cumplir. Esto le da mayor importancia a la documentación de la diversidad de los criterios de selección entre los agricultores y a aceptar que en la mayoría de los sistemas agrícolas tradicionales, un genotipo no satisface a todos los agricultores, situaciones de producción o usos.

Investigando la Selección en los Sistemas de Fincas

Si bien los diferentes métodos participativos y una descripción de la importancia de los factores ambientales, sociales y económicos pueden proporcionar indicios sobre la importancia relativa de diferentes fuerzas selectivas para mantener o alterar la diversidad en las variedades tradicionales, es probable que se necesiten investigaciones específicamente planificadas para examinar la importancia de diferentes tipos de selección u otros procesos evolutivos para determinar la diversidad observada, la importancia relativa de las diferentes fuerzas selectivas que operan y las etapas en la producción de cultivos en las que la selección es más significativa. Estas investigaciones deberán incluir una descripción adecuada de los procesos de mantenimiento varietal para un conjunto seleccionado de variedades junto con los datos agromorfológicos y moleculares recopilados de tal manera que permitan distinguir e investigar los efectos de diferentes fuerzas evolutivas. El cuadro 11.1 proporciona dos ejemplos de investigación en los que los efectos de la selección en la diversidad se han estudiado con cierto detalle.

Patrones de Suministro de Semillas: El “Sistema de Semillas”

El análisis de los sistemas de semillas y las redes de intercambio de semillas constituye una contribución esencial para comprender los factores que contribuyen o limitan el mantenimiento de la diversidad. Idealmente, implica comprender (1) las identidades y cantidades de diferentes variedades de diferentes cultivos que son mantenidas por agricultores individuales y las proporciones de semillas guardadas versus semillas intercambiadas, y (2) la naturaleza y el alcance de las relaciones de intercambio entre agricultores o comunidades y las formas en que estos operan para diferentes cultivos o variedades.

Hodgkin et al. (2007) revisaron exhaustivamente los sistemas de semillas de cultivos, y más recientemente Pautasso et al. (2013) han revisado las redes de intercambio de semillas. Los capítulos anteriores, particularmente el Capítulo 8, han descrito algunas de las características de los sistemas de suministro de semillas que son importantes para las variedades tradicionales. Hodgkin et al. discutieron las formas en que las diferentes características de los sistemas de semillas contribuyeron al flujo de genes, la migración, la selección y la recombinación e hizo hincapié en la importancia de mantener altos niveles de diversidad dentro de los sistemas de semillas al tiempo que garantiza la existencia de variedades específicas para satisfacer las necesidades de los agricultores. Thomas et al. (2011) en su revisión enfatizaron los vínculos de los factores sociales y culturales con

Cuadro 11.1. Análisis de selección de cebada en Sardinia y Mijo Perla en Níger.

A. Estructura genética de las variedades tradicionales de cebada en Sardinia

Se investigaron los desequilibrios de ligamiento diogénico multilocal (LD) y su estructura poblacional en 11 poblaciones locales de cebada (*Hordeum vulgare*) en Sardinia, usando 134 marcadores dominantes de polimorfismo amplificado de secuencia simple. El análisis de varianza molecular para estos marcadores indicó que las poblaciones estaban parcialmente diferenciadas ($GST = 0.18$) y se agruparon en tres áreas geográficas. La división de asociaciones multi-locus en varios componentes indicó que la deriva genética y los efectos fundadores desempeñaron un papel importante en la determinación de la composición genética general de la diversidad en estas poblaciones tradicionales, pero que la selección epistática de homogenización o diversificación también estaba presente. Los análisis de la estructura de múltiples locus en estas poblaciones de cebadas criollas sugirieron que su estructura genética difería de la de los cruces compuestos y de las poblaciones naturales de cebada silvestre (Rodríguez et al. 2012).

B. Selección para la floración temprana del mijo perla en Níger

En el año 2003 se recolectaron muestras de mijo perla de 79 aldeas en las diferentes áreas de producción del país y se compararon con las recolectadas en 1976 con respecto a los nombres de las variedades, las características morfológicas y los marcadores moleculares. A pesar de las presiones socio-económicas y climáticas significativas durante un período de más de 25 años, no hubo evidencia de una pérdida de diversidad en el país. De hecho, se descubrió que el número de nombres de variedades había aumentado sustancialmente, y se detectaron cantidades similares de diversidad agromorfológica y genética. Un cambio importante fue en la frecuencia de genes asociados con una floración más temprana. Se sugirió que esto reflejaba el aumento del estrés climático en el área. En comparación con las muestras de 1976, las muestras recolectadas en el 2003 mostraron un ciclo de vida más corto y una reducción en el tamaño de la planta y la espiga. Un alelo de floración temprana en el locus PHYC aumentó su frecuencia entre 1976 y 2003. El aumento superó el efecto de la deriva y el muestreo, lo que sugiere un efecto directo de la selección para la precocidad en este gen. Los autores concluyeron que la sequía recurrente condujo a la selección de una floración más temprana en este cultivo mayor Saheliano (Bezançon et al. 2009; Vigouroux et al. 2011b).

las características genéticas en los sistemas de semillas y la influencia que esto ha tenido en el mantenimiento de las variedades de cultivos tradicionales. Pautasso et al. (2013) abogaron por el uso de una variedad de enfoques diferentes para el análisis de los sistemas de semillas. Estos incluyen estudios etnográficos y descriptivos, trabajo participativo con agricultores, análisis biogeográficos, estudios experimentales (liberación de semillas), investigaciones de correlaciones y metaanálisis. Todos estos enfoques, combinados con estudios genéticos apropiados

e información de fuentes ambientales, ecológicas, sociales, económicas y culturales, pueden descubrir las formas en que el sistema de semillas contribuye a los patrones observados de cultivos, variedades y diversidad genética.

Mientras las variedades modernas generalmente se compran a partir de fuentes específicas (empresas de semillas, proveedores gubernamentales o proveedores privados locales), las variedades tradicionales generalmente se mantienen de un año a otro por los agricultores que las cultivan, o se obtienen de los mercados locales. Los proveedores comerciales de semillas y las fuentes gubernamentales a menudo se conocen como el “sistema formal de semillas”, mientras que el mantenimiento de los agricultores y los intercambios que ocurren entre agricultores individuales o que involucren mercados locales se describen como el “sistema informal de semillas”. Como se ilustra en la figura 11.2 los dos sistemas no están completamente separados. Muchos agricultores ahorran e intercambian semillas de variedades que se originaron dentro del sistema formal como variedades nuevas y mejoradas que, con el tiempo, se criollizan (sensu Bellon y Risopoulos 2001). Del mismo modo, las variedades tradicionales populares a menudo son vendidas por vendedores de semillas comerciales en los mercados locales o de distrito.

Las redes de intercambio de semillas desempeñan un papel central en el mantenimiento de las variedades tradicionales. Ayudan a los agricultores a cumplir su objetivo de tener suficiente semilla de sus variedades preferidas en el momento adecuado (Weltzien y vom Brocke 2001), permiten a los agricultores acceder a las semillas de variedades que pueden haber perdido y les ayuda a obtener nuevas variedades que satisfacen condiciones cambiantes o necesarias. Las redes de intercambio de semillas también contribuyen al flujo de genes y a la migración, exponen a las variedades a nuevos entornos de producción y contrarrestan, al menos hasta cierto punto, el desarrollo de subpoblaciones únicas para los agricultores individuales.

El análisis de redes proporciona una forma de explorar la naturaleza y la dinámica del mantenimiento de variedades por parte de los agricultores y las comunidades. Una red de semillas puede considerarse como la suma de las operaciones que aseguran el mantenimiento continuo y la disponibilidad de variedades tradicionales en un área. Incluye tanto el mantenimiento de variedades individuales por parte de los agricultores que guardan sus propias semillas, como las transferencias de semillas a través del intercambio, la venta y la compra, y los obsequios o el trueque. Si bien el intercambio o trueque se realiza normalmente entre agricultores individuales, la venta y la compra también pueden involucrar a los mercados locales. En muchas comunidades, los regalos de semillas son una

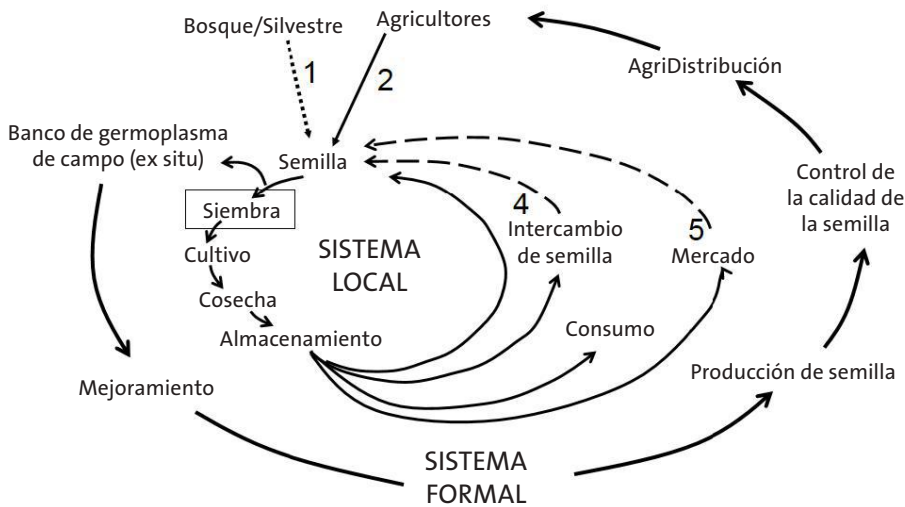


Figura 11.2. Sistemas locales y formales de suministro de semillas de los agricultores: dos sistemas de funcionamiento paralelo con relativamente poca interacción (modificado de Almekinders y de Boeuf 2000, *Encouraging Diversity: The Conservation and Development of Plant Genetic Resources*, cortesía de Practical Action Publishing).

parte importante de la cultura local y a menudo forman parte de matrimonios u otros eventos importantes.

La extensión geográfica de las redes de intercambio de semillas puede ser grande, dependiendo de factores tales como la heterogeneidad ambiental, la adaptabilidad de las diferentes variedades y el grado de comunicación entre las comunidades. En áreas extensas, los factores biogeográficos o ambientales pueden ser más importantes, mientras que a nivel local los aspectos sociales y culturales pueden jugar el papel más importante. En la práctica, la mayoría del intercambio de semillas ocurre dentro de las comunidades o entre comunidades vecinas que involucran distancias de menos de 10 km (Chambers y Brush 2010). Sin embargo, el intercambio puede ocurrir en áreas mucho más grandes. Las variedades de papa en Perú se transfieren entre diferentes altitudes como parte de las prácticas tradicionales de producción y manejo (Zimmerer 1996). Valdivia (2005) informó que los tubérculos de la variedad de oca Isleño se transfirieron entre microcentros de diversidad en Perú y Bolivia y que la variedad se vendió en mercados distantes en más de 800 km.

Debido a que la cantidad de información que debe obtenerse en un análisis de sistemas de semillas puede ser grande, es probable que se recopile solo en un subconjunto de la diversidad total de los cultivos en cualquier comunidad, y se necesitará una estrategia de muestreo adecuada que se enfoca en donde el

sistema de semillas parece ser un factor clave para determinar los patrones observados de variación. La estrategia de muestreo debe diseñarse para probar o confirmar los hallazgos de las entrevistas y discusiones grupales descritas en capítulos anteriores. Se necesitarán análisis genéticos de diferentes muestras de semillas para explorar la importancia relativa de diferentes fuerzas evolutivas. Los siguientes párrafos resumen algunas de las consideraciones más importantes.

Las prácticas de mantenimiento e intercambio de semillas son claramente diferentes para diferentes cultivos. La importancia del cultivo para el sustento del agricultor y la seguridad alimentaria son consideraciones importantes. Los sistemas de semillas más desarrollados y más complejos parecen estar asociados en mayor medida con los cultivos básicos que con los cultivos menores, que el agricultor puede permitirse dejar fuera de sus planes de producción durante una temporada si la semilla no está disponible. El sistema de reproducción y el modo de propagación también son consideraciones importantes, ya que los cultivos de polinización cruzada necesitan una selección continua más deliberada para mantener sus características que los autógamos o los propagados clonalmente. Por lo tanto, uno podría preguntarse si las redes de semillas de cultivos con polinización cruzada están asociadas con menores, pero más seguras fuentes de suministro (por ejemplo, agricultores nudos) y las de cultivos autógamos con un mayor número de intercambios individuales. La cantidad de semilla necesaria también será una variable importante, que reflejará tanto las características de producción de semillas de los cultivos (cantidad de semillas por fruto) como el área que se utilizará para el cultivo. Las características socioculturales también serán críticas. En algunas culturas, las variedades específicas se regalan en ocasiones importantes (como el matrimonio) y no se pueden readquirir casualmente de ninguna fuente adecuada.

Las características de cualquier red generalmente se establecen mediante el análisis de las cantidades de intercambio dentro de una comunidad, la frecuencia relativa de intercambio en comparación con el uso de semillas almacenadas y las fuentes de semillas utilizadas por los agricultores cuando se tiene que obtener la semilla. En muchas situaciones, los miembros de la familia son las fuentes preferidas, seguidas por los vecinos, otros miembros de la familia y los mercados locales. Los datos sobre cantidades de intercambio para diferentes variedades pueden complementarse siguiendo los patrones de intercambio y rastreo de las fuentes de semilla utilizadas por una muestra de agricultores en una comunidad. Tal análisis permite desarrollar una imagen general de la red y determinar la importancia relativa de los diferentes proveedores y la medida en que existe una única red compleja o un conjunto fragmentado de diferentes redes (Subedi et al.

2003). Claramente, cualquier investigación deberá ser sensible a los problemas de identificación de variedades y nombres como se discutió en el Capítulo 5, especialmente cuando los agricultores tienden a cambiar el nombre de las variedades que han obtenido de otros lugares.

Si bien la proporción de semillas intercambiadas puede ser bastante baja en un año e involucrar solo a un pequeño grupo de agricultores, con el tiempo un número importante de agricultores puede tarde o temprano participar en algunos intercambios de algunas de sus variedades. Por lo tanto, Baniya et al. (2003) descubrieron que, si bien el 90 por ciento de los agricultores ahorró su propia semilla de mijo en un año determinado, alrededor del 80 por ciento cambió su semilla en algún momento, principalmente después de alrededor de tres años como promedio. Con el tiempo e incluso con un intercambio bastante limitado, se ha descubierto que las variedades se propagan ampliamente a través de la red informal. Quince años después de su introducción a un único agricultor, se descubrió que una nueva variedad de arroz había sido cultivada por cerca del 73 por ciento de los agricultores en la parte occidental de Ghana (Marfo et al. 2008).

En algunos casos, las técnicas estadísticas clásicas, como la regresión múltiple (véase el Capítulo 9) o la ordenación (véase el Capítulo 6) pueden ser útiles para dilucidar las correlaciones entre los sistemas de semillas y otros factores. Sin embargo, con frecuencia los datos del sistema de semillas pueden ser imprecisos, o las familias pueden tener solo una propiedad parcial de un tipo particular de fuente de semilla o sistema de intercambio de semillas. Un método de análisis organizado para tratar con conjuntos de datos imprecisos (como el porcentaje de la fuente de semilla) que permite la propiedad parcial es la “lógica difusa”, donde los grupos parciales o imprecisos se denominan “grupos difusos” (Baldwin 1981). Este método trata con datos que pueden no pertenecer por completo a uno u otro grupo. A diferentes grupos se les pueden asignar diferentes porcentajes de membresía, que van desde la membresía completa (por ejemplo, siempre utilizando su propia semilla) hasta la membresía parcial (por ejemplo, el 30 por ciento de las veces utiliza su propia semilla).

El análisis de los sistemas de semillas en cualquier comunidad debe llevarse a cabo durante un número de años siempre que sea posible. En un buen año, es menos probable que los agricultores intercambien semillas, mientras que, en los años malos, donde los rendimientos son bajos, los agricultores pueden necesitar depender significativamente de nuevas fuentes de suministro. Si toda la comunidad ha tenido un año difícil, tendrá que usar los mercados locales o buscar semillas de otras comunidades (figura 11.3; Sadiki et al. 2007). Lo notable del trabajo en Marruecos es que los agricultores tienden a usar las mismas variedades en años

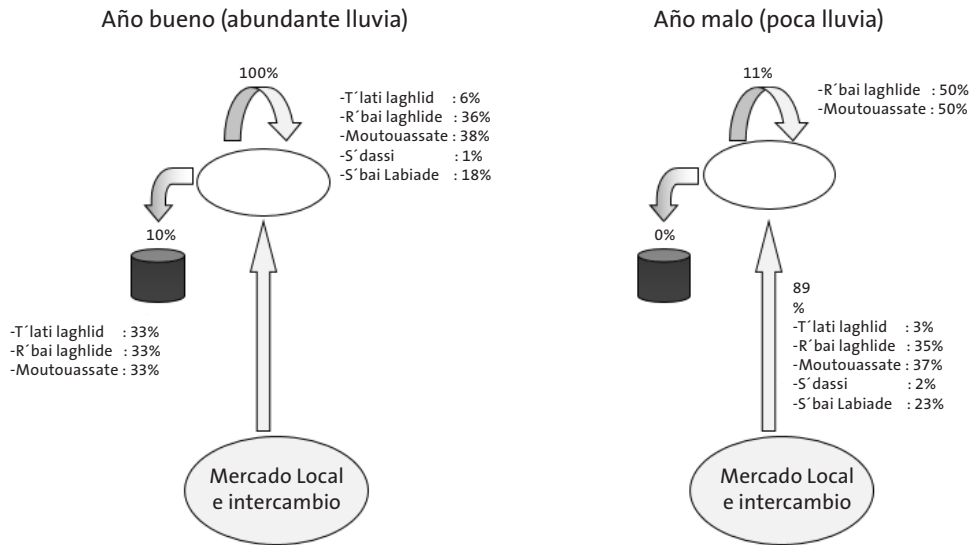


Figura 11.3. Patrones contrastantes del flujo de semillas de diferentes variedades de habas en un pueblo marroquí en un año bueno y un año malo (adaptado de Sadiki et al. 2005, cortesía del IPGRI)

buenos o malos; solo cambia la fuente de las variedades, desde la propia hasta la del mercado. En algunas comunidades, ciertos agricultores pueden ser una fuente común de semillas de un número diferente de variedades para otros agricultores (Subedi et al. 2003). Estos han sido identificados como agricultores nudos (ver también el Capítulo 8), y también pueden cambiar de año en año. Ambos fenómenos tendrán un efecto sobre los patrones de diversidad genética observados.

Las operaciones de la red de semillas, el equilibrio entre el mantenimiento de semillas por los agricultores individuales y el intercambio, los patrones de intercambio y las variaciones observadas de año en año son claramente determinaciones claves de las características observadas en el mantenimiento varietal y la extensión y distribución de la diversidad genética. Ellas afectan la migración, el flujo de genes, la selección y el tamaño de la población de diferentes maneras.

Donde los agricultores mantienen sus propias semillas de un año a otro, las subpoblaciones de una variedad tenderán a establecerse con características que dependen de las formas en que los agricultores manejan sus materiales, los rasgos específicos que las favorecen y la naturaleza de sus tierras. El intercambio de semillas es una forma de migración de una población a otro sitio. Cuando los agricultores nudos son fuentes importantes, habrá una tendencia a que la misma población crezca en una variedad de sitios diferentes, por lo que la migración irá acompañada de un proceso de homogeneización. Si el reemplazo no es comple-

to, es decir, los agricultores obtienen alguna semilla nueva y la mezclan con la suya propia, el flujo de genes bien puede ocurrir como resultado del entrecruzamiento en el año siguiente. Esto irá acompañado de recombinación, la creación de nuevas combinaciones de genes y nuevos genotipos a partir de los cuales los agricultores podrán seleccionar sus tipos preferidos. De manera similar, los años pobres, en los que la mayoría de los agricultores de una comunidad deben obtener semillas de los mercados locales, también crearán una población varietal uniforme a partir de la cual, en años sucesivos, se podrán establecer nuevas subpoblaciones mediante la selección individual de los agricultores.

La discusión anterior es más relevante para las variedades de cultivos que están ampliamente distribuidas en cualquier área. Como se señaló en capítulos anteriores, muchas variedades (a menudo más del 50 por ciento) son mantenidas por solo uno o dos agricultores en áreas pequeñas. La importancia del intercambio de semillas para estas variedades es probablemente baja, pero los estudios de intercambio de variedades generalmente no han hecho mucha distinción entre las variedades ampliamente cultivadas y las que son raras.

Las variedades mantenidas como subpoblaciones y ocasionalmente intercambiadas entre agricultores pueden considerarse como metapoblaciones, es decir, un grupo de poblaciones espacialmente separadas de la misma variedad que interactúan en algún nivel (véase, por ejemplo, Slatkin 1977). Existe un interés creciente en el uso de enfoques de metapoblación para analizar los patrones de distribución de diversidad genética en variedades de cultivos. Los patrones continuos de extinción local seguidos por nuevas introducciones parecen sugerir que los enfoques de metapoblación pueden ser particularmente relevantes. Sin embargo, como van Heerwarden et al. (2010) notó, hay pocos datos disponibles del tipo necesario para adaptar los enfoques de metapoblación a las realidades de la gestión de la diversidad de cultivos por parte de los agricultores. Sugieren que las investigaciones deben distinguir entre reemplazo, cantidad de migración y frecuencia de migración y, en cultivos de polinización cruzada, deben incluir estudios explícitos sobre el flujo de polen y su efecto.

Dimensiones Sociales, Espaciales y Temporales de las Variedades Tradicionales y el Agroecosistema

La diversidad que se encuentra dentro y entre las variedades de un cultivo se ve afectada por las dimensiones espaciales y temporales y por las decisiones tanto de la comunidad como de los agricultores. En esta sección, se consideran

algunos aspectos de estas perspectivas más amplias y se sugieren algunos enfoques para su análisis.

Dimensiones Sociales

Varias decisiones que afectan el mantenimiento de la diversidad son tomadas no por agricultores individuales sino por una comunidad en su conjunto. Estas decisiones incluyen aquellas que afectan la administración de un recurso al que toda la comunidad necesita tener acceso y donde la acción colectiva puede estar involucrada (vea el Capítulo 8). En las áreas de cultivo de arrozales, esto a menudo incluye decisiones que se relacionan, o que reflejan el manejo de recursos hídricos. Por lo tanto, en partes de Sri Lanka donde el agua es suministrada por lagos artificiales (llamados pequeños tanques), la cantidad de tierra utilizada para la producción de arroz está determinada por procesos sociales establecidos que toman en cuenta la disponibilidad esperada de agua de la próxima temporada de crecimiento (Shah et al. 2013). Esto, a su vez, puede afectar la asignación de tierras para cultivos. Otros ejemplos de actividades colectivas que pueden afectar las decisiones individuales de los agricultores incluyen la asignación de tierras bajo regímenes de cultivo migratorio, el acceso a los bosques de productos forestales naturales que pueden complementar los medios de subsistencia y el manejo del agua (por ejemplo, Swallow et al. 2001). Estos a su vez pueden influir en la disponibilidad de tierra y mano de obra y, de esta manera, afectar los cultivos y las variedades cultivadas.

Dimensiones Espaciales

Una apreciación completa y la comprensión de los patrones de distribución de la diversidad genética de los cultivos a menudo implica una apreciación de las dimensiones del paisaje, es decir, de un área más amplia que la delimitada por una comunidad o aldea específica (McNeely y Scherr 2002). Se puede pensar en los paisajes como áreas que comparten varias características o características comunes y que son mayores que las aldeas o comunidades individuales. Pueden estar asociados con cuencas hidrográficas u otras características geográficas de gran escala. La característica importante de un enfoque de paisaje es el reconocimiento del valor de explorar escalas espaciales más grandes que la finca o el pueblo.

Los paisajes suelen ser mosaicos de diferentes características y prácticas de uso de la tierra. Pueden incluir diferentes tipos de producción a diferentes altitudes o en diferentes áreas. Es probable que los paisajes incluyan una mayor

variación que la encontrada en cualquier pueblo o comunidad con respecto a la disponibilidad de agua, los tipos de suelo y otros aspectos físicos como la pendiente y la altitud. Por lo tanto, pueden contener una diversidad más amplia de variedades adaptadas a las diferentes condiciones. También incluyen áreas de producción especializadas, como huertos caseros (aunque también son importantes a nivel de aldea y de finca) y áreas de bosques, tierras no productivas, corredores ribereños, carreteras y caminos. Estos proporcionan entornos en los que diferentes tipos de biodiversidad pueden coexistir con las variedades tradicionales y se suministran servicios ecosistémicos importantes, como la polinización, hospederos alternativos para plagas y enfermedades, malezas y parientes silvestres de los cultivos, etc.

La mayor variabilidad en las características ambientales que caracteriza a un paisaje en comparación con una finca o comunidad puede ir acompañada de una mayor variación en una gama de variables socioeconómicas como la etnia y el nivel de ingresos, así como en los cultivos y variedades cultivadas. Un buen ejemplo se encuentra en los diferentes cultivos y variedades que están asociados con la altitud de los paisajes de los Andes (Brush 2000). No solo se cultivan cultivos específicos a diferentes altitudes, sino que las variedades también cambian. Esto contrasta con la situación descrita para el maíz en Yucatán, donde la diversidad encontrada en un solo pueblo era característica de toda el área (Capítulo 5). Por necesidad, es probable que los análisis a nivel de paisaje involucren un nivel de detalle diferente al de las comunidades y fincas específicas, y es necesario pensar cuidadosamente qué información valdría la pena recopilar y cómo recopilarla. Sin embargo, con técnicas apropiadas de muestreo estratificado, los estudios de paisaje pueden mostrar patrones y tendencias que pueden no ser visibles a niveles más locales, como lo ilustra Zimmerer (2003a) para la papa y el ulluco en los Andes, Bezançon et al. (2009) para el sorgo y el mijo perla en Níger, y el maíz en Chiapas, México (Brush y Perales 2007).

A escala de paisaje, los procesos evolutivos de mayor importancia probablemente incluyan la selección, el flujo de genes y la migración. La detección de selección puede volverse más compleja a medida que diferentes agricultores en diferentes comunidades persiguen objetivos diferentes y enfrentan una gran variabilidad de condiciones. El flujo de genes y la migración pueden reflejarse en los procesos de mezcla a medida que las comunidades comparten materiales en los mercados o en otras partes de los sistemas de semillas. El flujo de genes como resultado de la polinización cruzada también puede ocurrir, pero es probable que sea una característica más local que a nivel de paisaje.

Las perspectivas de escala también son importantes para explorar patrones de diversidad en diferentes tipos de sistemas de producción. Los huertos caseros que rodean la finca y el cultivo migratorio son dos ejemplos contrastantes de escala. Los huertos caseros son una característica importante de muchos sistemas de producción donde a menudo se mantienen grandes cantidades de diversidad (en términos de especies y variedades) (Eyzaguirre y Linares 2004). Son agroecosistemas complejos de varias capas que combinan especies de árboles, arbustos y sotobosque, como verduras, hierbas y plantas medicinales en una sola área pequeña. En muchas sociedades, las mujeres desempeñan un papel importante en el manejo de los huertos caseros. Los cultivos que se encuentran en los huertos caseros a menudo se caracterizan por tener un tamaño de población pequeño en comparación con los de los campos cultivados. Solo se pueden cultivar algunas plantas de cualquier cultivo en particular. La sucesión también es importante, y la tierra disponible siempre está en uso para un cultivo u otro. Los huertos familiares a menudo se caracterizan por tener pocas variedades de cualquier cultivo dentro de un huerto específico, pero tienen una riqueza de especies extremadamente alta (Galluzzi et al. 2010). Si bien el tamaño de la población puede ser muy pequeño y las variedades probablemente estén sujetas a la deriva genética, la diversidad general de un cultivo en un grupo de huertos caseros puede ser alta.

Desde una escala contrastante, el cultivo migratorio proporciona otro sistema de producción rico en cultivos y diversidad genética, con prácticas de manejo complejas como las presentadas en el Capítulo 6. Aunque a veces se considera “históricamente obsoleto”, se estima que millones de agricultores en todo el mundo usan algún tipo de cultivo migratorio para satisfacer al menos parte de sus necesidades de producción (Cairns y Garrity 1999). Las prácticas de cultivo migratorio pueden implicar simplemente el uso ocasional de tierras adyacentes a las áreas de producción de los cultivos (a menudo los márgenes de los bosques) para cultivos específicos. En Sri Lanka, estos cultivos son a menudo de rápido crecimiento y pueden comercializarse fácilmente para proporcionar una fuente de efectivo para la familia. En el otro extremo, particularmente en partes de Asia como el noreste de India o el norte de Tailandia, los sistemas están altamente desarrollados y manejados cuidadosamente. El cultivo migratorio probablemente reduce la probabilidad de selección para entornos de producción específicos, porque la tierra utilizada cambia constantemente. Por otro lado, favorece a las variedades que tienen éxito con un mínimo de insumos y compiten bien con otras especies en tierras recientemente taladas.

La distribución de áreas a menudo se lleva a cabo de manera más o menos colectiva o bajo la guía del jefe local, situaciones que también tienden a favorecer variedades ampliamente adaptadas y reducir la probabilidad de que emerjan subpoblaciones específicas con características bien definidas.

Dimensiones Temporales

Así como la composición genética de las poblaciones de plantas cambia y evoluciona constantemente, también lo hace el entorno agrícola. Muchos aspectos del medioambiente diferirán de una época a otra. La población de patógenos del próximo año comprenderá diferentes patotipos en frecuencias alteradas, o habrá un cambio marcado en la prevalencia de plagas. El nivel de fertilidad del suelo o la salinidad o acidez pueden cambiar, al igual que las variables climáticas como la lluvia y la temperatura. Tal variación combina los efectos de los cambios dirigidos (por ejemplo, el calentamiento global) y los cambios cíclicos (como las temporadas del niño y la niña) con fluctuaciones aleatorias. Las poblaciones de plantas hacen frente a las condiciones cambiantes ya sea con diversidad genética (algunos genotipos tienen una adaptación especial) o con flexibilidad genotípica (algunos genotipos o variedades tienen la capacidad de persistir y ceder a pesar del ambiente modificado).

Los factores sociales y económicos también contribuyen a crear situaciones cambiantes para los agricultores. Algunos de estos conducirán a fluctuaciones anuales o cíclicas que tenderán a favorecer la flexibilidad genotípica. Labeyrie et al. (2014) analizaron recientemente la interacción entre las características sociales, ambientales y genéticas, lo que demuestra que es importante combinar los análisis socioeconómicos y culturales con los estudios ambientales y genéticos. Otros cambios, como la disponibilidad laboral reducida o la disminución del conocimiento asociado con el manejo de variedades tradicionales, tendrán un efecto de naturaleza más permanente y pueden estar asociados con cambios en las características de las variedades, como la adaptación a un número reducido de intervenciones por los agricultores.

Las variedades tradicionales son dinámicas y cambian con el tiempo como resultado de los efectos de la selección, el flujo de genes y otras fuerzas evolutivas. Comprender la naturaleza dinámica de estas variedades implica estudios diseñados para continuar en períodos de tiempo cada vez más cortos. El cambio puede ocurrir tanto dentro de las variedades como mediante el reemplazo de una variedad por otra. Hay dos aspectos a corto y largo plazo de estos cambios. A corto plazo, las variaciones año tras año en, por ejemplo, el clima, la disponibilidad de mano de obra o materiales de siembra y/o la demanda del mercado

cambiarán los cultivos y las variedades cultivadas y la extensión y distribución de la diversidad genética dentro de las variedades y entre ellas en cualquier área.

Los cambios a corto plazo en los sistemas de semillas se han descrito anteriormente para el cultivo de faba en Marruecos, que afectaron claramente a las variedades disponibles para el año siguiente y su constitución genética. En algunos años, los agricultores podían usar su propia semilla, mientras que en otros dependían de los mercados locales para proporcionar la semilla. El uso continuado de semilla almacenada por agricultores individuales durante un número de años probablemente lleve a la creación de subpoblaciones, cada una con sus propias características. El uso de semilla de los mercados locales, por el contrario, es probable que resulte en la amplia distribución de una sola población. Esto es en algunos aspectos análogos al fenómeno de extinción y reemplazo que es importante para la comprensión de las metapoblaciones. El proceso de domesticación continua en ñame en África occidental, la yuca en América del Sur y el boniato en Indonesia e ilustra otros ejemplos de cambios rápidos en la diversidad disponible o utilizada dentro de cualquier sistema agrícola (por ejemplo, Scarcelli et al. 2006a).

A medida que las condiciones de producción cambian, también lo hacen los requisitos de los agricultores. Por ejemplo, los cambios en la demanda del mercado llevarán a los agricultores a responder eligiendo variedades o seleccionando dentro de las variedades los rasgos requeridos por el mercado. Las nuevas oportunidades de mercado pueden conducir al desarrollo de variedades que respondan a estas. La disponibilidad decreciente de mano de obra rural favorece un uso creciente de variedades que requieren menos mano de obra. El cambio climático también conduce a cambios en la diversidad dentro y entre las variedades de cualquier cultivo. Se cree que el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones en el Sahel son responsables de la creciente popularidad de las variedades de maduración temprana y del aumento de los genes asociados con una floración más temprana, espigas más cortas y plantas más pequeñas (Vigouroux et al. 2011b).

Las nuevas variedades desarrolladas como parte de los programas formales de mejoramiento continúan siendo introducidas y adoptadas en sistemas agrícolas tradicionales. Por lo general, se cree que conducen a una erosión genética significativa con pérdida de variedades tradicionales. Sin embargo, esto no parece ser siempre el caso.

Los estudios de los cambios a largo plazo en los patrones de diversidad genética son limitados, pero se han realizado para el mijo perla y el sorgo. Al igual que con el mijo perla en Níger (ver cuadro 11.1), no se detectaron pérdidas de

diversidad a largo plazo para el sorgo en Níger (Deu et al. 2010), Etiopía (Me-
kbib 2008) y Guinea marítima (Barry et al. 2008). Deu et al. (2010) utilizaron
28 marcadores de microsatélites y aplicaron métodos de agrupamiento espacial
y genético a colecciones de 1976 y 2003. La riqueza alélica aumentó tanto dentro
de las regiones como dentro de las zonas climáticas durante el período. Los au-
tores especularon que una disminución en la heterocigosidad durante el período
resultó de un mayor control de la pureza de las variedades y una mayor atención
a la producción de semillas por los agricultores durante el período.

Los resultados muestran el valor de tales estudios y sugieren que deberían
extenderse a una gama mucho más amplia de cultivos en diferentes situaciones.
Por supuesto, esto puede ser difícil de planificar, pero indica el valor de plani-
ficar cualquier estudio específico de tal manera que los futuros análisis podrían
proporcionar más información sobre el cambio. El almacenamiento a largo plazo
de muestras de semillas, procedimientos de muestreo robustos y bien documen-
tados, y el uso del GPS son todos aspectos importantes de cualquier programa
de investigación, lo que permitirá que futuros estudios brinden información so-
bre tendencias temporales. A medida que aumenten las oportunidades de utili-
zar la secuenciación de DNA, se dispondrá de mucha más información sobre los
cambios que se están produciendo entre variedades y dentro de ellas, y puede
ser posible rastrear linajes y relaciones de variedades. Un estudio de simulación
reciente (De Mita et al. 2013) que compara diferentes enfoques para detectar
señales de selección proporciona las siguientes pautas:

- Los métodos basados en la diferenciación (aquellos basados en el aná-
lisis G_{ST}) tienen menores tasas de falsos positivos que los métodos ba-
sados en la correlación.
- Es mejor muestrear algunos individuos en muchas poblaciones que
muchos individuos en unas pocas poblaciones.
- Los modelos y métodos más apropiados utilizados dependen de las su-
posiciones hechas y difieren para la autogamia y la alogamia y para los
modelos de isla versus paso a paso.

Conclusiones

El énfasis de este capítulo ha estado en las formas en que las caracterís-
ticas ambientales, sociales y económicas de un sistema agrícola, y de la comu-
nidad y los agricultores que lo manejan, influyen en las fuerzas evolutivas que
determinan la diversidad presente en el sistema. La importancia relativa de estas

diferentes fuerzas y sus características indicará qué tipo de actividades podrían ser útiles para el mantenimiento de la diversidad de las variedades tradicionales. Esto es especialmente cierto con respecto a la forma en que opera la selección y la naturaleza del sistema de semillas.

La complejidad de los sistemas agrícolas tradicionales y las formas en que diferentes factores interactúan para influir en la diversidad disponible hacen que cualquier análisis sea difícil pero gratificante. El enfoque sugerido aquí, y a lo largo de este libro, es desarrollar hipótesis comprobables específicas que reflejen las inquietudes e intereses de los agricultores y que se basen en los enfoques analíticos participativos descritos en los capítulos anteriores. Estas hipótesis pueden abordar problemas específicos, como la diversidad disponible para hacer frente a los cambios climáticos, encontrando cambios en problemas de plagas y enfermedades o abrir nuevos mercados. Ellos también pueden hacer preguntas sobre la existencia de las instituciones necesarias que pueden respaldar la migración continua, la selección y otras fuerzas necesarias para mantener la diversidad general o las variedades específicas. Además, el efecto que una política específica tendrá en las diferentes fuerzas evolutivas debe ser claro para que se mantenga la diversidad que se encuentra en las variedades de cultivos tradicionales.

La importancia de un análisis sólido es fundamental para explorar las acciones de apoyo al mantenimiento y el uso de las variedades tradicionales que se analizarán en el próximo capítulo. Claramente, si el diagnóstico es incompleto o está equivocado, las intervenciones sugeridas pueden causar más problemas de los que resuelven.

Lecturas Adicionales

- Balick, M. J. 1997. *Plants, People and Culture: The Science of Ethnobotany*. W. H. Freeman and Co.
- De Boef, W. S., H. Dempewolf, J. M. Byakweli, y J. M. M. Engels. 2010. "Integrating genetic resource conservation and sustainable development into strategies to increase the robustness of seed systems." *Journal of Sustainable Agriculture* 34:504–31.
- Hodgkin, T., 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. 2007. "Seeds systems and crop genetic diversity in agroecosystems." Pp. 77–116 in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, y H. D. Cooper, Eds.). Columbia University Press, NY.
- Pautasso, M., G. Aistara, A. Barnaud, S. Caillon, P. Clouvel, O. T. Coomes, M. Delêtre, E. Demeulenaere, P. De Santis, T. Döring, L. Eloy, L. Emperaire, E. Garine, I. Goldringer,

D. Jarvis, H. I. Joly, C. Leclerc, S. Louafi, P. Martin, F. Masso, S. McGuire, D. McKey, C. Padoch, C. Soler, M. Thomas, y S. Tramontini. 2013. "Seed exchange networks in agrobiodiversity conservation: concepts, methods and challenges." *Agronomy for Sustainable Development* 33:151–75.



Ilustración 12. En muchas culturas, los agricultores seleccionan ciertas plantas o cosechan semillas de diferentes cultivos para proporcionar la semilla para el año siguiente. También pueden seleccionar de una parte particular de sus campos donde hayan identificado mejor suelo, agua u otras condiciones de crecimiento. Esta selección puede realizarse en el campo antes de la cosecha o en la época de trilla después de la cosecha. Donde esto ocurre, puede constituir una fuerte fuerza selectiva (ver a continuación) y crear un tamaño de población mucho más pequeño que el material total cosechado. Arriba a la izquierda: mujer vietnamita seleccionando semillas de frijol mungo de su cosecha para sembrarlas en la próxima temporada. Abajo a la derecha: las mujeres vietnamitas seleccionan las plantas de arroz que almacenarán por separado como semillas. Abajo a la izquierda: almacenamiento tradicional de maíz en Yucatán, México: una pequeña muestra de semilla de maíz almacenada como mazorcas enteras con las hojas protectoras y colocada en las vigas de una cocina, donde el humo del fuego ayudará a mantener a los insectos alejados de las mazorcas. Arriba a la derecha: edificios de almacenamiento tradicionales en Burkina Faso. Créditos de las fotos: D. Jarvis (arriba a la izquierda y arriba a la derecha), J. Tuxill (abajo a la izquierda), B. Sthapit (abajo a la derecha).

CAPÍTULO 12

Estrategias para la Colaboración e Intervención

Al final de este capítulo el lector debe tener un entendimiento de:

- Como se pueden formar y mantener vínculos efectivos entre los socios a varios niveles para el manejo de la diversidad genética de los cultivos en fincas.
- El rango de opciones disponibles para los agricultores que permitan mejorar el acceso, manejo y beneficios de la conservación y el uso de la diversidad genética de los cultivos en fincas.

Desarrollar y llevar a cabo un programa que respalde el uso y la conservación de la diversidad genética de los cultivos en el sistema de producción agrícola requiere más que recursos y experiencia para recopilar y asimilar datos de investigación. También requiere cultivar asociaciones entre muchos individuos e instituciones y movilizar a las organizaciones comunitarias para acciones concretas. Aunque los aspectos colaborativos pueden pasarse por alto fácilmente, son un elemento fundamental de una iniciativa exitosa en fincas. Este capítulo primero presenta la gama de socios involucrados, los tipos de relaciones que son necesarias y las formas en que se pueden compartir las responsabilidades y los beneficios. Luego el capítulo presenta un enfoque de portafolio utilizando los tipos de información cubiertos en los capítulos anteriores para identificar un rasgo de acciones que apoyen la conservación y el uso de los cultivos tradicionales.

Diversidad de Instituciones y Socios

Diferentes tipos de instituciones y socios estarán involucrados en el apoyo a la conservación y el uso de la diversidad genética de cultivos tradicionales en fincas a diferentes niveles. Esta diversidad institucional es necesaria en parte porque cada tipo de organización tiene un conjunto único de capacidades, y solo mediante la combinación de estas capacidades es posible abordar las complejidades discutidas en capítulos anteriores relacionadas con el mantenimiento de la diversidad en el sistema de producción. Esto es, en parte, porque cualquier descripción o análisis de la cantidad, distribución y manejo de la diversidad genética de los cultivos en los ecosistemas agrícolas puede, y muy probablemente lo hará, conducir a una serie de acciones diferentes.

Podemos analizar por separado las percepciones y objetivos de seis amplios grupos: (1) agricultores y comunidades locales; (2) ecologistas o trabajadores de la salud del ecosistema; (3) conservacionistas y mejoradores; (4) gobiernos nacionales; (5) el sector privado y (6) los consumidores. Los agricultores y las comunidades locales pueden mantener y utilizar la diversidad de variedades de cultivos tradicionales para proporcionar alimentos diversos que respaldarán su soberanía alimentaria y garantizarán la seguridad alimentaria local en la comunidad. El uso de estas variedades puede permitirles adaptarse al trabajo doméstico y a las limitaciones presupuestarias; mitigar los efectos de plagas, enfermedades y otros estreses ambientales, brindar un seguro a partir del nuevo material genético frente a futuros cambios ambientales o económicos; aumentar los ingresos; mantener la identidad cultural; y desarrollar y mejorar las organizaciones sociales para potenciar a los agricultores y a las comunidades locales hacia acciones de conservación autodirigidas (Capítulos 7, 8, 9 y 10).

Los ecologistas o trabajadores de la salud del ecosistema pueden considerar el manejo de la diversidad genética como una forma importante de mantener los sistemas locales de manejo de cultivos para la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos y la salud del agroecosistema en términos de asegurar la formación del suelo y el ciclo de nutrientes, procesos mediante los que se mejora la biodiversidad del suelo, la reducción de la contaminación del agua subterránea y la restricción de la propagación de enfermedades de las plantas (Capítulos 6 y 7).

Los conservacionistas y mejoradores pueden concentrarse en mantener o mejorar el valor genético del material para asegurar la diversidad adecuada en futuros esfuerzos de mejoramiento y el mantenimiento de óptimos rendimientos, resiliencia en ambientes estresantes y cambios en la adaptación a nuevas plagas y enfermedades (Capítulos 4 y 5).

Los gobiernos nacionales pueden implementar políticas y programas para el manejo en fincas y el uso sostenible de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura como un método para asegurar el suministro local de alimentos. También pueden preservar un patrimonio nacional con valor económico real o potencial como una red de seguridad para pequeños agricultores en áreas vulnerables y como una forma de contribuir a la estabilidad social (Capítulo 10).

El sector privado puede apoyar la conservación y el uso de variedades de cultivos tradicionales para facilitar el acceso a una selección de materiales de siembra y productos para el consumo, así como el mejoramiento y la comercialización para obtener beneficios, mientras que los consumidores pueden considerar las iniciativas de conservación como un medio para mejorar su acceso a diversas variedades de cultivos para satisfacer dietas variadas y otros productos agrícolas (forraje, paja) (ver Capítulo 9).

Al equilibrar los objetivos y las perspectivas de los diversos socios, las múltiples necesidades descritas más adelante en este capítulo pueden abordar simultáneamente las necesidades dispares de los conservacionistas, los ambientalistas, los agricultores que sustentan y generan la biodiversidad y el desarrollo agrícola, y los trabajadores sociales se pueden dirigir simultáneamente mediante acciones múltiples que se describen más adelante en este capítulo.

No todas las instituciones están acostumbradas a trabajar de una manera multiinstitucional, multidisciplinaria e integrada, y muchas veces el marco para este tipo de colaboración es inexistente. En estos casos, el tiempo y la energía deben reservarse para desarrollar marcos de proyectos de colaboración. La jerarquía y la burocracia administrativa involucradas en este proceso pueden ser engorrosas y llevar mucho tiempo. A las actividades relacionadas con la obtención de este apoyo se le deben asignar tanto tiempo inicial como el otorgado a otras actividades del proyecto, de modo que el resultado deje a todas las instituciones formales y no formales satisfechas en términos de sus responsabilidades y beneficios científicos, administrativos y financieros. Un ejemplo de una herramienta de colaboración es un Memorando de Entendimiento (MoU), un acuerdo desarrollado por las instituciones involucradas y firmado a altos niveles administrativos, que estipula el marco bajo el cual se llevará a cabo la colaboración. Aunque los MoUs pueden requerir mucho tiempo para desarrollarse y requieren una aprobación generalizada, son más confiables para proporcionar la continuidad y el compromiso de un instituto que un administrador individual, particularmente en países donde los administradores de nivel superior se trasladan frecuentemente de un puesto a otro.

La discusión temprana con los Ministerios o Departamentos de Agricultura y Medio Ambiente a cargo de los servicios de extensión técnica del gobierno es esencial para evitar confusiones y conflictos en los mensajes proporcionados por los extensionistas y los trabajadores de desarrollo no gubernamentales a nivel local. La capacitación que se incorpora al plan de estudios de los extensionistas a nivel nacional, o se ofrece como capacitación en servicio a los extensionistas experimentados, es un paso importante en la creación de programas de extensión que apoyan, en lugar de dificultar, el mantenimiento de diversos recursos agrícolas en las fincas. El establecimiento de redes de agricultores titulares de conocimiento, junto con la capacitación cuando sea necesaria y la formación de enlaces entre estos extensionistas comunitarios (Practical Action 2011) y los departamentos de extensión gubernamentales (así como los proveedores de insumos cuando sea necesario) son importantes para establecer la confianza y el entendimiento mutuo.

Construyendo Confianza y Colaboración Equitativa

La creación de asociaciones representativas significa que los agricultores y otras partes interesadas tienen la capacidad tanto financiera como de conocimiento para participar en pie de igualdad con otros socios. Garantizar el “Libre Consentimiento Fundamentado Previo” (discutido en el Capítulo 5) puede ser un paso importante para generar confianza entre agricultores e investigadores al revelar completamente la intención y el alcance de la investigación en un lenguaje y proceso comprensible para los agricultores antes de que se realice cualquier actividad o uso del conocimiento tradicional.

La colaboración equitativa en el manejo y uso de los recursos genéticos de los cultivos y la amplia biodiversidad agrícola también relacionada es fundamental para lograr la soberanía alimentaria (Practical Action 2011). La soberanía alimentaria es un marco propuesto por la Vía Campesina (Camino de los Campesinos), lanzando en 1996 y posteriormente desarrollado por los movimientos sociales. Vía Campesina es el movimiento campesino internacional que representa a organizaciones campesinas de pequeños y medianos productores, trabajadores agrícolas, mujeres rurales y comunidades indígenas de Asia, América y Europa (<http://viacampesina.org/es/>).

La soberanía alimentaria es el derecho de los pueblos a tener acceso a alimentos sanos y culturalmente apropiados producidos a través de métodos ecológicamente racionales y sostenibles, y a definir sus propios sistemas alimentarios y agrícolas. Pone en el corazón de los sistemas y políticas alimentarias las aspi-

raciones y necesidades de quienes producen, distribuyen y consumen alimentos, en lugar de las demandas de los mercados y las empresas.

La mejoría en la confianza y la comprensión mutua entre los diferentes actores e instituciones son los primeros pasos para garantizar que se tomen decisiones que representen las necesidades de todos los participantes. La confianza proviene de la transparencia, la reciprocidad, las obligaciones, la confianza mutua y las reglas mutuamente acordadas, que están estructuradas y conectadas a través de grupos y redes.

Durante la última década en Europa, se han desarrollado redes de actores de la sociedad civil preocupados por el manejo y uso de la diversidad genética de los cultivos en España (Red de Semillas, RdS), Italia (Rete Semi Rurali) y Francia (Réseau Semences Paysannes, RSP). Estas redes de socios difieren de las organizaciones de agricultores profesionales en que reclutan a personas que no son pequeños agricultores, reuniendo a todos los ciudadanos preocupados por las semillas en la selección de sus alimentos y la protección de sus ecosistemas agrícolas, incluidos los técnicos, los consumidores, grupos de acción local y otros asociados con universidades e investigación. Los socios combinan sus habilidades para trabajar y promover semillas que han sido moldeadas por el suelo y el clima local, y que han evolucionado conjuntamente con la historia de una región determinada y sus agricultores “campesinos”. Llevan a cabo proyectos de investigación de colaboradores, ferias de biodiversidad y actividades de capacitación, tienen la capacidad de comunicarse con el público en general para compartir sus inquietudes y han producido textos para leyes sobre conservación de variedades a nivel nacional (Bocci y Chablé 2009).

Las instituciones culturales, como las bodas, los clubes deportivos y los balnearios, son lugares de confianza donde el intercambio de información puede vincularse con redes de apoyo más amplias. Las propias redes culturales desempeñan un papel en potenciar el conocimiento, incluida la desmitificación de las tecnologías de laboratorio, lo que puede ser una limitación para la confianza de los agricultores en las discusiones (Meinzen-Dick y Eyzaguirre 2009). El análisis social para determinar el poder, el interés y la legitimidad de las partes interesadas clave es esencial para mitigar cualquier posible conflicto y traducirlo en acciones colaborativas. La alfabetización, con el apoyo de la nueva tecnología de información y comunicación, es una herramienta que permite a los agricultores tener más control sobre sus recursos. Los jurados ciudadanos son un ejemplo de asociaciones formadas por líderes agrícolas, investigadores progresistas y técnicos de ONGs para evaluar, deliberar y abordar públicamente la equidad

y la sostenibilidad de los sistemas e iniciativas de investigación convencionales (Pimbert et al. 2010).

Los diferentes conocimientos que poseen las mujeres y los hombres, así como la importancia de garantizar beneficios equitativos, requieren no solo de que la información este desglosada por género, sino que las oportunidades de capacitación y manejo se distribuyan equitativamente (Howard 2003). Esto se traduce en asegurar la igualdad de participación y contratación de mujeres y hombres en puestos de manejo y toma de decisiones, y promover la equidad social y de género en las oportunidades de capacitación técnica y de alto nivel.

Poner en marcha un marco formal de colaboración puede ayudar a asegurar vínculos equitativos entre los agricultores y quienes poseen o suministran recursos genéticos de los cultivos, tales como bancos de germoplasma nacionales y otras colecciones de germoplasma (ver Capítulo 3). Esta es una conexión bidireccional, en la que cada lado (bancos de germoplasma y agricultores locales) puede proporcionar recursos valiosos para el otro. A menudo los agricultores encuentran dificultades para acceder a las mismas variedades tradicionales de los bancos de germoplasma y mejoradores que las mantienen *ex situ*, incluso para aquellas variedades que una vez fueron recolectadas en sus propias comunidades. Por el contrario, las instituciones formales de mejoramiento pueden ser reacias a aumentar el uso de materiales seleccionados por los agricultores y variedades tradicionales en sus programas de mejoramiento. Dichos marcos pueden ayudar a integrar prácticas de selección de los agricultores, material local y prácticas participativas de mejoramiento de plantas para mejorar otros rasgos de producción y calidad de las variedades locales resistentes, así como la resistencia de variedades no resistentes localmente adaptadas (ver la sección sobre mejoramiento participativo de plantas más tarde en este capítulo).

El apoyo a las cooperativas de agricultores para educar a los agricultores en la producción y comercialización, ayudar con las negociaciones de precios, recaudar impuestos sobre la tierra y compartir información a través de acciones colectivas son herramientas para fortalecer a los agricultores. Esas alianzas permiten que la extensión agrícola y los servicios de asesoramiento respondan a las necesidades de todos los agricultores, especialmente a las mujeres y los pobres, las comunidades marginadas y los hogares. Los esquemas de micro-financiamiento y micro-aseguramiento son herramientas que se han utilizado para construir capital social y financiero que permita a los agricultores, especialmente a las mujeres, participar en actividades económicas y unirse a las redes sociales, a través de las cuales se pueden superar tanto la pobreza como la dependencia

social. Los marcos de colaboración para mejorar el potencial de mercado y la distribución equitativa de beneficios comienzan organizando reuniones que vinculan a todos los posibles actores de la cadena de mercado, incluidos productores y comerciantes, expertos en cultivos, ONG, representantes de ministerios relevantes y miembros de la comunidad para desarrollar el potencial de mercado de las variedades tradicionales (ver Capítulo 9).

Dos enfoques que se han adoptado ampliamente en diferentes partes del mundo para mejorar los vínculos equitativos y construir alianzas representativas en el manejo de los recursos genéticos de los cultivos entre los socios locales y nacionales son los Foros de Diversidad de Campo y el Manejo Comunitario de la Biodiversidad.

Foros de Diversidad de Campo

El enfoque de los foros de diversidad de campo (DFF) se basa en el concepto de escuelas de campo para agricultores (FFS), donde los agricultores reciben capacitación como instructores de sus compañeros agricultores (ver Berg y Jiggins 2007 y Doing 2011 para una descripción detallada de FFS). El enfoque DFF se desarrolló en entornos de baja heredabilidad en África Occidental para fortalecer la capacidad de los agricultores en el análisis y manejo de sus propios recursos genéticos de plantas de cultivo, en el marco de un programa regional para promover la conservación y el uso de la diversidad genética local de los cultivos (Bioversity International 2008). Los entornos de baja heredabilidad son entornos en los que el establecimiento de plántulas y la reproducción de variedades adaptadas son difíciles debido a entornos agrícolas y condiciones ambientales heterogéneos, como la imprevisibilidad o la incertidumbre en la cantidad y distribución estacional de la lluvia en el Sahel. El enfoque participativo genera opciones que los agricultores pueden usar en lugar de la transferencia de tecnología de fuentes externas. El DFF consiste en hombres y mujeres organizados en equipos (generalmente de 25 a 30 personas) por sexo para evaluar la diversidad genética de los cultivos. Los grupos de agricultores prueban cultivares locales y mejorados. Los agricultores son entrenados en la multiplicación de semillas, y las semillas de los cultivares seleccionados se multiplican y diseminan dentro y fuera de los grupos. El enfoque toma en cuenta que los criterios de selección preferidos difieren entre mujeres y hombres agricultores. Mediante reuniones semanales, se informa a los agricultores sobre las convenciones y legislaciones nacionales e internacionales relevantes para el intercambio de recursos fitogenéticos (por ejemplo,

el Convenio de Diversidad Biológica [CDB] y el Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura [ITPGRFA]) y las regulaciones nacionales de semillas. El sistema informal de semillas se utiliza para suministrar un conjunto de genes diversificados en evolución a través del intercambio y la selección de los agricultores para permitir una adaptación continua a las condiciones cambiantes. El enfoque DFF proporciona un foro para que los agricultores intercambien información y conocimiento sobre el uso, manejo, selección y conservación de la diversidad genética de los cultivos, y ofrece oportunidades de capacitación que producen un nuevo paradigma de asociaciones entre agricultores, investigadores y servicios de extensión (Smale et al. 2009).

Manejo Comunitario de la Biodiversidad

El enfoque de Manejo Comunitario de la Biodiversidad (CBM) es un proceso participativo similar de varios pasos que se enfoca específicamente en fortalecer la capacidad local de toma de decisiones y gobernanza de las comunidades y las instituciones rurales para utilizar la biodiversidad agrícola. Un individuo, una comunidad o una institución tiene el poder si tiene el conocimiento y las habilidades, para comprender por qué se ve afectado y en qué puede influir (conductores), y utiliza el conocimiento y las habilidades para tomar decisiones autodirigidas sobre cómo manipular los factores para lograr un resultado de valor. La capacidad de acceder y utilizar activos naturales depende del conocimiento, las habilidades y las relaciones sociales en la comunidad. El método de CBM se basa en cuatro principios clave: (1) permitir que las partes locales interesadas dirijan mediante el empoderamiento de los agricultores y sus instituciones locales; (2) construir sobre innovaciones, prácticas y recursos locales; (3) diversificar las opciones de medios de vida basados en la biodiversidad, y (4) proporcionar una plataforma para el aprendizaje social y la acción colectiva. El proceso incluye la evaluación participativa de la diversidad genética en fincas y el establecimiento de un Fondo CBM, que funciona como micro-crédito, pero los usuarios del servicio son responsables del mantenimiento de la diversidad local de los cultivos, el monitoreo y la evaluación comunitaria, el aprendizaje social y el incremento de la acción colectiva comunitaria (Sthapit et al. 2006; Shrestha et al. 2012). El desarrollo y el incremento del CBM como metodología han sido documentados por Subedi et al. (2013) y De Boef et al. (2013), quienes completaron recientemente una revisión global de iniciativas del CBM y su impacto (ver Lecturas Adicionales).

Acciones que Incorporan Inquietudes Genéticas, Ecológicas, Sociales y Económicas en Apoyo al Manejo de la Diversidad Genética de los Cultivos en Fincas

Aunque las acciones que pueden apoyar el mantenimiento y uso de variedades tradicionales son a menudo variadas y aparentemente específicas del sitio, cultura o cultivo específico, se ha desarrollado un marco heurístico general para ayudar a los trabajadores y comunidades de conservación y desarrollo a determinar qué acción será probablemente la más relevante en diferentes situaciones. Este dispositivo heurístico se basa en categorizar en cuatro grupos principales los problemas o restricciones que enfrentan los agricultores, que pueden disminuir su capacidad para beneficiarse de la conservación y el uso de los recursos genéticos de los cultivos dentro de sus sistemas de producción agrícola: (1) la falta de suficiente diversidad de variedades de cultivos tradicionales dentro del sistema de producción (ver Capítulos 4 y 5); (2) la falta de acceso de los agricultores a la diversidad disponible (ver Capítulos 8 y 11); (3) las limitaciones en aspectos clave de la información sobre y el desempeño de las variedades disponibles (ver Capítulos 5, 6 y 7), y (4) la incapacidad de los agricultores y las comunidades para comprender el verdadero valor de los materiales que manejan y usan (ver Capítulos 8, 9 y 10). La figura 12.1 contiene un diagrama descriptivo de las relaciones dentro de este dispositivo heurístico. Lo que es importante tener en cuenta es que cualquier descripción o análisis dentro de los cuatro grupos principales de restricciones puede conducir, y muy probablemente lo hará, a una serie de acciones diferentes. La capacidad de las comunidades agrícolas, sus instituciones locales y los proveedores de servicios locales para utilizar este dispositivo heurístico es intrínsecamente clave para el éxito del manejo de la diversidad genética de los cultivos locales en fincas.

Suficiente Portafolio Genéticamente Diverso de Materiales de Siembra Existentes Dentro del Sistema de Producción del Agricultor

Los Capítulos 4, 5 y 7 incluyen descripciones de métodos para estimar el alcance y la distribución de la diversidad en los sistemas de producción de los agricultores. Este es el primer paso para determinar si hay suficiente diversidad de un cultivo dentro de un sistema de producción para satisfacer las diversas necesidades de las comunidades agrícolas. Si bien la decisión de agregar nueva diversidad a los sistemas de producción de los agricultores, o de rehabilitar un sistema de producción con diversidad perdida, recae en última instancia en los agricultores, el abastecimiento de variedades tradicionales está asociado con una

Restricciones para conservar y usar variedades tradicionales

1. La diversidad genética de cultivos locales no existe o no está en cantidades suficientes dentro del sistema de producción.
 - 1a. La diversidad genética de cultivos locales no existe dentro de los ecosistemas del sistema de producción
 - 1b. La diversidad genética de cultivos locales existe, pero en cantidades insuficientes
 - 1b.1 Materiales insuficientemente disponibles
 - 1b.2 Falta de capacidad para multiplicar materiales
2. La diversidad genética local de los cultivos no es accesible para los agricultores
 - 2a. Los agricultores carecen de recursos para adquirir los materiales
 - 2a.1 Falta de fondos para acceder desde dentro de la comunidad
 - 2a.2 Falta de fondos para cubrir los costos de transporte desde fuera de la comunidad
 - 2b. La diversidad genética de los cultivos no es accesible debido a restricciones sociales
 - 2b.1 La presión del sector formal impide la accesibilidad
 - 2b.2 Falta de vínculos sociales para acceder a la diversidad
 - 2c. Los sistemas de flujo de semillas carecen de la capacidad de cambiar o proporcionar tamaños de muestra suficientemente grandes para garantizar la adaptación y la evolución
 - 2d. Las políticas y las instituciones limitan el flujo de semillas
3. Los agricultores no valoran ni utilizan los recursos genéticos de cultivos locales
 - 3a. Los agricultores no perciben los materiales genéticos locales como competitivos
 - 3a.1 Existe información sobre el valor/beneficio, pero no está disponible o no se tiene acceso a ellos
 - 3a.2 No existe información sobre el valor/beneficio de los materiales
 - 3b. Los materiales tienen un bajo rendimiento agronómico, ecológico o de calidad, o carecen de aceptabilidad cultural
 - 3b.1 El material tiene bajo rendimiento agronómico
 - 3b.2 El material no está adaptado a las condiciones abióticas
 - 3b.3 El material no está adaptado a las presiones bióticas
 - 3b.4 La calidad del material es mala
 - 3b.5 El material no es culturalmente aceptable
 - 3c. El manejo de los materiales se puede mejorar
 - 3c.1 La limpieza y el almacenamiento de semillas es una limitación
 - 3c.2 Los materiales no se manejan como diversos conjuntos de variedades
 - 3d. Las políticas inhiben el uso de materiales y métodos de manejo dirigidos por los agricultores
4. Los agricultores no se benefician del uso de la diversidad genética de cultivos locales
 - 4a. Insuficientes beneficios comerciales de los materiales
 - 4a.1 Bajo valor de comercialización.
 - 4a.2 Baja demanda del mercado
 - 4a.3 Falta de tecnología para procesar diversos materiales
 - 4a.4 Falta de confianza entre los actores de la cadena de mercado
 - 4b. Insuficientes beneficios no comerciales de los materiales
 - 4b.1 No valorados los beneficios socioculturales
 - 4b.2 No valorada la sustitución de insumos (fertilizantes, pesticidas)
 - 4b.3 No valorados los beneficios del servicio ecosistémico de los materiales
 - 4b.4 No valorados los derechos de los agricultores
 - 4b.5 Falta de responsabilidad social
 - 4c. Débiles instituciones locales y liderazgo de agricultores/comunidad
 - 4c.1 Falta de acción colectiva
 - 4c.2 Falta de liderazgo de los agricultores/la comunidad
 - 4c.3 Falta de apoyo a las instituciones locales

Figura 12.1. Marco heurístico para identificar restricciones y acciones relacionadas que apoyen la conservación y el uso de las variedades de los cultivos tradicionales dentro de los sistemas de producción agrícola (adaptado de Jarvis et al. 2011, reproducido con autorización de TAYLOR & FRANCIS INC en el formato de re-publicación en un libro/libro de texto mediante Copyright Clearance Center).

serie de dificultades. Pocos bancos de germoplasma están equipados para proporcionar suficientes semillas para la siembra directa de los agricultores o para proporcionar tamaños de población suficientes para la adaptación a condiciones ambientales cambiantes y prácticas de manejo.

Un enfoque ha sido el desarrollo de bancos comunitarios de semillas vinculados a bancos de germoplasma comunitarios y viveros manejados por la comunidad para árboles frutales. Los bancos comunitarios de germoplasma están orientados a recolectar y almacenar diversidad de cultivos locales y proporcionar acceso a una pequeña cantidad de semillas como fuente de germoplasma, mientras que un banco comunitario de semillas se utiliza para garantizar la disponibilidad local de semillas para la seguridad alimentaria.

En los últimos decenios se han establecido bancos comunitarios de semillas y germoplasma en varios países como respuesta a la guerra, las sequías prolongadas y la gran pérdida de la diversidad genética de los cultivos locales. Estas instituciones locales brindan acceso a materiales de siembra tradicionales de variedades de cultivos y, a menudo, cuentan con el respaldo de agencias de desarrollo nacionales e internacionales. Cumplen una serie de funciones, incluida la de conservar variedades locales raras y poner a disposición de los agricultores variedades modernas y tradicionales, en particular después de situaciones de crisis. Los bancos comunitarios de semillas son todos diferentes, pero en general su establecimiento y mantenimiento se basan en tres actividades principales: (1) recolección de germoplasma (y conocimiento asociado), a menudo dentro de la comunidad, mercados y pueblos vecinos, (2) almacenamiento de germoplasma, y (3) multiplicación de semillas y material de siembra para su distribución a los agricultores siempre que lo necesiten. Si bien la mayoría de los bancos comunitarios de semillas son administrados por uno o un grupo de agricultores que utilizan estructuras e instalaciones comunales, algunos bancos de semillas están descentralizados; varios agricultores tienen la responsabilidad de recolectar y conservar semillas dentro de sus fincas para toda la comunidad (Fondo de Desarrollo 2011).

Los viveros administrados por la comunidad permiten a los productores acceder tanto a las plantas madre (injertos y portainjertos) como a la información asociada. También son un lugar para que los agricultores conozcan mejores prácticas de manejo de viveros. Además, una cooperativa local de semillas para la recolección, distribución y multiplicación de semillas, así como las ferias de diversidad (descritas a continuación), pueden identificar materiales de siembra diversificados para una comunidad.

Las ferias de semillas han existido durante siglos en algunas partes del mundo. En los Andes, por ejemplo, personas de diferentes comunidades se congregan en festividades religiosas, normalmente al final de la cosecha, y venden, compran e intercambian recursos fitogenéticos y conocimientos relacionados (Tapia y Rosa 1993). Las ferias de semillas no solo permiten a los agricultores intercambiar semillas de variedades locales adaptadas a las condiciones locales, sino que también promueven la interacción social entre los propios agricultores, los agricultores y los agentes de extensión, y los agricultores y las empresas privadas. De esta manera, los representantes del sector formal de semillas están expuestos a las preferencias y necesidades de los agricultores, mientras que los segundos tienen la oportunidad de aprender sobre lo que el sector formal puede ofrecer. Tal interacción también puede resultar en redes mejoradas de diseminación de semillas.

Una feria de diversidad es un medio para crear conciencia en las comunidades agrícolas sobre el valor de la diversidad de los cultivos. Reúne a agricultores de una o más comunidades para mostrar la variabilidad de variedades tradicionales que cada uno cultiva. En lugar de otorgar premios por la mejor variedad individual (por ejemplo, en función del rendimiento o el tamaño), las ferias de diversidad otorgan a los agricultores o cooperativas la mayor diversidad de cultivos y el conocimiento asociado. En algunas comunidades, las reuniones similares a las ferias de diversidad ya existen como eventos tradicionales, donde los agricultores convergen para mostrar sus variedades tradicionales y compartir semillas y conocimiento. Estas ferias también pueden convertirse en mercados, donde las variedades tradicionales se pueden comprar y vender. Para maximizar su atractivo como “eventos”, las ferias de diversidad probablemente se realicen con menos frecuencia, pero de forma recurrente, tal vez una vez al año. Las ferias de diversidad ayudan a reconocer a los agricultores que mantienen grandes cantidades de diversidad genética, poseen un conocimiento inusual de la diversidad de los cultivos y/o son ampliamente reconocidos y respetados por otros agricultores. Se han utilizado para preparar inventarios de variedades de cultivos tradicionales para una comunidad o región (incluida la identificación y ubicación de variedades raras o en peligro), localizar focos de diversidad particular e identificar fuentes de suministro de semillas formales e informales dentro de una comunidad. Proporcionan un foro para que diversos agricultores, o miembros de la comunidad en general, converjan y evalúen las variedades tradicionales junto con el nuevo germoplasma, ya sea en forma de variedades modernas o como producto de actividades participativas de fitomejoramiento.

Los mercados locales representan una fuente importante de semillas para los agricultores. A diferencia de las ferias de semillas y diversidad, la diversidad de cultivos disponibles en los mercados locales puede ser limitada. La obtención de semillas de los agricultores en los mercados locales no siempre resulta en una mayor diversidad de cultivos utilizada en sus campos (Lipper et al. 2012). Sin embargo, los mercados locales pueden ser un importante punto de intervención para aumentar el acceso a semillas diversas, especialmente a medida que los factores ambientales y sociales desintegran las redes tradicionales de suministro de semillas. La mala calidad de las semillas y las prácticas inadecuadas de manejo de semillas pueden limitar la disponibilidad de diversidad de los cultivos para los agricultores, como se discutió en el Capítulo 11. Los sistemas descentralizados de producción de semillas y control de la calidad de las semillas pueden acercar la diversidad a los agricultores y garantizar la calidad. Algunos ejemplos de tales sistemas se presentan en el cuadro 12.1.

Como se explicó en el Capítulo 10, las políticas pueden crear oportunidades y obstáculos para que los agricultores hagan uso de la diversidad de los cultivos en la producción agrícola. Un entorno normativo propicio es importante para la conservación y el uso sostenible de la diversidad de los cultivos en fincas. En particular, las políticas, leyes y regulaciones sobre semillas pueden imponer serias limitaciones a la disponibilidad e intercambio de diversidad de los cultivos entre los agricultores. Manteniendo los objetivos originales del sistema formal de semillas de proporcionar transparencia en el mercado de variedades de plantas y asegurar la calidad de las semillas, se han propuesto y probado diferentes modelos para regular la comercialización de variedades tradicionales y modernas en un intento de minimizar o evitar los efectos negativos de las políticas y leyes estándar de semillas sobre la diversidad de los cultivos en fincas.

Alternativas del Registro de Variedades de Plantas y Certificación de Calidad de las Semillas

La Conservación de Variedades

Unión Europea aprobó recientemente un tratamiento especial para la denominada conservación de variedades, mediante la cual, las variedades tradicionales adaptadas a las condiciones locales y regionales y amenazadas por erosión genética pueden registrarse para su comercialización en determinadas condiciones (Directiva 2008/62 / CE del 20 de junio de 2008). El tratamiento especial consiste en (1) un cierto grado de flexibilidad en el nivel de uniformidad que se requiere, y (2) una exención del examen oficial si el solicitante puede

Cuadro 12.1. Sistemas formales e informales de producción de semillas descentralizados y combinados en Bolivia y Nepal

En los últimos 20 años, la Fundación PROINPA ha puesto en marcha varios proyectos a través de los cuales se han proporcionado semillas prebásicas y básicas certificadas de variedades tradicionales de papa registradas por los agricultores, junto con apoyo técnico para los “semilleristas” locales que se encargan del almacenamiento de semillas, multiplicación y disseminación. Gracias a estos proyectos, las oficinas regionales dependientes del Ministerio de Agricultura reconocen a los agricultores especializados como capaces de producir ciertas cantidades de semillas cuya calidad está certificada por dichas oficinas.

En Nepal, las Oficinas Distritales de Desarrollo Agrícola lanzaron el Programa de Autosuficiencia de Semillas del Distrito en 1996, y actualmente está operando en todos los distritos. El programa tiene como objetivo fortalecer el sistema informal de multiplicación y distribución de semillas proporcionando coordinación y apoyo técnico a las organizaciones locales. Sus beneficios no se realizan completamente debido a las serias limitaciones de recursos, una cantidad limitada de semilla original y una cantidad insuficiente de agricultores que participan.

proporcionar suficiente información sobre la variedad a través de otros medios, como pruebas no oficiales y conocimiento obtenido de experiencias prácticas.

Registro y Liberación de Variedades de los Agricultores

En Nepal, los requisitos de uniformidad de la Ley de Semillas de Nepal se aplicaron de manera relajada para acomodar la solicitud de los agricultores para el registro de determinadas variedades desarrolladas mediante fitomejoramiento participativo, seguido de una evaluación participativa en el campo junto con los agricultores, propietarios de molinos y minoristas. La variedad a granel mejorada era fenotípicamente similar para rasgos agronómicos, de postcosecha y calidad, así como las preferencias del mercado, y fue formalmente registrada y publicada por el Comité de Aprobación, Registro y Liberación de Variedades (VARRC) en junio de 2006 como “Pokhareli Jethobudho” (Gyawali et al. 2010).

Variedad Común Identificada

En Argentina, las semillas de variedades antiguas de forrajes se pueden comercializar como “Clase Identificada Común”, sin indicar el nombre de la variedad en el paquete de semillas. Por lo tanto, una variedad de alfalfa tradicional conocida como alfalfa pampeano puede venderse bajo el nombre general de semilla de alfalfa. Dado que el nombre de la variedad no es necesario en este caso, puede venderse legalmente sin tener que cumplir con los criterios de distinción,

uniformidad y estabilidad (DUS) requeridos para el registro de variedades (Gutiérrez y Penna 2004). Sin embargo, esta alternativa puede generar lagunas de información una vez que las semillas se comercialicen más allá de un circuito limitado y confiable.

Sistema de Semillas de Calidad Declarada

El Sistema de Semillas de Calidad Declarada propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1993) ha sido ampliamente utilizado en áreas donde los mercados de semillas no son funcionales y los recursos del gobierno son demasiado limitados para administrar sistemas de certificación integrales. Bajo este sistema, los productores de semillas son responsables del control de la calidad, mientras que los agentes gubernamentales revisan solo una porción muy limitada de lotes de semillas y campos de multiplicación de semillas. El sistema fue revisado en 2006 con el objetivo de reconocer el papel de las políticas nacionales y proporcionar una explicación más clara sobre cómo las semillas de calidad declarada pueden acomodar a las variedades locales, y más tarde para el Sistema de Calidad Declarado para Materiales de Siembra de cultivos seleccionados propagados vegetativamente (FAO 2006, 2010).

Leyes de Semillas Verdaderamente Calificadas

La Semilla Verdaderamente Calificada es otra medida legal que fue diseñada para enfocarse en la calidad de la semilla más que en la pureza varietal. La semilla verdaderamente calificada es la progenie de la semilla original, certificada o calificada; los estándares de semilla y campo son equivalentes a la semilla certificada, y el procedimiento de producción es el mismo que el de la semilla certificada; sin embargo, no es necesaria una Agencia de Certificación de Semillas para comercializar las semillas.

Acciones Orientadas a Mejorar la Accesibilidad de la Comunidad Agrícola a la Diversidad Genética de los Cultivos

El acceso a la diversidad de semillas o material de siembra requiere personas que posean tierras adecuadas (capital natural), ingresos (capital financiero) o conexiones (capital social) para comprar o intercambiar las variedades que necesitan (Capítulo 8). Las semillas apropiadas pueden no estar disponibles dentro de la aldea, y los agricultores pueden carecer de los recursos para ir a

donde están las semillas. Los materiales de siembra para variedades tradicionales también pueden no ser accesibles debido a restricciones sociales. Puede haber presión tanto de los servicios formales de extensión como de los colegas de la comunidad contra la obtención y el uso de materiales de siembra de variedades locales, o los agricultores pueden carecer de los vínculos sociales correctos o el estatus social para obtener variedades.

Se pueden implementar varias acciones para mejorar el acceso de los agricultores a diversas semillas. Los cupones de semillas son cupones o certificados con un valor en efectivo garantizado que pueden canjearse por semillas de vendedores aprobados. Los vendedores de semillas pueden luego canjear sus cupones por efectivo desde la agencia emisora. Los juegos de diversidad, que contienen un conjunto de una pequeña cantidad de diferentes semillas, se han puesto a disposición de los agricultores para mejorar su acceso a una gama más amplia de variedades locales. Las semillas para los juegos de diversidad se recolectan en bloques de diversidad (ver descripción a continuación), fincas de investigación o campos de agricultores y se distribuyen entre los agricultores. Un banco comunitario de semillas, como se discutió anteriormente, también puede servir como una fuente de semilla abierta para una comunidad local, y las transacciones de semillas pueden realizarse como en cualquier banco. A menudo, una restricción para acceder a las semillas es el costo del transporte. Las organizaciones locales que evalúan los costos del transporte sobre una base anual implementan esquemas de micro-finanzas o créditos para permitir la compra de materiales locales.

Acciones Dirigidas a Mejorar el Uso a Través de Mejor Información, Materiales y Manejo

El reconocimiento del rendimiento y el uso de variedades de cultivos tradicionales se basa en la información sobre las características (agronómicas, adaptativas, nutricionales y de calidad) o los usos de estos materiales; el desempeño agronómico, ecológico y de calidad de los materiales mismos; y/o sobre buenas prácticas de manejo agronómico. Los agricultores pueden percibir que las variedades tradicionales no son competitivas con otras opciones debido a la falta de información de caracterización y evaluación sobre los rasgos ecofisiológicos, adaptativos o de calidad de sus variedades, o debido a la falta de información sobre métodos de manejo apropiados que mejorarían la productividad o comercialización de sus variedades locales. Esta falta de información puede

ocurrir, ya sea porque la información no existe (por ejemplo, las variedades nunca se han caracterizado o evaluado en fincas) o, porque la información no está disponible para la comunidad de usuarios.

Muchas acciones se han utilizado para aumentar la información sobre la caracterización y evaluación de variedades de cultivos tradicionales. Los bloques de diversidad en fincas son bloques experimentales de variedades de agricultores con fines de investigación y desarrollo, manejados por instituciones locales. Se invita a un grupo de agricultores expertos a observar el bloque de diversidad durante su cultivo. El bloque puede usarse para la multiplicación de materiales de siembra, seguido del cultivo de germoplasma raro en el bloque, y también como fuente de semillas para los bancos comunitarios de semillas. Los ensayos de campo y de laboratorio que comparan una variedad tradicional con variedades modernas son importantes para demostrar las diferencias cuantitativas de las características productivas y de adaptación bajo las condiciones de los agricultores (ver Capítulo 7 y He et al. 2011; Serpolay et al. 2011). Estos ensayos, con variedades tradicionales y modernas para comparar, también ayudan a desmitificar la tecnología para los agricultores. Varios métodos como la selección participativa de variedades (descrita a continuación) y los ensayos Madre-Bebé se desarrollan para este propósito (Snapp et al. 2002).

Las bases de datos para la variedad y los datos de parcelas vinculados a sistemas GIS que se encuentran en formatos amigables para los agricultores le permite a los agricultores ver visualmente la distribución de las diferentes variedades en su comunidad. También se pueden usar para mapear tipos de suelos e infestación de enfermedades para ayudar a los agricultores a tomar decisiones sobre qué variedades serían adecuadas para diferentes condiciones agroecológicas en sus fincas (ver Capítulo 6). Las tecnologías de información y comunicación ahora están disponibles y son aplicables a las comunidades indígenas y locales para el acceso a datos y el intercambio de datos sobre materiales adaptados localmente a través de redes de telefonía móvil. La tecnología híbrida wire-wireless se desarrolló utilizando energía solar donde la electricidad no era continua o disponible y las conexiones de teléfonos celulares no eran confiables (Kesavan y Swaminathan 2008). Los mensajes de texto o de voz simples (traducidos a dialectos locales) ahora son posibles para aumentar la capacidad de los agricultores rurales para acceder a información climática, comercial y agrícola clave para tomar decisiones bien informadas para la conservación y el uso de sus variedades. Esto incluye vincular pequeñas estaciones meteorológicas con sitios de Internet; se puede comprar una estación meteorológica relativamente

económica para una comunidad agrícola y agregarla a una red meteorológica gratuita como Weather Underground (<http://www.wunderground.com/>), que hace que los datos locales estén disponibles para otros. Los agricultores pueden aprovechar estos datos meteorológicos en tiempo real y los modelos vinculados para el desarrollo del crecimiento de los cultivos y las predicciones de plagas/enfermedades.

Los programas de radio rurales que incluyen charlas sobre la importancia de la biodiversidad de los cultivos son uno de los medios más rápidos y potentes para proporcionar información y concienciar a las personas que viven en zonas rurales y semiurbanas. La radio rural no solo difunde información a las partes interesadas, sino que también proporciona un foro para compartir opiniones sobre diversos temas a un público más amplio. A menudo, el conocimiento tradicional está integrado a canciones populares, poemas y cuentos populares, que reflejan los valores sociales y culturales en la comunidad. Por lo tanto, la información o un mensaje pueden transmitirse a través de obras de teatro, música y poesía itinerantes que tienen como tema la biodiversidad de los cultivos.

Los registros locales públicos iniciados por organizaciones de investigación o de la sociedad civil para documentar la biodiversidad y sus usos a nivel local son cada vez más comunes, especialmente en los países en desarrollo. Los registros locales difieren mucho en términos de sus objetivos principales, pero todos representan, en mayor o menor medida, una forma de “banco de conocimiento”. Este término fue acuñado por Nazarea-Sandoval (1998) para referirse a la colección y documentación del conocimiento de los agricultores para su uso futuro y es una analogía del almacenamiento y la documentación del germoplasma en un banco de germoplasma. El banco de conocimiento sirve para capturar y registrar las dimensiones culturales de la biodiversidad vegetal, incluidos nombres locales, tecnologías indígenas y usos asociados con diferentes plantas y variedades que tradicionalmente han pasado de una generación a otra por medios orales, para el acceso y el manejo de las comunidades locales. El Cuadro 12.2 brinda ejemplos de registros nacionales de variedades tradicionales y registros comunitarios de biodiversidad.

Además de documentar las variedades locales, los recuerdos y conocimientos asociados con ellas, los registros locales o nacionales de la diversidad genética de los cultivos, pueden servir para proteger dichas variedades contra la apropiación indebida. Al divulgar las variedades de los agricultores al público, la naturaleza abierta de tales variedades está asegurada contra los intentos de someterlo a patentes o protección de variedades vegetales. El núcleo de una estrategia de

Cuadro 12.2. Registros nacionales y comunitarios de variedades tradicionales de cultivos

Registros Comunitarios de Biodiversidad

Un registro comunitario de biodiversidad (CBR) es un registro de variedades de cultivos tradicionales en una comunidad que es mantenida por miembros de la comunidad y puede contener información como las características agromorfológicas y agronómicas, adaptación agroecológica, usos especiales, características únicas, lugar de origen, y custodia de la variedad. Los administradores de los CBR no solo hacen un seguimiento de los hogares que almacenan la semilla, sino que también ayudan a la gestión de semillas a nivel comunitario y fomentan el intercambio informal de semilla e información entre los agricultores.

Registros Nacionales de Variedades Tradicionales

En Perú, el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria [INIA] desarrolló un registro en línea de variedades nativas de papa (Ruiz 2009). Este registro ha sido sancionado por la ley y su mantenimiento está respaldado por fondos públicos.

Los esfuerzos para documentar el patrimonio fitogenético nacional y local no son exclusivos del mundo en desarrollo. Podemos encontrar ejemplos de registros y catálogos de variedades tradicionales en Portugal, Francia e Italia. En general, el requisito principal para introducir una variedad en estos registros es la provisión de una buena descripción de la variedad y la confirmación de que se ha utilizado durante mucho tiempo y, por lo tanto, puede considerarse “tradicional”.

protección tan defensiva es una descripción detallada de la variedad del agricultor en un documento público. Hacer que los registros sean de fácil acceso para los examinadores de patentes es parte de las estrategias defensivas de protección.

Acciones Orientadas al Mejoramiento de Materiales de Variedades Tradicionales

Incluso cuando las variedades tradicionales satisfacen algunas de las necesidades de los agricultores, puede haber una serie de limitaciones que restringen el uso de estos materiales o impiden que su uso alcance su máximo potencial. Las condiciones ambientales o de mercado pueden haber cambiado, o las variedades pueden haberse vuelto susceptibles a nuevas plagas y enfermedades. Algunos rasgos de calidad están profundamente arraigados en la cultura alimentaria local y tienen un alcance limitado para la extensión más allá de las comunidades locales. Las poblaciones de variedades de cultivos tradicionales pueden

no ser uniformes en sus características adaptativas o de calidad, ya que tienen una variación significativa tanto dentro como entre poblaciones. Estas poblaciones se pueden perfeccionar por mejoramiento a través de tres amplias vías. Una forma es la selección de rasgo simple de la diversidad existente en poblaciones locales (por ejemplo, la selección masal es la selección y el uso para la siembra en la próxima generación de semillas de plantas individuales basándose en características fenotípicas preferidas o no preferidas). Los mejoradores que trabajan con los agricultores en Yaxcabá, Yucatán, México mejoraron la productividad de la variedad tradicional de maíz a través de técnicas de selección masal. Justo antes y durante la floración (en lugar del almacenamiento postcosecha, como es práctica tradicional de los agricultores) se eligieron plantas con características deseables y en el momento de la cosecha se seleccionaron las plantas más sanas y productivas, utilizando una presión de selección del 20 por ciento para evitar la deriva genética y de acuerdo con las preferencias de los agricultores. Este proceso se repitió cinco veces y se realizó cada año la evaluación agronómica de las poblaciones seleccionadas masalmente, evaluando el rendimiento del grano y la calidad de la planta. Los informes sobre las ganancias esperadas de la selección masal fueron del orden del 2 por ciento por ciclo. En la meseta central de México, las ganancias generales para tres ciclos de selección y más de cinco poblaciones fueron del orden del 20 por ciento (Smith et al. 2001).

Un segundo método es la selección de líneas fijas (variedad estable de líneas liberadas, avanzadas o variedades tradicionales) por parte de los agricultores en sus entornos objeto utilizando sus propios criterios de selección (selección varietal participativa). Una tercera área es el cruce de un padre local con una variedad exótica para eliminar los rasgos no deseados de la diversidad local (por ejemplo, reproducción participativa de plantas (PPB, figuras 12.2 y 12.3, ver también el Capítulo 3). PPB es un proceso de reproducción en el cual los agricultores y los fitomejoradores seleccionan conjuntamente los cultivos a partir de materiales segregados en un entorno objeto. Como se mencionó en el Capítulo 5, la selección asistida por marcadores y las estrategias de selección genómica pueden ayudar a acelerar los ciclos de reproducción. La variación genómica de las plantas puede analizarse mediante genotipado por secuenciación de fuentes de fenotipos deseables identificados por los agricultores y aplicarse para orientar los esfuerzos de cruzamiento en fincas a fin de maximizar la probabilidad de seleccionar los rasgos objeto deseados, manteniendo al mismo tiempo tanta diversidad como sea posible en el programa de mejoramiento participativo de plantas. El elemento más crítico de cualquier programa participativo de mejoramiento de plantas es el establecimiento de un objetivo de mejoramiento por parte de una comunidad

	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
Selección de la Fuente de Germoplasma	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
Desarrollo de Rasgos	✓		✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓
Desarrollo de Cultivares	✓		✓		✓	✓		✓		✓		✓
Evaluación Varietal	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Tipología	Modelo 1: Mejoramiento Tradicional del Agricultor		Modelo 2: Mejoramiento a Nivel Base		Modelo 3: Mejoramiento Participativo Completo		Modelo 4: Mejoramiento Participativo Eficiente		Modelo 5: Selección Varietal Participativa		Modelo 6: Mejoramiento de Plantas "Convencional"	
	FB		GB		PPB		COB		PVS		CPB	

Nota: A=Agricultores; C=Científicos

(Fuente: Modificado de Morris y Bellon, 2004)

Figura 12.2. Diversos enfoques de fitomejoramiento participativo basados en etapas de participación de agricultores (A) y científicos/mejoradores (C) en el proceso de mejoramiento (adaptado de Morris y Bellon 2004 en *Euphytica*, NETHERLANDS STUDY CIRCLE OF PLANT BREEDING, reproducido con permiso de SPRINGER-VERLAG DORDRECHT en el formato de uso en un libro/libro de texto a través de Copyright Clearance Center).

agrícola; los mejoradores de plantas los ayudan a mejorar los materiales locales en su entorno objeto, y los agricultores contribuyen a la selección previa y posterior a la cosecha. El Apéndice C presenta algunos de los campeones clave de PPB y referencias de sus diferentes contribuciones al campo.

El mejoramiento para la diversidad en una base genética incluye el mejoramiento de multilíneas, que son mezclas de líneas o variedades genéticamente similares que difieren principalmente en su resistencia a diferentes patotipos. Están en uso para cereales en los Estados Unidos y Europa (Finckh y Wolfe 2006) y en café (*Coffea arabica*) en Colombia. La variedad Colombia es una multilínea de líneas de café con resistencia diferencial a la roya (causada por *Hemileara vastatrix*) y se cultiva en más de 360,000 ha (Moreno-Ruiz y Castillo-Zapata 1990, Browning 1997). Entre otros conceptos de mejoramiento, la selección de poblaciones, cruces compuestos, cruces superiores y líneas múltiples hacen uso de la diversidad dentro del cultivo (Wolfe y Finckh 1997).

Acciones Dirigidas a Mejorar el Manejo de la Diversidad de los Cultivos Tradicionales

Las prácticas de manejo se han utilizado para mejorar la productividad y la estabilidad de las variedades tradicionales dentro de los sistemas de produc-

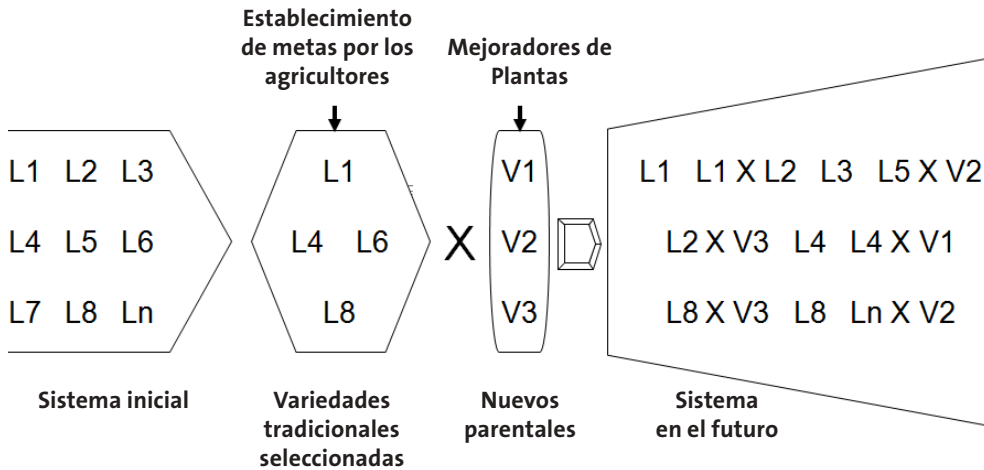


Figura 12.3. Marco conceptual del fitomejoramiento participativo que promueve la mejora de la diversidad de cultivos locales y amplía la base del sistema de semillas del agricultor y la resiliencia de la comunidad frente a la adversidad ambiental y socioeconómica (adaptado de Sthapit et al. 2001, cortesía de Bioversity International).

ción de los agricultores. La siembra de mezclas de variedades tradicionales, o de poblaciones de cultivos con alta variabilidad genética, para reducir plagas y enfermedades en fincas y para reducir la vulnerabilidad genética a infestaciones futuras se ha discutido extensamente en el Capítulo 7. El manejo de grupos de variedades o poblaciones de cultivos con diferentes niveles de resistencia o tolerancia al estrés abiótico se ha convertido en parte de la estrategia de medios de subsistencia de los agricultores del África subsahariana para disminuir la probabilidad de pérdida de rendimiento debido a regímenes impredecibles de lluvia y temperatura. El aumento de la variabilidad de árboles frutales dentro de huertas y huertos caseros se ha utilizado para mejorar la hibridación cruzada por insectos y polinizadores para una mejor producción de frutas. Esto incluye una mezcla de variedades altas y enanas, y tipos de floración temprana, media y tardía integradas con otros árboles perennes. La diversidad varietal de los cultivos para las épocas de floración se puede utilizar para aumentar los tipos de polinizadores que visitan las flores en diferentes momentos de la temporada, y para mantener las poblaciones de abejas durante los períodos en que las flores silvestres aún no están presentes (ver el Capítulo 7).

Los métodos de injerto lateral que utilizan más retoños de una gama más amplia de árboles madre locales y variedades que han sido introducidas desde otras áreas a través del intercambio de plántulas, se han utilizado para aumentar la diversidad varietal en árboles frutales tropicales no irrigados como el mango

(Phichit et al. 2012). Mejorar la limpieza de las semillas de las variedades y las condiciones de almacenamiento (como se discutió en el Capítulo 11) son formas adicionales de mejorar la productividad de las variedades de los cultivos tradicionales. Estas prácticas que usan la diversidad genética de cultivos para la producción sostenible no son necesariamente prácticas independientes; más a menudo se usan dentro de otras prácticas de agua, suelo o plagas integradas o de manejo agronómico, como se describe en el Capítulo 7.

Beneficio de los Agricultores a Partir del Uso y la Conservación de los Materiales

Mejorar los beneficios para los agricultores a partir de la diversidad de cultivos locales significa aumentar los beneficios netos, ya que también podría haber costos para los agricultores que están asociados con cualquier opción de generación de beneficios. Esto implica asegurar que se desarrollen incentivos apropiados para crear y compartir beneficios con los agricultores y que no se creen barreras innecesarias, o no intencionadas, al flujo de beneficios para el agricultor, mediante la introducción de impuestos y subsidios. En el Capítulo 9 se describieron las herramientas para medir los beneficios comerciales y no comerciales de la conservación y uso de la diversidad genética de los cultivos en el sistema de producción. Aquí se describen diferentes estrategias que apoyan a las comunidades de agricultores a beneficiarse de la conservación y el uso de variedades de cultivos tradicionales. El éxito de estas estrategias implica apoyar a las instituciones locales, mejorar la acción colectiva y los derechos de propiedad, y permitir que los agricultores participen y dirijan el proceso de toma de decisiones hacia las acciones apropiadas y su implementación.

Procesamiento Mejorado

La tecnología de procesamiento estándar actual requiere variedades uniformes, y son raras las aplicaciones de ajustes a la maquinaria para sembrar y cosechar, o los dispositivos que estén diseñados para separar la diversidad de variedades en diferentes productos cosechados o adaptados a tamaños pequeños de semilla. Aunque la siembra y la cosecha de granos pequeños como el mijo y el trigo sarraceno requieren relativamente poca mano de obra, el procesamiento de estos cereales de grano pequeño para productos de consumo requiere una gran cantidad de mano de obra y son realizadas principalmente por mujeres. Los ajustes simples a la maquinaria para sembrar y cosechar, y los dispositivos más complicados diseñados para procesar materiales diversificados, han comenzado

a estar disponibles, pero son poco comunes y poco conocidos (Finckh 2008). El equipo de procesamiento ajustado también requiere la capacitación de los productores en técnicas mejoradas de procesamiento, proporcionar a los minoristas información sobre los beneficios de los diferentes equipos de procesamiento y proporcionar crédito para adquirir equipos de procesamiento, que pueden vincularse con micro-créditos para comprar o ajustar equipos.

Aumentar los beneficios para los agricultores a través del procesamiento es una de las opciones más costosas y que requieren más tiempo para mejorar la conservación en fincas. La investigación económica detallada y los estudios piloto de muestra generalmente son necesarios para establecer si una iniciativa puede ser rentable y sostenible. Las plantas de procesamiento pueden ser intensivas en capital. Además, es probable que el desarrollo de una industria para suministrar un producto agrícola requiera la autorización y regulación del gobierno. Una ventaja de este enfoque es que las intervenciones para aumentar los beneficios a los agricultores a través del procesamiento pueden proporcionar un mecanismo sostenible para el desarrollo económico y (después de un desembolso inicial) pueden requerir solo monitoreo y mantenimiento mínimo.

Creación y Promoción del “Mercado de Diversidad”

Los mercados convencionales a granel a menudo ponen demasiado énfasis en los rasgos agronómicos y funcionales y menosprecian los rasgos específicos y únicos del mercado y del consumidor. Los sistemas de control de calidad pueden homogenizar los procesos de producción, y esto puede implicar el abandono de los conocimientos y las prácticas tradicionales. Al crear cadenas de mercado (ver Capítulo 9) para la comercialización de variedades tradicionales y sus productos, y al aumentar tanto la demanda como la oferta de dichos productos, el valor comercial puede aumentar y, por lo tanto, el interés de los agricultores en cultivarlos y venderlos. El valor de la comercialización de la producción agrícola puede aumentarse a través del desarrollo de nuevos mercados, comercialización mejorada, diferenciación de productos de alto valor, equipos de procesamiento mejorados adaptados a materias primas diversificadas y creación de confianza entre los actores de la cadena de comercialización.

La promoción del mercado para la diversidad de variedades de cultivos puede respaldarse a través de impuestos y subsidios, de tal forma que los impuestos se aplican a las prácticas agrícolas que promueven el daño ambiental y se otorgan subsidios por prácticas respetuosas al medio ambiente. Las herramientas de etiquetado de calidad pueden contribuir a agregar valor a las variedades y productos resultantes de los sistemas agrícolas tradicionales.

Las indicaciones geográficas y las etiquetas de agricultura ecológica se han vuelto muy comunes en las últimas décadas, y su uso a menudo está relacionado con la conservación de la biodiversidad agrícola y las prácticas agrícolas tradicionales. Una indicación geográfica es un signo utilizado en productos que tienen un origen geográfico específico y poseen cualidades y reputación que son el resultado de ese lugar de origen. Es una forma de protección dentro del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio (TRIPS) de la Organización Mundial del Comercio (WTO). Se utiliza una indicación geográfica para evitar la competencia con productos similares en los mercados nacionales e internacionales. Protege los activos económicos intangibles, como la calidad y la reputación de un producto a través de la diferenciación del mercado. Es una herramienta para mantener la multifuncionalidad en los paisajes rurales e involucrar a las poblaciones locales en el manejo y conservación de la biodiversidad al proporcionar incentivos para comercializar productos especiales.

Algunos de los ejemplos más conocidos de indicaciones geográficas son el queso feta griego, el champán de vino espumoso francés y el tequila destilado mexicano. Existen diferentes modalidades de indicaciones: indicaciones de origen geográfico, indicaciones geográficas protegidas, denominaciones de origen protegidas, título de origen y denominación de origen. Todos ellos tienen características ligeramente diferentes, pero comparten un principio común: un vínculo estrecho con un territorio y un conocimiento colectivo tradicionalmente encontrado en dicho territorio. Basándose en la filosofía de las indicaciones geográficas y las marcas de calidad de la agricultura orgánica, las regulaciones del mercado pueden establecer opciones de etiquetado alternativas para distinguir los productos basados en el cultivo de diferentes variedades de cultivos de aquellos que promueven el monocultivo y la homogeneización de variedades.

Si el producto se basa en una variedad única que define el carácter del producto en términos de percepción del consumidor, la creación de un mercado para esta variedad puede contribuir a la pérdida de diversidad genética. Esto es lo que sucedió con el arroz Hai Hau Tam Xoan en Vietnam y la Quinoa Real en Bolivia. En ambos casos, el éxito de la indicación geográfica condujo a la marginación de otras variedades, causando una pérdida de diversidad para el cultivo en general (Larson Guerra 2010). La cuestión de si las indicaciones geográficas o los nichos de mercado de las variedades tradicionales que mejor se adaptan a ecosistemas particulares promueven el uso continuado de la diversidad de cultivos para la producción de los productos protegidos por la indicación depende de las características del producto y del tamaño de su mercado.

En el distrito de Kaski, Nepal, las industrias artesanales privadas como Gu- nilo y Bandobasta están comercializando productos elaborados a partir de cultivos locales que tienen un valor especial para la cultura alimentaria local y un nicho de mercado para el turismo. Se estableció una red de tales empresarios y se vinculó a las comunidades agrícolas. Una ONG facilitó una reunión, y los agricultores y empresarios identificaron conjuntamente productos locales de gran valor para los consumidores en la toma de decisiones de producción y comercialización. Una asociación de hoteles y restaurantes también se sensibilizó para utilizar más productos locales en la cocina diaria, y los chefs han adaptado las recetas locales para hacer el mejor uso de los nuevos productos (Rana y Sthapit 2011).

El comercio justo y el etiquetado ecológico son estrategias de conservación basadas en el mercado en las cuales los consumidores pagan una prima de precio por un producto que se produce en fincas certificadas comprometidas con la preservación de la biodiversidad o justas condiciones de trabajo. La etiqueta de comercio justo requiere que los compradores acepten: (1) pagar un precio que cubra los costos de producción y una prima social; (2) hacer un pago por adelantado; (3) comprar directamente al productor; y (4) establecer contratos a largo plazo. El comercio justo se enfoca más en el lado humano de la producción, mientras que la etiqueta ecológica analiza las prácticas o productores ambientalistas. Indirectamente, pueden estimular el uso de la diversidad de cultivos en los sistemas de producción, pero la relación necesita ser mejor estudiada. Estos productos se pueden vincular a campañas publicitarias para mejorar la conciencia del consumidor y del minorista sobre los rasgos importantes (por ejemplo, nutricional, adaptativo). Dichas campañas brindan información sobre los verdaderos costos ambientales de los productos cultivados con altos niveles de insumos químicos frente a otras prácticas de manejo, como las que involucran variedades de cultivos tradicionales.

La distinción de productos agrícolas y alimenticios producidos de acuerdo con los principios de la agricultura orgánica también se ha utilizado para crear incentivos para el mantenimiento de cultivos y variedades que se adaptan a las condiciones ambientales, requieren pocos insumos externos (fertilizantes, pesticidas, irrigación, etc.) y, por lo tanto, son más respetuosos con el medio ambiente. A su vez, con el aumento de la agricultura orgánica, la demanda de variedades mejoradas que son adecuadas para este modelo de producción promueve la revalorización y la utilización de variedades locales y tradicionales en los programas de mejoramiento.

Los principales aspectos de la agricultura orgánica se resumen en la Federación Internacional de Movimientos Agrícolas Orgánicos (IFOAM) aprobada

en 2005 bajo los cuatro principios rectores de (1) Salud: la agricultura orgánica debe sostener y mejorar la salud del suelo, las plantas, los animales y los humanos como un todo indivisible; (2) Ecología: la agricultura orgánica debe basarse en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, emularlos y ayudarlos a sostenerse; (3) Equidad: la agricultura orgánica debe basarse en relaciones que aseguren la equidad con respecto al entorno común y las oportunidades de vida; y (4) Cuidado: la agricultura orgánica debe ser manejada de manera responsable para proteger la salud y el bienestar de las generaciones actuales y futuras y del medio ambiente.

En el mejoramiento de sistemas agrícolas ecológicos y de bajos insumos existe un renovado interés en el uso de variedades tradicionales, no solo como un recurso genético aislado de tierras cultivadas, sino también como una condición necesaria para la existencia de agroecosistemas que son resistentes al cambio ambiental (SOLIBAM 2011). Las variedades comercialmente disponibles se han desarrollado en gran parte para el rendimiento en condiciones de altos insumos, y con frecuencia no obtienen rendimientos aceptables y confiables en entornos orgánicos más heterogéneos. En contraste con el enfoque habitual de la mejora comercial, donde se estudian las asociaciones entre marcadores moleculares y fenotípicos en un diseño específico optimizado para su detección (mapeo cuantitativo de loci [QTL]), el mejoramiento para sistemas orgánicos y de bajos insumos se centra en poblaciones y plantas desarrolladas para estos sistemas. Los polimorfismos en las poblaciones reproductoras se desarrollan para evaluar la evolución de la diversidad genética en diferentes condiciones agroecológicas y de manejo de cultivos para comprender las respuestas de diferentes tipos de poblaciones, como compuestos de poblaciones cruzadas, mezclas y variedades tradicionales, con el objetivo de desarrollar estrategias para mantener niveles apropiados de diversidad dentro de las poblaciones de variedades. También se evalúan los niveles de/y variabilidad del cruce entre poblaciones para desarrollar estrategias que permitan aumentar y mantener la heterocigosidad y la heterogeneidad, y así amortiguar la capacidad dentro de las poblaciones a los cambios de las condiciones ambientales y ecológicas (Wolfe et al. 2008; Goldringer et al., 2010; Lammerts van Bueren y Myers 2011).

Regulaciones e Incentivos para el Uso de la Tierra

El carácter general del respeto por el medio ambiente ha adquirido importancia en gran parte del mundo desarrollado a través de una asociación generalizada con los pueblos indígenas y las formas de vida tradicionales (Capítulo

3). Esto se ha logrado en gran parte a través de campañas de concienciación pública, que utilizan los medios para difundir mensajes sobre el posible éxito de las prácticas de manejo ambiental ecológicamente racionales. Aunque hasta la fecha han desempeñado un papel relativamente pequeño en tales campañas mediáticas, los sistemas agrícolas locales podrían ocupar un lugar destacado en este tipo de mensajes, disseminando información sobre los procesos y las implicaciones de la erosión genética, así como la importancia de mantener la diversidad genética de los cultivos en los sistemas de producción de los agricultores.

Los incentivos para mantener la diversidad en fincas también pueden involucrar la regulación y planificación del uso de la tierra para establecer áreas agroecológicas protegidas y zonas de agroturismo, o para promover métodos agrícolas de bajos insumos en zonas ecológicamente sensibles. En Hungría, por ejemplo, las tierras clasificadas como Áreas Ambientalmente Sensibles han sido vistas como sitios objeto para promover la agricultura orgánica, que podría ser más susceptible al uso de variedades de cultivos tradicionales (Bela et al. 2006). Perú ha creado un marco legal que regula el establecimiento y mantenimiento de áreas de agrobiodiversidad, que incluye diferentes formas de apoyo a los agricultores en dichas áreas (Ruiz 2009). Ecuador ha establecido programas de promoción de zonas de agroturismo y jardines botánicos de agrobiodiversidad. Ambos programas enfatizan la diversidad de cultivos tradicionales como un elemento de identidad cultural y proporcionan una base para que las comunidades agrícolas locales participen en actividades económicas relacionadas con el turismo.

En general, los agricultores que tienen derechos de tenencia seguros sobre la tierra que cultivan están más interesados en emprender prácticas de manejo que conserven la fertilidad del suelo a largo plazo, la calidad del agua y otros recursos necesarios a lo largo de los años, que aquellos cuyos derechos sobre la tierra no está asegurado a largo plazo. Varios estudios han demostrado que los agricultores que son propietarios de sus tierras o que están bajo arreglos de tenencia confiables a largo plazo tienen más incentivos para cuidar la tierra, cultivando y rotando una mayor diversidad de cultivos.

En las ex repúblicas comunistas de Asia Central, durante las décadas comunistas, la planificación central soviética privilegió el cultivo del trigo y el algodón en lugar de los frutales y las hortalizas, y asignaba la tierra en consecuencia. Los huertos caseros, que tienen un máximo de 1 ha en promedio, fueron el único espacio que proporcionó la autonomía de los agricultores, gracias a la tenencia estable de la tierra. La mayoría de los agricultores de Kazajstán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán poseían la tierra utilizada para la jardinería, y la utilizaron para plantar cultivos de hortalizas y frutales para su propio

Cuadro 12.3 La Cooperativa Rupa Lake, Nepal

La Cooperativa de Restauración y Pesca del Lago Rupa, fundada en 2001, fue fundada por una comunidad río abajo para la cual la pesca es una parte importante de su estrategia de subsistencia. Con el fin de asegurar una reducción de la erosión de las prácticas de manejo agrícola aguas arriba, la cooperativa estableció un mecanismo de distribución de beneficios para proporcionar incentivos a las comunidades y varios grupos de usuarios aguas arriba para conservar la cuenca. El proceso se desarrolló a través de mecanismos tradicionales, en ausencia de mercados oficiales para los servicios ambientales. La Cooperativa Rupa paga el 10 por ciento de sus ingresos del manejo de la pesca a las comunidades aguas arriba con el objetivo de garantizar buenas prácticas de manejo de cultivos aguas arriba para reducir la sedimentación y promover la calidad del agua. El mecanismo de pago es voluntario. No existe un contrato o acuerdo entre los compradores (la Cooperativa) y los vendedores (usuarios iniciales). La Cooperativa efectúa pagos directos anualmente a diferentes grupos de usuarios, como escuelas y comunidades que solicitan fondos para actividades específicas de manejo de la cuenca. Las recompensas o los pagos indirectos también son hechos por la Cooperativa en especies a través de la provisión de posturas (Pradhan et al. 2010).

consumo y también para aumentar las opciones económicas proporcionadas por el sistema centralizado. Por lo tanto, los huertos caseros se convirtieron en auténticos reservorios de diversidad de cultivos de frutales y hortalizas, centros de experimentación e innovación y componentes esenciales de las estrategias de medios de subsistencia en estos países. Aunque la planificación central del estado disminuyó después de la transición de los países a una economía de mercado, en algunos países los huertos familiares siguen siendo el único espacio donde se reconocen los derechos de propiedad de los agricultores y se permite la iniciativa individual, lo que ha resultado en prácticas agrícolas tradicionales mantenidas en estos pequeños pedazos de tierra (Lapeña et al. 2013).

La Adaptación de Pagos por Servicios Ecosistémicos para la Conservación de la Diversidad de los Cultivos en Fincas

Los pagos por servicios ecosistémicos son incentivos basados en el mercado que tienen como objetivo motivar la conservación de los servicios ecosistémicos a través de cargos, permisos negociables, subsidios y reducciones de la fricción en el mercado. Los esquemas de pago por servicios ambientales (PSA) permiten la “captura” de los valores de conservación

pública a nivel de los agricultores, creando incentivos para la conservación de la agrobiodiversidad y el alivio de la pobreza (ver FAO 2011). Los pagos pueden ser de menor escala en las comunidades que se vinculan a las comunidades aguas arriba y aguas abajo. Estos esquemas requieren una comprensión entre los usuarios sobre el rol potencial de las comunidades aguas arriba y aguas abajo en el manejo de la cuenca, generalmente mediante la formación de una cooperativa de miembros de usuarios aguas arriba y aguas abajo (cuadro 12.3).

Hasta ahora, los servicios ecosistémicos generalmente se han asociado más con áreas naturales, y mucho menos con ecosistemas cultivados, como campos agrícolas. Por lo general, los agricultores carecen de incentivos para considerar los impactos que sus prácticas tienen en los servicios ecosistémicos derivados de la diversidad agrícola cuando dichos servicios no se traducen en ganancias productivas a nivel de finca. El Capítulo 6 ha discutido el proceso de identificación de los servicios ecosistémicos derivados del uso de la diversidad genética de los cultivos, como el control de plagas y enfermedades, el mantenimiento de la polinización, la reducción de la erosión del suelo y el uso eficiente de los recursos hídricos. La información mejorada sobre la existencia de estos servicios y su alcance, y mejores esquemas de monitoreo e incentivos, pueden influir en las decisiones de los agricultores relacionadas con la diversidad de los cultivos, de manera que mejoren el medio ambiente.

Conclusiones

Cualquier análisis del alcance y la distribución de la diversidad genética de los cultivos y una comprensión de cómo se mantiene a través de las instituciones y prácticas locales pueden conducir a la identificación de una serie de acciones complementarias de apoyo en lugar de una única solución prescriptiva. Un factor rector principal es que cualquier decisión de implementar una acción particular que respalde el mantenimiento y uso de la diversidad genética de los cultivos tradicionales en los sistemas de producción dependerá de que los agricultores y la comunidad agrícola tengan la capacidad de conocimiento y liderazgo para evaluar los beneficios que tendrá esta acción para ellos. Este principio, a su vez, enfatiza la importancia de actividades (por parte de organizaciones o agencias locales, nacionales e internacionales) que fortalezcan las instituciones locales, a fin de permitir a los agricultores asumir un papel más importante en el manejo de sus recursos.

Lecturas Adicionales

- Bioversity International. 2008. *Manuel de formation des formateurs sur les champs de diversité*. Bioversity International, Rome, Italy.
- de Boef, W. S., A. Subedi, M. Thijssen, y E. O’Keeffe, Eds. 2013. *Community Biodiversity Management: Promoting Resilience and the Conservation of Plant Genetic Resources*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.
- Jarvis, D. I., T. Hodgkin, B. R. Sthapit, C. Fadda, y I. Lopez-Noriega. 2011. “An heuristic framework for identifying multiple ways of supporting the conservation and use of traditional crop varieties within the agricultural production system.” *Critical Reviews in Plant Science* 30:125–76.
- Vernooy, R., P. Shrestha, y B. Sthapit (Eds.). 2015. *Community Seed Banks: Origins, Evolution and Prospects*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.

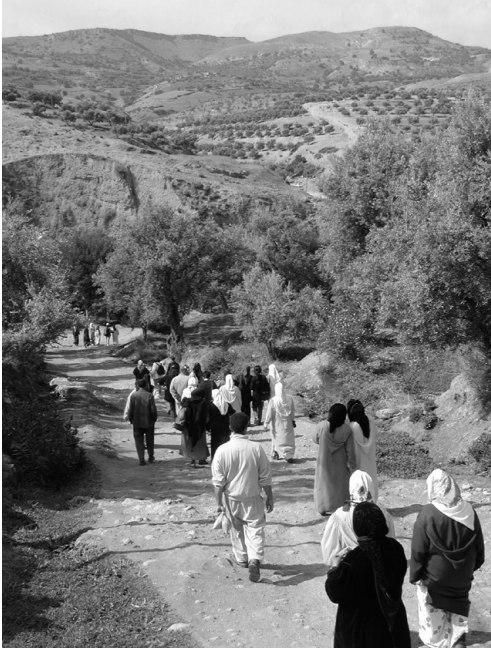


Ilustración 13. Arriba a la izquierda: visita cruzada en Marruecos que involucró a 20 mujeres de tres sitios en diferentes agroecosistemas de Marruecos (el Atlas del norte, el Atlas medio y el Oasis), quienes viajaron a cada uno de los sitios del otro para ver las variedades de frijol haba, cebada, alfalfa y trigo duro en los diferentes sitios. Arriba a la derecha: Feria de Diversidad en Kabwohe, en el centro de Uganda, donde los grupos de agricultores de diferentes pueblos mostraron la diversidad de sus diferentes variedades de frijol común. Abajo a la izquierda: agricultores que examinaron diferentes variedades de frijoles tradicionales en una feria de diversidad en Saraguro, Ecuador. Abajo a la derecha: ejemplo de fresadoras pequeñas hechas especialmente como un dispositivo que ahorra trabajo para procesar granos pequeños como el mijo en Kolli Hills, estado de Tamil Nadu, India. Créditos fotográficos: D. Jarvis (arriba a la izquierda), C. Fadda (arriba a la derecha), J. Coronel (abajo a la izquierda), S. Padulosi (abajo a la derecha).

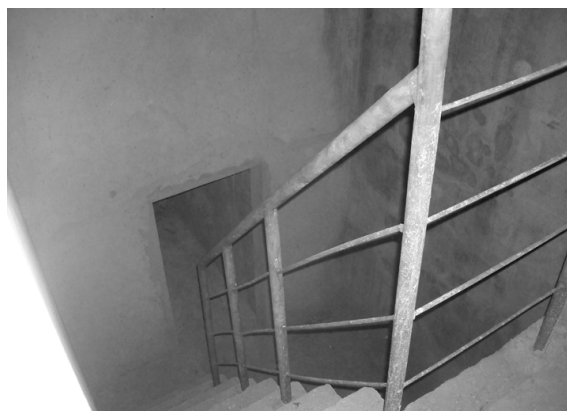


Ilustración 14. Los bancos de germoplasma de la comunidad están orientados hacia la recolección y el almacenamiento de la diversidad de cultivos locales y proporcionan acceso a una pequeña cantidad de semillas como fuente de germoplasma. En contraste, un banco comunitario de semillas se usa para asegurar la disponibilidad local de semillas para la seguridad alimentaria, y las semillas se multiplican para su distribución directa con los agricultores. Arriba a la izquierda: banco comunitario de semillas en Nepal, donde las variedades tradicionales de arroz y calabaza están disponibles para que los agricultores “pidan prestado”: tomar y cultivar y luego devolver las semillas de su cosecha. Arriba a la derecha: compartimento de almacenamiento a cinco metros bajo tierra en Burkina Faso para un banco de semillas comunitario que puede sellarse para protegerlo de la sequía o disturbios civiles. Abajo a la izquierda: foros de campo de diversidad (DFF) en Mali, un enfoque que se desarrolló en entornos de baja heredabilidad en África occidental para fortalecer la capacidad de los agricultores para analizar y manejar sus propios recursos genéticos de plantas de cultivo. Abajo a la derecha: drama de diversidad en el borde de la carretera titulado “Tales Is the Happenings of a Village”, organizado por grupos de mujeres en la aldea Khola Ko Chew, distrito Kaski, Nepal. La obra se basa en una historia real del pueblo que demuestra el valor del cultivo de arroz silvestre en las variedades tradicionales de arroz de los alrededores. Créditos fotográficos: B. Sthapit (arriba a la izquierda y abajo a la derecha), D. Balma (arriba a la derecha), R. Vodouhe (abajo a la izquierda).

CAPÍTULO 13

Conclusiones:

Variedades Tradicionales y Productividad Agrícola

Los capítulos de este libro describen los muchos enfoques para comprender dónde, cómo y por qué los agricultores usan actualmente las variedades tradicionales de sus cultivos. Cubren muchos métodos y ejemplos que identifican y caracterizan a los hombres y las mujeres que mantienen la diversidad de los cultivos, incluidos sus entornos ecológicos y sociales, y la cantidad y distribución resultante. Los métodos provienen de una amplia gama de disciplinas: genética, ecología, agronomía, economía, sociología, etnobotánica y aspectos culturales de las comunidades agrícolas. Cada campo de estudio contribuye de manera esencial al desarrollo de una comprensión global de las características que rigen la diversidad genética de cultivos en cualquier sistema de producción agrícola.

La importancia de trabajar en formas participativas con los agricultores y las comunidades ha surgido una y otra vez. Esta clave, para los resultados de investigación exitosos es, de hecho, uno de sus aspectos más emocionantes. Incluir los diagnósticos participativos en nuestros métodos de análisis nos ayuda a comprender mejor los procesos sutiles y obvios de la selección humana que nutren la diversidad en fincas. Las intervenciones, como las descritas en el Capítulo 12, pueden fundamentarse en procesos que mejorarán los medios de subsistencia de las comunidades agrícolas. Los métodos descritos en los Capítulos desde el 4 hasta el 11 han sido desarrollados, probados y utilizados por investigadores que trabajan con agricultores locales para lograrlo.

Una segunda característica de la investigación sobre la diversidad en fincas se materializa a partir de la unión de investigadores de diversas disciplinas. Una de las lecciones aprendidas de investigaciones anteriores es que la cooperación

entre investigadores debe ir más allá de simplemente emplear muchas disciplinas. La investigación multidisciplinaria supone que una diversidad de disciplinas brinda métodos e ideas a una pregunta de investigación particular. Los enfoques interdisciplinarios van más allá y definen una pregunta común, en un lenguaje que todos los investigadores comparten, utilizando modelos que se cruzan y que contribuyen a un análisis común. La investigación transdisciplinaria (sensu Rosenfield 1992) es un grado adicional de integración en el que los investigadores de diferentes campos, agricultores y partes interesadas no solo trabajan en estrecha colaboración en un problema común, sino que también crean una concepción compartida del problema que integra y trasciende a cada una de sus perspectivas separadas. Los capítulos anteriores muestran que los enfoques transdisciplinarios son una parte esencial para garantizar que los hallazgos de la investigación informen las acciones que deben tomarse y apoyarse (como se describe en el Capítulo 12). De hecho, la naturaleza transdisciplinaria de la investigación fructífera sobre la diversidad genética de los cultivos en los campos de los agricultores es otro aspecto estimulante y desafiante.

Cada grupo de investigadores definirá las preguntas que pretenden responder en colaboración con las comunidades con las que trabajan. Las siguientes secciones describen las características de la diversidad genética de los cultivos que consideramos que son especialmente importantes para tales preguntas. A la lista parcial de temas, los lectores de los capítulos anteriores pueden agregar sus propios temas clave. De esta forma, puede surgir un marco para una agenda de investigación transdisciplinaria sobre diversidad genética de cultivos, tal como propuso Christian Samper en el Prólogo de este libro.

Dimensiones Socioeconómicas y Políticas

Las variedades tradicionales y las características que poseen son una construcción humana que evoluciona constantemente para satisfacer las necesidades cambiantes de los agricultores y las comunidades individuales. Los valores de dicha diversidad se hacen evidentes utilizando métodos económicos, sociales o culturales, todos los cuales proporcionan información importante sobre las variedades y las formas en que se mantienen, cultivan y utilizan. El Capítulo 9 expuso un muestreo de métodos que exploran los valores económicos y toman en cuenta los valores directos (relacionados con la producción) y los indirectos (relacionados con el apoyo y la regulación de los servicios ecosistémicos). Algunos métodos exploran valores a diferentes escalas y las formas en que la participación de los agricultores en las cadenas de mercado afecta el valor

de las variedades para los productores. Otros métodos investigan la forma en que las variedades pueden atenuar el daño causado por plagas y enfermedades y exploran los intercambios típicos de las decisiones sobre qué variedades usar en determinadas condiciones. Los ejemplos de compensaciones hechas por los agricultores incluyen el equilibrio entre variedades de alto rendimiento de grano y variedades con rendimientos más bajos, y características que cumplen otros objetivos, como forraje para el ganado o calidad de los alimentos. Incluso cuando los mercados locales funcionan bien, los agricultores a menudo siguen cultivando variedades tradicionales para satisfacer necesidades particulares. El análisis económico debería reconocer que las variedades son recursos genéticos y bienes públicos impuros, con un valor directo para los productores y un valor indirecto para la sociedad, en general como fuentes de características útiles para la futura mejora de los cultivos. El análisis económico puede indicar las formas en que las políticas agrícolas más amplias afectan los valores de las variedades tradicionales. Los ejemplos clásicos incluyen los subsidios a prácticas de producción particulares (uso de fertilizantes o pesticidas) o productos particulares (precios fijos para diversos productos).

La economía de los sistemas de semillas tradicionales está integrada en las relaciones sociales. Los análisis de las dimensiones sociales apuntan a descubrir otros aspectos del valor de las variedades tradicionales y las características de los hombres y las mujeres que los manejan. A través de los análisis sociales es posible comenzar a desentrañar las diferentes formas en que cualquier sociedad ve y maneja la diversidad que conforma su sistema de producción (Capítulo 8). Los hogares, los grupos de agricultores, las aldeas o las comunidades más grandes pueden identificar diferentes objetivos y beneficios de las variedades tradicionales y de los diferentes cultivos. Es crucial explorar el género, la edad, la riqueza y el estado social, el parentesco y las dimensiones étnicas, desagregando la información por estos factores. Particularmente en la última década en muchos países, la migración y la reducida disponibilidad de mano de obra se han convertido en aspectos prominentes del cambio social en la agricultura, dejando a las mujeres y los jóvenes llevar a cabo las actividades en fincas. Dichos cambios tienen un efecto de naturaleza más permanente y pueden estar asociados con cambios en las características de las variedades, como la adaptación a un número reducido de intervenciones de los agricultores o la selección de rasgos asociados con las necesidades de estos grupos.

También es importante investigar el papel de las políticas en el manejo de la diversidad. Las políticas específicas afectan las fuerzas socioeconómicas, por ejemplo, precios de apoyo o subsidios a modos de producción particulares o cul-

tivos específicos. Las políticas relacionadas con las semillas afectan agudamente el manejo de las variedades tradicionales. Estos pueden determinar la calidad de la semilla que se puede comercializar, o la posibilidad de comercializar variedades tradicionales que no cumplen con ciertos criterios acordados de Distinción de Uniformidad y Estabilidad (DUS). Algunos países, como la India, han desarrollado procedimientos que permiten que las variedades tradicionales sean reconocidas y comercializadas. Sin embargo, la mayoría de las variedades tradicionales permanecen firmemente integradas en los sistemas informales y se encuentran fuera de los procesos políticos formales. Por el contrario, algunas prácticas informales locales o instituciones sociales pueden regular su distribución, manejo y uso. Como se señaló en el Capítulo 10, las políticas tienen dimensiones tanto nacionales como internacionales, y el impacto más amplio de los acuerdos internacionales como el ADPIC, el Protocolo de Nagoya del CDB y el TIRFAA es una parte relevante de las dimensiones de las políticas.

Dimensiones Ambientales

Muchos factores ambientales diferentes pueden afectar el alcance y la distribución de las variedades tradicionales y su diversidad genética (Capítulo 6). Los métodos agroecológicos (Gliessman 2014) proporcionan un punto de entrada apropiado para cualquier investigación. Además, las pruebas experimentales de la diversidad de variedades de cultivos en respuesta a factores abióticos y bióticos, combinados con el conocimiento de los agricultores sobre sus entornos, variedades y procedimientos de selección, permiten el ensamblaje de grandes y ricos grupos de datos. El objetivo es identificar las características ambientales más influyentes, generalmente mediante análisis multivariados. Se puede combinar una variedad de métodos con una variedad de procedimientos de mapeo y teledetección para permitir que las distribuciones espaciales de la diversidad se relacionen con características tales como el tipo de suelo, la altitud y la disponibilidad de agua.

Cuando las variedades tradicionales se cultivan en ambientes marginales, la atención se centra en cómo los diferentes cultivos y variedades responden a los estreses abióticos y bióticos. La sequía, las altas temperaturas, el frío extremo y las inundaciones implican el uso de variedades con adaptaciones específicas. El control genético de la mayoría de estos rasgos de tolerancia suele ser extremadamente complejo, y las conexiones directas suelen ser difíciles de establecer. Se puede cultivar una variedad porque tiene tolerancia o evita un estrés específico, como la sequía, o una amplia gama de estreses, mostrando una plasticidad de

respuestas a diferentes ambientes. Difundir estas diferencias es un desafío, y tener en cuenta las observaciones de los agricultores es esencial. Por lo tanto, las investigaciones sobre la influencia de los factores abióticos y bióticos deben enmarcarse utilizando enfoques en los que, juntos, agricultores e investigadores formulen y planifiquen la investigación.

Ayudar a los agricultores a hacer frente a los estreses abióticos y bióticos parece ser una característica importante de la diversidad genética en variedades de cultivos tradicionales. El Capítulo 7 discute los procedimientos para identificar dónde esto es importante y qué diversidad contribuye a la producción. La pregunta clave es cuándo y dónde se elige deliberadamente un conjunto de variedades adaptadas a diferentes entornos, en comparación con el uso de la diversidad per se cómo un seguro para mantener la productividad en condiciones heterogéneas, o bajo una creciente variabilidad climática. En un caso fascinante del uso de variedades tradicionales de frijol común, los agricultores en Uganda que cultivan grandes cantidades de variedades de frijol han reducido la variabilidad en el daño de patógenos e insectos al cultivo, manteniendo así la producción (Mulumba et al. 2012). En términos más generales, el diagrama diversidad-daño-vulnerabilidad (DDV) es un marco conceptual para guiar una estrategia de investigación que prueba las concesiones al usar diversidad de cultivos intra-específicos para maximizar la productividad con un daño mínimo de plagas o patógenos, mientras que al mismo tiempo reduce la vulnerabilidad genética o la probabilidad de pérdida de cultivos en el futuro. El punto de partida sigue siendo que dentro del sistema huésped-plaga o huésped-patógeno existe una variación en la resistencia del cultivo huésped a la plaga o al patógeno en cuestión.

Dimensiones Biológicas y Genéticas

Las fuerzas evolutivas que dan forma al patrón de diversidad genética dentro y entre las variedades tradicionales se forman a partir de las formas en que las personas manejan sus cultivos y la interacción entre los factores ambientales y las prácticas de producción. Las características biológicas de cualquier cultivo, especialmente su sistema de reproducción, fenología e historia de vida, serán los principales factores que median el proceso (Capítulo 4). Las variedades tradicionales son entidades dinámicas que cambian con el tiempo a medida que cambian las condiciones ambientales y sociales. La escala de tiempo varía según el cultivo y el entorno de producción. Las variedades anuales de cultivos de semillas en África Occidental evolucionaron rápidamente en unas pocas décadas en respuesta al cambio climático (Capítulo 11), mientras que las plantas

perennes de larga vida podrían permanecer esencialmente sin cambios durante décadas, si no siglos.

La identidad de las variedades tradicionales ha sido una preocupación específica de la investigación interesada en su evolución, manejo y propiedad. La identidad a menudo ha tomado la forma de investigar la consistencia de los nombres de las variedades entre los agricultores y las comunidades en una región o período específico (Capítulo 5). La identificación de las unidades de manejo de los agricultores es de gran importancia. Si los agricultores perciben una entidad como separada e identificable, su manejo lo reflejará. Desarrollará características genéticas que lo separan de otras unidades de manejo mantenidas por otros agricultores. Por lo tanto, la investigación debería resaltar las formas en que los agricultores identifican y nombran sus variedades y cómo estos aspectos culturales se consideran parte del régimen de selección. Esto está en línea con la descripción de Harlan de razas locales (Harlan 1975) (ver Capítulo 1).

La combinación de información de diversas fuentes para una comprensión general de los patrones observados de diversidad es, tal vez, la tarea más desafiante. El enfoque adoptado en el Capítulo 11 fue explorar los diferentes procesos de producción y las formas en que las diferentes etapas de la producción fueron influenciadas por la biología de los cultivos, la genética y las limitaciones u oportunidades socioeconómicas. En todas las etapas de producción, los agricultores toman decisiones que influyen en las características genéticas de las generaciones posteriores, y pueden reforzarse mutuamente (todos los agricultores buscan los mismos caracteres en una variedad) o pueden conducir al desarrollo de distintas variedades (los agricultores buscan caracteres alternativos para satisfacer sus propias necesidades). El ambiente también influye en los caracteres de los materiales de siembra que constituyen la próxima generación y puede conducir a diferentes tipos de selección (ver tabla 4.5) dependiendo de si las influencias ambientales son consistentes a través de generaciones en muchos lugares (por ejemplo, direccionales) o varían según la ubicación y el año (por ejemplo, fluctuando). La detección de cómo los factores humanos y ambientales influyen en la diversidad requiere medidas fiables de diversidad dentro y entre variedades. Las medidas pueden simplemente involucrar la evaluación de la riqueza y la uniformidad de variedades, pero podemos esperar una caracterización más profunda de la diversidad con la creciente gama de herramientas moleculares.

En todo momento, el sistema de semillas se ha convertido en una característica clave para influir en el patrón de distribución, el uso y la supervivencia de una variedad tradicional. La dinámica genética de los sistemas locales de

semillas dependerá del número y tipo de interconexiones entre los agricultores y las diferentes instituciones locales (como los mercados locales) y las actividades de aquellos agricultores que actúan como fuentes de semillas de diferentes variedades (Capítulo 11). Los sistemas de semillas de los agricultores presentan un equilibrio dinámico entre el proceso de extinción de las poblaciones locales (pérdida de un lote de semillas de una finca individual) y el de obtener nuevas poblaciones (reposición de semillas de un pariente o vecino). La selección en fincas individuales puede dar como resultado poblaciones de una variedad con características únicas, mientras que el intercambio, la venta y la compra en mercados locales, tenderán a resultar en la homogeneización dentro de una variedad o tipo local específico. Las mediciones y los métodos descritos en los Capítulos 4 y 5 ayudan a desentrañar los procesos que se encuentran en el corazón de la comprensión del manejo de la diversidad en fincas.

Desde la Descripción de la Diversidad Hasta el Apoyo a Su Mantenimiento

El análisis reciente de los patrones de diversidad y su dinámica ha dejado en claro la utilidad de esta diversidad para los agricultores y las comunidades. Tales resultados han dado un impulso para explorar nuevas formas de apoyar el mantenimiento de la diversidad. El uso de la diversidad para manejar los estreses abióticos y bióticos, particularmente los problemas de plagas y enfermedades (Capítulo 7), es un potencial emocionante, con aquellos estreses que representan cada vez más amenazas para la seguridad alimentaria. La investigación de los valores económicos, sociales y culturales de las variedades tradicionales ha renovado y mejorado estos valores (Capítulos 8 y 9). Los estudios de las variedades tradicionales en las cadenas de mercado, por ejemplo, pueden llevar a mejorar su valor. Del mismo modo, los esfuerzos de investigación con las comunidades y las instituciones locales para revelar los valores culturales de la diversidad de los cultivos pueden fortalecer dichos valores. Entonces se abren oportunidades para reunir nuevas fuerzas selectivas que mantendrán activamente la diversidad frente a las fuerzas erosionadas.

El campo de las políticas es uno que puede afectar la diversidad de los cultivos, para bien o para mal, a diferentes escalas. El análisis de las perspectivas de las políticas revela las posibles influencias negativas (o positivas) que la política puede tener sobre el mantenimiento y el uso de la diversidad (Capítulo 10). Tal análisis identifica estas influencias y acciones específicas que pueden favorecer a las variedades tradicionales. El análisis de políticas conduce a actividades de

apoyo específicas que aumentarían los beneficios de la mejora de los medios de vida de los agricultores y el bienestar de la comunidad a partir del mantenimiento de la diversidad (Capítulo 12). Muchas prácticas probadas que respaldan los roles de las variedades tradicionales, particularmente donde mejoran la calidad y la cantidad de semillas y mejoran su valor productivo para los agricultores, están abiertas a una mayor investigación. De nuevo, un programa transdisciplinario integrado de investigación es importante.

Las razones para querer comprender el alcance, la distribución y el uso de la diversidad en las variedades tradicionales van más allá de una descripción científica de los patrones de diversidad y las propiedades de las variedades tradicionales. Incluyen la preocupación por la conservación continua de las variedades tradicionales y su valor futuro para la producción sostenible, así como el interés en permitir a los agricultores mantener y usar estas variedades cuando lo deseen (Brush 1995, Jarvis et al. 2011). Todas estas propuestas han sido objeto de debate y desacuerdo sobre el papel futuro de las variedades tradicionales en la producción. Muchos expertos agrícolas o programas de desarrollo consideran reemplazar las variedades tradicionales como un paso necesario (o al menos inevitable) para aumentar la productividad y mejorar la vida de millones de agricultores pobres de todo el mundo. Sin embargo, las variedades tradicionales y la diversidad genética que contienen pueden jugar un papel aún más importante en la futura producción agrícola de lo hacen que hoy en día.

El Futuro Valor de las Variedades Tradicionales

¿Cuáles son las razones para mantener las variedades tradicionales dentro de los sistemas de producción agrícola? Para responder a esta pregunta, bien puede valer la pena recordar los beneficios de la diversidad genética, muchos de los cuales se han señalado en capítulos anteriores. Primero, proporciona complementariedad. Diferentes genotipos con diferentes genes o alelos pueden complementarse entre sí en entornos variables y mejorar la resistencia a enfermedades (Capítulo 7). En segundo lugar, el efecto de cartera aumenta la probabilidad de que algunas variedades o componentes de una variedad produzcan algo en condiciones adversas. En tercer lugar, el mantenimiento de la diversidad proporciona un mayor número de opciones (valor de opción) para el futuro a medida que cambian las condiciones. El sistema de producción ya no está encerrado en unos pocos genotipos que ya no están adaptados. Finalmente, la diversidad genética brinda la posibilidad de una evolución continua: el potencial de cambio.

Los beneficios de la diversidad genética juegan un papel importante en la contribución que las variedades tradicionales probablemente hagan en el futuro, y estos incluyen (1) el papel de la diversidad en mejorar la producción agrícola y la productividad en formas sostenibles y ambientalmente aceptables; (2) el valor de la diversidad al proporcionar resiliencia, adaptabilidad y potencial evolutivo; (3) la creciente demanda de los consumidores de diversos materiales y productos de cultivos intraespecíficos y de sistemas de producción basados en alimentos más naturales; y (4) las preocupaciones e intereses de los agricultores y las comunidades mismas que desean mantener el control de sus sistemas de producción.

Diversidad: Esencial para Lograr la Sostenibilidad y la Productividad

Las variedades tradicionales a menudo han sido consideradas por la comunidad de investigación y desarrollo agrícola como un recurso esencial del cual los genes útiles pueden ser extraídos y transferidos a variedades adaptadas a la agricultura moderna. Si bien esto es cierto, y seguirá siendo así en el futuro, se puede esperar que los cambios en las prácticas de producción agrícola requieran cambios en esta visión esencialmente extractiva del valor de estas variedades para la agricultura moderna. Algunas de las limitaciones de la visión extractiva de la conservación y el uso de los recursos genéticos se han descrito en el Capítulo 3.

La FAO ha estimado que la producción de alimentos en los próximos 30-40 años debe aumentarse en un 70 por ciento. Al mismo tiempo, las prácticas agrícolas deberán ser más sostenibles y adaptarse a los climas cambiantes de todo el mundo. La agricultura sostenible tiene como objetivo preservar la base de los recursos naturales, especialmente el suelo y el agua, y depende de insumos no biológicos mínimos externos al sistema agrícola, al tiempo que es económica y socialmente viable (Pretty 2008). Mejorar la sostenibilidad implicará un uso más eficiente de insumos agrícolas, y varias formas de hacerlo incluyen mejorar la eficiencia del uso del agua (Molden 2007), la calidad del suelo y la eficiencia del uso de nutrientes (Vitousek et al. 2009), así como la eficiencia energética y agroquímica (Pimentel 2011). Mejorar la eficiencia de la producción y el uso de diferentes insumos requerirá cosechas y variedades adaptadas a la producción de bajos insumos (es decir, menos químicos y energía de combustibles fósiles) a través de su eficiencia biológica mejorada. Las variedades que alcanzarán las eficiencias deseadas probablemente tengan propiedades biológicas y agronómicas similares a las de muchas variedades tradicionales. Se adaptarán a condiciones

de producción más variables y harán un mejor uso de los insumos que las variedades actuales de alto rendimiento, que se han desarrollado para sistemas de producción agrícola con un uso relativamente abundante de agua, fertilizantes y agroquímicos. Esto se ilustra en el desarrollo de variedades a través del fitomejoramiento participativo utilizando variedades tradicionales o poblaciones variables como material de partida.

En términos más generales, es probable que la biodiversidad agrícola desempeñe un papel fundamental en el desarrollo de sistemas de producción más sostenibles. La reducción de los insumos dependerá en última instancia de las propiedades biológicas de los componentes del sistema de producción y del grado en que la función del ecosistema y los servicios del ecosistema se pueden mantener o mejorar a través de la diversidad biológica. La calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, la disponibilidad de agua y el control de plagas y enfermedades a menudo pueden mejorarse significativamente a través del manejo adecuado de la diversidad biológica en los sistemas de producción; de esta manera las características de los cultivos y variedades constituyen una parte esencial del uso de la diversidad.

Resiliencia y Capacidad Evolutiva

El cambio, particularmente el cambio climático, tendrá un efecto importante en la producción agrícola durante las próximas décadas. Si un objetivo de la agricultura sostenible es lograr niveles deseables de productividad sin impactos ambientales y humanos negativos, uno podría preguntarse cómo se puede lograr ese equilibrio en un mundo en constante cambio y constante desequilibrio. El fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas de producción es un enfoque que se considera para asegurar que la producción agrícola se mantenga donde las condiciones fluctúan o cambian. Donde la sostenibilidad apunta a equilibrar el mundo, la resiliencia busca formas de gestionar en un mundo desequilibrado, tal vez una mejor imagen del mundo en el que vivimos (Zolli y Healy 2012). Existen diferentes definiciones de resiliencia, algunas de las cuales reflejan una perspectiva esencialmente estática, por ejemplo, la capacidad de absorber choques y aún mantener la función, o la capacidad de un ecosistema para responder a una perturbación o disturbio resistiendo el daño y recuperándose rápidamente. Otras descripciones de la resiliencia lo ven como un concepto más dinámico de modo que Carpenter y Brock (2008) describen la resiliencia en los sistemas socioecológicos como la capacidad de (1) absorber choques y mantener la función, (2) autoorganizarse y (3) aprender y adaptarse. El valor de desarrollar sistemas adaptados a la fluctuación y el cambio ha ido un paso más allá con Taleb (2012),

quien ha enfatizado la importancia de la antifragilidad, entendida como la capacidad de hacer frente a futuros totalmente inesperados y desconocidos.

La diversidad (de sistemas, cultivos y variedades) mejora la resiliencia. Las variedades tradicionales son diversas y pueden cumplir con condiciones cambiantes y fluctuaciones aleatorias durante largos períodos. Tienen características que aseguran cierta producción bajo estrés biótico y abiótico (Capítulo 7) a nivel de agricultores y de la comunidad. Las variedades tradicionales de sorgo y mijo perla han sido un elemento importante de adaptación, resiliencia y mantenimiento de la producción durante un período de 20 años en Níger (Capítulo 11). Se podría decir que el proceso de aprendizaje y adaptación es una característica esencial de la agricultura basada en variedades tradicionales, donde la diversidad proporciona la capacidad evolutiva de adaptación y los agricultores siempre están aprendiendo cómo hacer frente a los desafíos que enfrentan. La importancia de fortalecer la resiliencia enfatiza la importancia de mantener las propiedades dinámicas de las variedades tradicionales y asegurar que se mantengan los sistemas que protegen estas características dinámicas (por ejemplo, sistemas de semillas y otras instituciones sociales).

Los Intereses de los Consumidores, los Agricultores y las Sociedades

Las últimas décadas han visto la aparición y la fuerza creciente de los movimientos sociales preocupados por la naturaleza y la calidad de los alimentos que consumimos. En parte, esto ha sido una respuesta a una serie de importantes “escándalos alimentarios” (por ejemplo, la enfermedad de las vacas locas, el descubrimiento de cantidades tóxicas de aditivos en productos alimenticios), una creciente duda sobre la forma en que se producen algunos alimentos, como son tratados los animales y una serie de sustos de salud asociados con la transferencia de enfermedades de los animales a los humanos. Los fuertes movimientos internacionales como Slow Food desafían cada vez más las formas en que se producen los alimentos, y los grupos activos de la sociedad civil están haciendo más ampliamente disponibles una amplia variedad de semillas de tipos de cultivos tradicionales (por ejemplo, Grupos de Ahorro de Semillas).

Los agricultores también se están volviendo cada vez más expresivos y preocupados por recuperar el control sobre la producción y sobre sus medios de vida frente a lo que ven como una pérdida de control cada vez mayor para las compañías multinacionales de semillas y producción de alimentos. La demanda de soberanía alimentaria es una de sus manifestaciones, al igual que el desarrollo de alianzas internacionales de agricultores, como Vía Campesina (<http://>

viacampesina.org/es/), y las principales reuniones de Terra Madre (<http://www.terramadre.org/>) para reunir a los pueblos rurales e indígenas de todo el mundo. Estos grupos ven las variedades tradicionales como parte de su patrimonio, que desean mantener y nutrir. Vale la pena señalar que, al hacer esto, los agricultores están ayudando a los futuros intereses de la sociedad a través de la conservación de esta diversidad.

Enfoques para el Mantenimiento de Variedades Tradicionales

El mayor reconocimiento del valor de mantener variedades tradicionales en los sistemas de producción ha llevado al desarrollo de una gran gama de actividades, desde iniciativas internacionales hasta el trabajo de base con comunidades agrícolas individuales, y muchas de estas han sido descritas o referidas en capítulos anteriores. Las actividades ponen énfasis diferente en la importancia relativa de los beneficios para la conservación, las propiedades del sistema de producción o los medios de subsistencia de los agricultores y las comunidades rurales. En términos generales, los enfoques incluyen enfoques basados en sitios, aquellos que se enfocan en el mantenimiento mismo de los cultivos o las variedades, aquellos que enfatizan el rol de los agricultores y las comunidades, y aquellos interesados en el desarrollo de formas específicas de acercarse a la producción agrícola.

Los enfoques basados en sitios son promovidos por varias iniciativas internacionales, incluyendo la Asociación Internacional de la Iniciativa Satoyama (IPSI), Sistemas del Patrimonio Agrícola Mundialmente Importantes (SIPAM), Territorios y Áreas Conservadas por Pueblos Indígenas y Comunidades (ICCAs), y el Programa de Reservas El Hombre y la Biosfera (MaB) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). La atención se centra en identificar áreas o sitios donde la diversidad se mantiene a través de procesos sociales, culturales y ecológicos (cuadro 13.1). Los partidarios de este enfoque promueven la idea de preservar estos entornos de influencia humana para que puedan continuar adaptándose y evolucionando. Se ha desarrollado un conjunto de indicadores socioecológicos para medir la efectividad de los diferentes procesos que mantienen estos sistemas (Van Oudenhoven et al. 2011).

Los enfoques que se centran en los cultivos o variedades a menudo enfatizan los mecanismos económicos o de políticas que darán valor a los materiales y garantizarán su reconocimiento. Hay varias formas de hacerlo. Se pueden re-

Cuadro 13.1. Enfoques Basados en Sitios Que Reconocen El Papel de las Comunidades Locales en la Preservación de la Diversidad Genética de los Cultivos en Entornos con Influencia Humana

La Iniciativa Satoyama tiene como objetivo conservar entornos naturales sostenibles e influenciados por el hombre (paisajes de producción socio-ecológica y paisajes marinos [SEPLS]) a través de un reconocimiento mundial más amplio de su valor. La visión de la Iniciativa Satoyama es realizar sociedades en armonía con la naturaleza, que comprendan comunidades humanas donde el mantenimiento y el desarrollo de las actividades socioeconómicas (que incluyen la agricultura y la silvicultura) se alinean con los procesos naturales. Mediante el mantenimiento y el uso sostenible de los recursos biológicos y, por lo tanto, el mantenimiento adecuado de la biodiversidad, los seres humanos disfrutaremos de un suministro estable de diversos beneficios naturales en el futuro.

Los Sistemas del Patrimonio Agrícola Mundialmente Importantes (SIPAM) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se definen como sistemas agrícolas tradicionales/históricos, representados por un sitio particular, como patrimonio de la humanidad (o país) de importancia mundial o nacional. Estos paisajes o sitios culturales contribuyen a la seguridad alimentaria y a los medios de subsistencia de las comunidades locales (a menudo indígenas); están dotados de biodiversidad y recursos genéticos a nivel mundial (o nacional) para la alimentación y la agricultura; mantienen conocimientos invaluable, tecnología ingeniosa y sistemas de manejo de los recursos naturales, incluidas las instituciones consuetudinarias para el manejo agroecológico y disposiciones normativas para el acceso a los recursos y la distribución de beneficios; contienen sistemas de valores y prácticas agrícolas asociadas con el medio ambiente y los calendarios agrícolas; contienen festividades y rituales como transferencia de conocimiento, y tienen características del paisaje del manejo humano que proporcionan soluciones ingeniosas o prácticas a las limitaciones ambientales o sociales.

El Programa El Hombre y la Biosfera (UNESCO-MAB) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura es un programa científico intergubernamental cuyo objetivo es establecer una base científica para mejorar las relaciones entre las personas y su entorno a nivel mundial. Integrado en su programa de paisajes cultivados está la idea de paisajes como sistemas “socioecológicos” acoplados, cuya integridad y resistencia dependen de sus componentes ecológicos y sociales, y de la capacidad combinada de estos componentes para conservar su estructura y función después de las perturbaciones (Gunderson y Holling 2002; van Oudenhoven et al. 2011).

gistrar variedades específicas (a menudo de lugares específicos), al igual que los productos de dichas variedades. Aquellos que adoptan este enfoque son activos en el desarrollo de incentivos comerciales y no comerciales para que los agricultores continúen cultivando variedades y poblaciones específicas para que esas variedades continúen manteniéndose en los ecosistemas agrícolas.

Muchas ONG y otros grupos activistas se centran particularmente en los agricultores y en su empoderamiento y control en la toma de decisiones y recursos locales. Estos grupos enfatizan que los propios agricultores han creado y manejado durante muchos siglos las variedades tradicionales de las cuales todos nos beneficiamos. Este enfoque enfatiza tanto el rol de las organizaciones y las instituciones en el apoyo a las elecciones que hacen estos agricultores como las perspectivas sociales y de sustento en el mantenimiento de la diversidad. Aquellos que trabajan con este enfoque a menudo enfatizan la importancia de los derechos de los agricultores y la soberanía alimentaria.

Varios grupos de investigación y otros que abogan por la adopción de enfoques agroecológicos para la producción agrícola argumentan que las variedades tradicionales pueden hacer contribuciones importantes dentro de este marco. En este enfoque, las variedades tradicionales se ubican dentro de un marco más amplio del valor de la agrobiodiversidad como un todo en el desarrollo agrícola. Aquí tiende a hacerse hincapié en el papel de las variedades tradicionales en las prácticas agrícolas que mantienen o mejoran las funciones de los ecosistemas, y en la diversidad en la provisión de servicios clave de regulación y apoyo de los ecosistemas.

Un tema común en todos los diferentes enfoques es el reconocimiento de que es importante tener diversidad genética de cultivos dentro de los ecosistemas agrícolas, ya sea por razones productivas, ecológicas o culturales. Como se discutió anteriormente, estas razones probablemente continuarán siendo relevantes en el futuro.

Observaciones finales

Los capítulos de este libro han presentado herramientas y métodos para ayudar a comprender dónde, cuándo y cómo la diversidad genética de los cultivos en los ecosistemas agrícolas puede proporcionar resiliencia al sistema al brindar a los agricultores un recurso diverso para protegerse contra la volatilidad ambiental. Nos concentramos en proporcionar principios y herramientas para que el lector mida, cuantifique y respalde el uso de la diversidad genética de nuestro patrimonio de cultivos dentro de los ecosistemas agrícolas.

De numerosos estudios en todo el mundo, ahora sabemos que una fuerza importante que mantiene nuestro patrimonio cultural son las diversas estrategias de manejo de un gran número de pequeños agricultores que enfrentan diferentes situaciones de producción, tienen diferentes necesidades y adoptan prácticas diferentes. A menudo las diferencias son pequeñas y existe una cons-

tante convergencia y divergencia de las subpoblaciones, creando una variedad dinámica y cambiante. Estas variedades permanecen en sistemas de producción agrícola porque satisfacen las necesidades de los agricultores y porque los agricultores eligen mantenerlas. Evolucionan y cambian con el tiempo a medida que los agricultores se encuentran con las condiciones cambiantes y las sociedades necesitan un cambio. Al final, siempre serán los propios agricultores quienes elijan qué cultivar. Todo lo que podemos hacer es asegurarnos de que tengan esa opción.

Anexo A: Paquetes de Softwares Útiles para Analizar Datos Moleculares

<i>Nombre</i>	<i>Datos</i>	<i>Plataforma</i>	<i>Referencia y enlace</i>
Arlequin	DNA, SNP, SSR	Unix, Mac OS	http://cmpg.unibe.ch/software/arlequin35/
MEGA	DNA, distance	Unix, Mac OS, Windows	http://www.megasoftware.net/
Structure	SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://pritch.bsd.uchicago.edu/software/structure2_1.html
Adegenet	DNA, SNP, SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://adegenet.r-forge.r-project.org/
GeneLand	DNA, SNP, SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://www2.imm.dtu.dk/~gigu/Geneland/
APE	DNA	Unix, Mac OS, Windows	http://ape.mpl.ird.fr/
DNAsp	DNA	Windows Unix,	http://www.ub.edu/dnasp/
BAPS	SSR	Mac OS, Windows	http://www.helsinki.fi/bsg/software/BAPS/
STRUCTURAMA	SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://www.molecularevolution.org/software/popgen/structurama
Paup4b10 DNA	DNA	Unix, Mac OS, Windows	http://paup.csit.fsu.edu/

<i>Nombre</i>	<i>Datos</i>	<i>Plataforma</i>	<i>Referencia y enlace</i>
PhyML	DNA	Unix, Mac OS, Windows	http://www.atgc-montpellier.fr/phyml/
Network	DNA	Windows	http://www.fluxus-engineering.com/sharenet.htm
SplitsTree	DNA, distance	Unix, Mac OS, Windows	http://www.splitstree.org/
Genetix	SSR	Windows	http://kimura.univ-montp2.fr/genetix/
Genepop	SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://genepop.curtin.edu.au/
Fstat	SSR	Windows	http://www2.unil.ch/popgen/softwares/fstat.htm
Bottleneck	SSR	Windows	http://www1.montpellier.inra.fr/URLB/bottleneck/bottleneck.html
Migrate-n	DNA, SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://popgen.sc.fsu.edu/Migrate/Migrate-n.html

Anexo B: Sistemas de Información Geográfica y Recursos de Teledetección Disponibles en Internet

<i>Recurso</i>	<i>Descripción</i>	<i>Sitio web</i>
Landsat	Landsat representa la colección de datos de teledetección terrestre de resolución moderada basada en el espacio más larga del mundo.	http://landsat.gsfc.nasa.gov
USGS—Centro de Observación y Ciencia de Recursos Terrestres (EROS)	Manejo de datos de detección remota, desarrollo de sistemas y centro de detección de campo para la Exploración Geológica de EE. UU.	http://eros.usgs.gov
MODIS—Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada	MODIS is a key instrument aboard the Terra (EOS AM) and Aqua (EOS PM) NASA satellites	http://modis.gsfc.nasa.gov
ASTER—Radiómetro de Emisión y Reflexión Térmica Avanzado a Bordo de Vehículos Espaciales	ASTER es un esfuerzo cooperativo entre la NASA y el Ministerio de Economía e Industria de Japón (METI) y los Sistemas Espaciales de Japón	http://asterweb.jpl.nasa.gov
EUMETSAT—Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos	EUMETSAT es una organización internacional que ofrece datos satelitales, imágenes y productos relacionados con el tiempo y el clima	http://www.eumetsat.int
NOAA—Satélites Nacionales Ambientales, Servicio de Información (NESDIS)	NESDIS proporciona acceso oportuno a datos globales ambientales de satélites	http://www.nesdis.noaa.gov

Anexo C: Una Selección de Campeones de PPB A Través de las Edades.

Ceccarelli et al. (2001, 2003), Ceccarelli y Grando (2005), y Ceccarelli (2009) demostraron cómo el PPB descentralizado en la cebada y el trigo puede llevarse a cabo en los campos de los agricultores de una región semiárida. Ceccarelli hizo cruces en ICARDA y proporcionó grandes opciones de diversidad a los agricultores para su selección.

Almekinders et al. (2006) documentaron numerosos estudios de casos que retornaron a los agricultores a la mejora vegetal, incluido el trabajo de la ONG CIPRES (Centro para la promoción, la investigación y el desarrollo rural social) en Nicaragua, que inició un proyecto piloto de PPB organizando un acuerdo entre un grupo de agricultores interesados y un mejorador nacional del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) para desarrollar variedades de frijol, maíz y sorgo preferidas por los agricultores.

Sperling et al. (1993, 1996) prácticamente comenzaron la noción de selección participativa de variedades (PVS) al llevar a los agricultores a estaciones de investigación para la selección de las variedades preferidas. Sobre esta base, Joshi y Witcombe (1996) desarrollaron una metodología de PVS en la que se evalúa la necesidad de los agricultores antes de que la diversidad de cultivos locales se produzca, se experimente en fincas y se disemine para lograr impactos más amplios.

Witcombe et al. (1996, 2005) y Sthapit et al. (1996) demostraron que el valor de las variedades locales de arroz tolerantes al frío puede mejorarse mediante la selección de características preferidas de las poblaciones heterogéneas, y recolectadas localmente antes de iniciar cualquier programa de mejoramiento de los cultivos.

Gyawali et al. (2010) demostraron cómo una colección sistemática de una variedad tradicional de un agricultor (Jethobhuddo) y la selección dentro de la población para los rasgos preferidos del consumidor, junto con la evaluación participativa en los campos de los agricultores, hicieron que la variedad tradicional fuera competitiva con la variedad moderna.

Sthapit y Rao (2009) demostraron cómo se puede capacitar a las instituciones de base en el mejoramiento genético simple para seleccionar la diversidad funcional del material existente y promoverlo a través de los sistemas de semillas de los agricultores.

Weltzein et al. (2005) y Weltzein y Christinck (2009) involucraron a los agricultores en el establecimiento de objetivos de mejora basados en las prioridades de los agricultores, y en el desarrollo de materiales de reproducción en Malí para el PVS descentralizado en comunidades agrícolas. Fue iniciado por los fitomejoradores del ICRISAT y tiene su origen en una evaluación del impacto económico de sus programas de mejora de sorgo y mijo perla.

PEDIGREA (Smolders y Caballada 2006) apoyó programas de PPB en el sur y sudeste de Asia en verduras, pollo y arroz nativos; publicó una guía de campo para PPB; y consolidó el papel de los agricultores en el mejoramiento y las escuelas de campo de los agricultores.

Humphries et al. (2005) trabajaron con CIAL en Honduras para el mejoramiento participativo de frijol (http://www.odi.org.uk/agren/papers/agrenpaper_142.pdf).

Chablé et al. (2008) y Lammerts van Bueren et al. (2008) demostraron el uso del fitomejoramiento participativo para la agricultura orgánica en Europa.

Soleri et al. (2000), examinaron las prácticas de selección y sus consecuencias desde las perspectivas de los agricultores en comparación con los conceptos utilizados por los fitomejoradores en México.

Glosario

- ABS (Acceso y Distribución de Beneficios):** acceso a los recursos genéticos y a compartir los beneficios derivados de su utilización.
- Accesión:** muestra o unidad de una colección mantenida en un entorno ex situ para su conservación y uso.
- Adaptación:** proceso evolutivo mediante el cual las especies cambian con el tiempo para aumentar su aptitud como respuesta a la selección en su entorno.
- AFLP (polimorfismo de longitud de fragmento amplificado):** un sistema marcador de ADN que depende de la variación en el tamaño de los fragmentos de ADN o amplificadores generados por la amplificación del ADN por PCR.
- Agresividad:** una medida cuantitativa de la capacidad de un patógeno vegetal para colonizar y diseminarse, causando daños a su huésped.
- Agrobiodiversidad:** incluye todos los componentes de la diversidad biológica de relevancia para la alimentación y la agricultura, así como los componentes que constituyen el agroecosistema: la variedad y variabilidad de los animales, las plantas y los microorganismos a nivel genético, las especies y el ecosistema, los cuales sostienen la estructura de funciones y procesos del agroecosistema. Creada y manejada por agricultores, pastores, pescadores y habitantes de los bosques, la agrobiodiversidad continúa brindando a muchas comunidades rurales de todo el mundo estabilidad, adaptabilidad y resiliencia en sus sistemas agrícolas y constituye un elemento clave de sus estrategias de subsistencia.
- Enfoques agroecológicos:** Enfoques que integran procesos biológicos y ecológicos en la producción de alimentos, minimizando el uso de insumos no renovables que causan daño al medio ambiente o a la salud de los agricultores y consumidores. Incluye hacer un uso productivo del conocimiento y las habilidades de los agricultores, y de las capacidades colectivas de las personas para trabajar juntas resolviendo problemas comunes de los recursos agrícolas y naturales.
- Agroecosistema:** un sistema de producción agrícola, que incluye todos los organismos y factores ambientales dentro de él, que, con asistencia humana, es un sistema estable con flujos circulares de material y energía.
- Agroforestería:** la integración de árboles y arbustos dentro de las prácticas agrícolas.

- Características agromorfológicas:** los rasgos fácilmente observables en un cultivo y los caracteres cuantitativos agronómicos o morfológicos que contribuyen directamente al rendimiento.
- Alelo:** formas alternativas de un locus genético que difieren en la secuencia de ADN, por lo general correspondientes a una copia de un solo gen.
- Aleloquímico:** relacionado con interacciones químicas interespecíficas.
- Alelopatía:** la liberación de un compuesto por una planta en el ambiente que tiene un impacto inhibitorio o estimulante en otros organismos.
- Alogamia:** fertilización cruzada o polinización cruzada de una flor por polen de una flor diferente, generalmente presente en otra planta genéticamente diferente de la misma especie.
- Alopoloide:** relacionado con un organismo o célula híbrida que tiene dos o más conjuntos de cromosomas adquiridos de dos especies ancestrales diferentes.
- Alopoliploide:** un organismo alopoloide que contiene conjuntos genéticamente diferentes de cromosomas derivados de dos o más especies por hibridación.
- Aloenzima:** cualquiera de las formas variantes de una enzima codificada por diferentes alelos en el mismo locus genético.
- Diversidad Alpha:** se refiere a una medida de la diversidad dentro de un área o ecosistema particular, y generalmente se expresa por la cantidad de especies (es decir, riqueza de especies) en ese ecosistema.
- Valor de amenidad:** los beneficios no utilitarios proporcionados por un bien o servicio, según lo determinado por un consumidor individual.
- Amensalismo:** una interacción entre organismos en la cual un organismo impacta negativamente a otro organismo sin recibir ningún beneficio directo.
- Anfidiploide:** un poliploide cuyo complemento cromosómico comprende los complementos somáticos completos de dos especies.
- Andromonoecia:** de o perteneciente a una especie de planta que produce flores masculinas (o estaminadas) y bisexuales (o perfectas) en el mismo individuo.
- Antibiosis:** se produce cuando una planta resistente afecta negativamente los rasgos del ciclo de vida del artrópodo que intenta usar esa planta como huésped.
- Antifragilidad:** capaz de crecer y prosperar de cara a la incertidumbre.
- Antixenosis:** una propiedad de la planta que la hace poco atractiva para la alimentación u oviposición de algunos insectos: la reacción no preferida de los artrópodos.
- Apomixis:** reproducción asexual sin fertilización que surge por la modificación de la función sexual.
- Autocorrelación:** la correlación de valores equilibrados de una variable, los valores que pertenecen a una serie de tiempo o una disposición espacial y están separados por un espacio fijo.
- Autogamia:** autofertilización lograda por polinización de una flor con su propio polen; lo mismo genéticamente que la geitonogamia, o la fertilización con polen de una flor diferente en la misma planta.
- Autoinfección:** término que se aplicó inicialmente a la infección de una planta cuando se producía inóculo en la misma planta.
- Autopoliploidía:** que tiene más de dos conjuntos de cromosomas haploides completos derivados de una especie monoparental o linaje evolutivo.
- Valor de legado:** la satisfacción que obtiene un individuo o una sociedad al saber que un bien o servicio se puede transmitir a las futuras generaciones.
- Diversidad beta:** la diversidad que se refiere al cambio en la composición de las especies de

- un lugar a otro, por ejemplo, de un campo de un agricultor a otro, o a lo largo de gradientes ambientales.
- Amplificación sesgada:** la amplificación selectiva por PCR entre los modelos candidatos de ADN que conducen a su preponderancia o dominancia en los productos finales.
- Biodiversidad:** la variabilidad total entre y dentro de las especies de todos los organismos vivos.
- Agentes de control biológico:** enemigos naturales de las plagas de insectos, plantas invasoras o agentes de enfermedades que pueden retrasar o reducir el crecimiento de la población.
- Bioturbación:** suelo moviéndose o consumiéndose.
- Canícula:** un período seco de duración irregular que a menudo aparece a finales de julio o agosto durante la temporada de lluvias.
- Correlación canónica:** la fuerza de la relación entre las funciones lineales de los componentes las variables en dos conjuntos distintos de variables.
- CAP:** proteína activadora de catabolitos.
- CAPS:** sitios polimórficos amplificados por escisión, una extensión del método RFLP que utiliza PCR para analizar más fácilmente marcadores genéticos útiles.
- Capacidad de intercambio de cationes:** una medida de la fertilidad del suelo, la cantidad máxima de cationes totales intercambiables que puede contener un suelo.
- CBM:** Manejo Comunitario de la Biodiversidad.
- Carácter:** La expresión fenotípica, como un atributo estructural o funcional de un organismo, que resulta de la interacción de un gen o grupo de genes con el ambiente (IBPGR 1991).
- Caracterización:** Evaluación de los rasgos de la planta que son altamente heredables, fáciles de ver a simple vista e igualmente expresados en todos los ambientes para distinguir fenotipos; en contraste con la evaluación.
- Controles:** variedades controladas con características conocidas que se seleccionan de acuerdo con los objetivos específicos de una prueba de campo para comparar o estandarizar los resultados del tratamiento.
- Daño por frío:** la manifestación visual de la disfunción celular en plantas tropicales cuando se exponen a bajas temperaturas.
- Tolerancia al frío:** la respuesta de una planta a las temperaturas de congelación y la capacidad de las plantas para funcionar a temperaturas inferiores a las óptimas.
- Método de experimento de elección:** un método para evaluar el valor de un bien o servicio que no tiene un precio de mercado, en el que se presenta a un encuestado un rango de opciones basadas en los atributos del bien o servicio y se le pide que elija uno.
- Clon:** un individuo que resulta de un proceso de reproducción asexual o vegetativa, y por lo tanto es genéticamente idéntico a su padre.
- Co-dominancia:** donde se expresan todos los alelos (dos en un diploide, más en un poliploide) presentes en un heterocigoto, de modo que el fenotipo refleja una contribución de ambos alelos.
- Co-evolución:** la evolución recíproca de adaptaciones complementarias en dos o más especies de organismos debido a una relación especial que existe entre ellos.
- Mapas cognoscitivos:** mapas dibujados por personas que no tienen formación cartográfica formal; los mapas cognitivos generalmente no se dibujan a una escala precisa, o pueden mostrar accidentes geográficos u otras características desde perspectivas inusuales, pero son muy útiles para revelar la comprensión y las concepciones de la tierra y los recursos de los encuestados.

- Resistencia al frío:** la capacidad de las plantas de la zona templada para sobrevivir a temperaturas bajo cero.
- Comensalismo:** una interacción entre organismos en la que un organismo es ayudado por la interacción y el otro no se beneficia ni perjudica.
- Registro de biodiversidad comunitaria:** un registro de variedades de cultivos tradicionales en una comunidad que es mantenida por miembros de la comunidad y puede contener información como las características agromorfológicas y agronómicas, adaptación agroecológica, usos especiales, características únicas, lugar de origen y custodio del cultivar tradicional. El método se usa para documentar el conocimiento tradicional sobre recursos genéticos y proporcionar protección defensiva y/o promover la bioprospección.
- Competencia:** una interacción biótica resultante de recursos limitados en un ecosistema; ambos organismos están peor, ya que cada uno usa recursos que ambos necesitan.
- Compuesto de poblaciones cruzadas:** una masa sintética de la progenie de diversas cruas entre varios progenitores que se propaga como una sola población en evolución.
- Conservación:** la gestión del entorno natural y agrícola y sus recursos biológicos para garantizar que no se destruyan en el proceso de desarrollo, sino que mantengan su potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras generaciones.
- Análisis de contenido:** un método para analizar sistemáticamente el contenido de una comunicación o actividad particular a fin de determinar su significado o propósito, incluidos los elementos simbólicos y temáticos.
- Valoración de contingencia:** un método para evaluar el valor de un bien o servicio que no tiene un precio de mercado; el método implica encuestar a los encuestados sobre su disposición a pagar por el bien o servicio.
- ADNcp (ADN del cloroplasto):** el ADN presente en el cloroplasto. Aunque el cloroplasto tiene un genoma pequeño, la gran cantidad de cloroplastos por célula asegura que el ADN del cloroplasto sea una proporción significativa del ADN total en una célula vegetal.
- Diversidad genética de cultivos:** se refiere al número total de características genéticas en la composición genética de las especies de plantas utilizadas en la agricultura y sus especies silvestres relacionadas evolutivamente.
- Paralogía críptica:** dos alelos de diferente origen genético que producen la misma longitud de fragmentos de restricción y, por lo tanto, no son reconocidos como alelos no segregantes.
- Cultivar:** una variedad cultivada de una planta de cultivo domesticada que se nombra oficialmente o informalmente o se reconoce de otra manera como distinta.
- Cultura:** una expresión de la interacción a lo largo del tiempo entre comunidades y sus entornos naturales, históricos y sociales que proporciona las bases para valores éticos, conceptos de espacios sagrados, experiencias estéticas e identidades personales o grupales derivadas del entorno local.
- Dendrograma:** diagrama de árbol que representa la diferencia cada vez mayor entre objetos, individuos, muestras o poblaciones o especies como grupos jerárquicos.
- Determinación:** la tendencia de las plantas en una población a coordinar los tiempos de floración y fructificación, y así madurar simultáneamente para la polinización cruzada y la cosecha.
- Análisis de correspondencia disperso:** una técnica estadística multivariada que encuentra los principales factores o gradientes en grandes matrices de datos, ricos en especies, pero generalmente dispersas.
- Dioecia:** una especie de planta en la que las flores masculinas y femeninas se forman en

- diferentes plantas. Las plantas adultas pueden permanecer constantes en la expresión de género o en el tiempo.
- Diploide:** tiene dos conjuntos completos de cromosomas haploides homólogos.
- Análisis discriminante:** análisis estadístico para encontrar una combinación lineal de características que caracterizan o separan dos o más clases de objetos o eventos.
- Resistencia a enfermedades:** la capacidad determinada genéticamente de la planta huésped para reducir o prevenir la reproducción de un patógeno, permaneciendo así saludable.
- Tolerancia a enfermedades:** la capacidad de una planta para soportar una enfermedad infecciosa o no infecciosa sin daño grave o pérdida de rendimiento.
- Triángulo de enfermedades:** un paradigma básico en patología de plantas; la enfermedad requiere absolutamente del agente biótico causal: un patógeno virulento que interactúa con un huésped susceptible en un ambiente favorable para el desarrollo de la enfermedad.
- Hipótesis de desplazamiento:** la teoría de que la difusión de las variedades de cultivos modernos conduce rápida e inevitablemente a la pérdida de variedades autóctonas y otras variedades de cultivos tradicionales mantenidas por los agricultores.
- Divergencia:** la acumulación de diferencias (genéticas) entre poblaciones o variedades, ya sea silenciosa o expresada como caracteres morfológicos o fisiológicos.
- Bloque de diversidad:** un bloque experimental de variedades de agricultores para fines de exhibición, multiplicación o investigación manejados por instituciones locales. Se invita a un grupo de agricultores expertos a observar el bloque de diversidad durante su cultivo.
- Feria de diversidad:** reúne a agricultores de una o más comunidades para mostrar la gama de variedades tradicionales que cada uno cultiva. En lugar de otorgar premios por la mejor variedad individual (por ejemplo, en función del rendimiento o el tamaño), las ferias de la diversidad premian a los agricultores o cooperativas por la mayor diversidad de cultivos y el conocimiento relacionado.
- Foros de campo de diversidad (DFF):** consisten en hombres y mujeres organizados en equipos (generalmente de 25 a 30 personas) por género para evaluar la diversidad genética de los cultivos. Los grupos de agricultores prueban cultivares locales y mejorados. Los agricultores son entrenados en la multiplicación de semillas, y las semillas de los cultivares seleccionados se multiplican y diseminan dentro y fuera de los grupos. El enfoque toma en cuenta la diferencia entre los criterios de selección preferidos por mujeres y hombres agricultores. A través de reuniones semanales se informa a los agricultores sobre las convenciones/legislaciones internacionales y nacionales relevantes para el intercambio de recursos fitogenéticos.
- Síndrome de domesticación:** el conjunto de caracteres que distinguen a una especie de cultivo de sus especies progenitoras silvestres y que son características de la domesticación y adaptan el cultivo al cultivo humano.
- Latencia:** una característica física o fisiológica innata de las semillas viables que retrasa su germinación.
- Fracción molar seca:** número de moléculas de dióxido de carbono dividido por el número de moléculas de aire seco multiplicado por un millón (ppm).
- DUS:** Distinción, uniformidad y estabilidad, atributos de una nueva variedad requeridos en algunas jurisdicciones para el otorgamiento de un derecho de obtentor.
- Conservación dinámica:** conservación de los procesos biológicos, agroecológicos y de cultura humana responsables de la continua evolución de la diversidad de los cultivos en los sistemas tradicionales.
- Nicho ecogeográfico:** el lugar y las funciones de una especie en su comunidad con referen-

cia a sus interacciones con su entorno y los organismos asociados.

Ecoetiquetado: la práctica de etiquetar productos para que los consumidores sepan que su fabricación cumple con los estándares ambientales reconocidos.

Modelo econométrico: un modelo económico cuyos parámetros pueden estimarse cuantitativamente.

Ecoregión: también llamada región ecológica, es un área ecológica y geográficamente definida que es más pequeña que una bioregión, que a su vez es más pequeña que una ecozona.

Diversidad de ecosistemas: la variedad o el número de ecosistemas en un área determinada (por ejemplo, una ecorregión).

Servicios ecosistémicos: los beneficios para los seres humanos que surgen de los ecosistemas que funcionan saludablemente, como el agua limpia, los hábitats para los polinizadores y la descomposición de los desechos.

Factores edáficos: propiedades físicas y químicas y atributos de los suelos que afectan la supervivencia y el crecimiento de las plantas.

Covarianza Eddy: una técnica matemática para medir el flujo de CO₂ entre la atmósfera y la biosfera.

Tamaño efectivo de la población: el número de individuos en una población idealizada con un valor de cualquier cantidad genética de una población dada, que es igual al valor de esa cantidad en la población real de interés.

Eficiencia en las estrategias de producción de cultivos: la capacidad de producir un efecto en un punto del tiempo y el espacio.

Electroforesis: una técnica de biología molecular ubicua, con muchas variantes, utilizada para resolver mezclas complejas de macromoléculas en sus componentes de diferentes tamaños moleculares, comúnmente en un campo eléctrico aplicado a través de una matriz porosa.

Endogamia: la tendencia de las personas a casarse dentro de su comunidad u otro grupo social.

Desarrollo epidémico: la rápida acumulación de un gran número de individuos afectados por una enfermedad, local o generalizada.

EPO: Oficina Europea de Patentes.

EST (marcador de secuencia expresada): una subsecuencia corta de una secuencia de ADNc, que se usa para identificar transcripciones de genes y en el descubrimiento de los genes, la secuenciación de genes y la detección de polimorfismos de ADN.

Etnología: una rama de la antropología que compara y analiza las características de los diferentes pueblos y la relación entre ellos.

Etnotaxonomía: también llamada taxonomías populares, son los sistemas taxonómicos definidos y utilizados por grupos étnicos individuales.

Eucariota: organismos unicelulares nucleados y todos los organismos multicelulares.

Evaluación: evaluación de los caracteres de la planta, como el rendimiento, el rendimiento agronómico, la susceptibilidad al estrés abiótico y biótico, y los rasgos bioquímicos y citológicos, cuya expresión puede verse afectada por factores ambientales; en contraste con la caracterización.

Uniformidad: similitud o falta de varianza en la frecuencia de los diferentes tipos (por ejemplo, alelos, genotipos o especies) en una muestra, una población o una región.

Capacidad evolutiva o capacidad de evolución: la capacidad de una población o especie para generar diversidad genética adaptativa.

Conservación ex situ: extracción de germoplasma del lugar donde surgió o se encuentra en crecimiento, y el almacenamiento fuera del sitio como semillas en un banco de

- germoplasma, material vegetativo en almacenamiento in vitro o accesiones de plantas que crecen en colecciones vivas en un jardín botánico o banco de germoplasma de campo.
- Valor de existencia:** la satisfacción que reciben los individuos o las sociedades al saber que algo existe, independientemente de si se usa o no.
- Exogamia:** la tendencia de las personas a casarse fuera de su comunidad u otro grupo social.
- Explante:** una porción de una planta escindida asépticamente y preparada para cultivo o almacenamiento en un medio con nutrientes.
- Interacciones facilitadoras:** interacciones que son beneficiosas para al menos uno del conjunto de especies o genotipos que interactúan, a diferencia de las simbiosis esenciales, que son obligatorias.
- Comercio justo:** etiquetado que requiere que los compradores acepten: (1) pagar un precio que cubra los costos de producción y una prima social; (2) hacer un pago por adelantado; (3) comprar directamente al productor, y (4) establecer contratos a largo plazo.
- Escuelas de campo para agricultores:** un proceso de aprendizaje basado en grupos que han sido utilizado por una serie de gobiernos, ONGs y organismos internacionales para capacitar a los agricultores como instructores de sus compañeros agricultores; creado predominantemente para promover el Manejo Integrado de Plagas (MIP).
- Derechos de los agricultores:** término utilizado para referirse a los derechos que deberían identificarse y protegerse para respaldar los roles de los agricultores como conservadores y generadores de diversidad de los cultivos.
- Sistema de cultivo:** todos los elementos de una finca que interactúan como un sistema, incluyendo personas, cultivos, ganado, otra vegetación, vida silvestre, el medio ambiente, y las interacciones sociales, económicas y ecológicas entre ellos.
- Línea fija:** variedad estable, avanzada o variedad nativa, de líneas liberadas lo que implica una cierta eliminación de la variabilidad segregante y verdadero mejoramiento.
- Soberanía alimentaria:** el derecho de los pueblos que producen, distribuyen y consumen alimentos para definir sus propios sistemas alimentarios y ocupar el centro de las decisiones sobre sistemas y políticas alimentarias, en lugar de las demandas de los mercados y las empresas que ocupan esos puestos.
- Sistema formal de semillas:** un sistema de desarrollo de variedades vegetales y producción y comercialización de semillas que sigue las leyes y regulaciones emitidas por el estado para regular la calidad de variedades de plantas y semillas disponibles en el mercado.
- Análisis de cuatro celdas:** una herramienta participativa para evaluar el alcance y la distribución de la diversidad; ayuda a identificar variedades comunes, raras y únicas y proporciona información sobre las razones por las cuales algunas variedades están diseminadas y algunas están localizadas en la comunidad.
- Diversidad funcional:** el valor y el rango de los rasgos de las especies y organismos que influyen en el funcionamiento del ecosistema.
- Rasgos funcionales:** aquellos rasgos que definen a las especies en términos de sus roles ecológicos (cómo interactúan con el medio ambiente y con otras especies).
- Diversidad gamma:** una medida de la diversidad general de una región o paisaje.
- Roles de género:** comportamientos aprendidos que reflejan el condicionamiento social sobre qué actividades son más apropiadas para hombres y para mujeres.
- Cuello de botella genético:** la pérdida de riqueza de la diversidad después de una restricción repentina en el tamaño de la población, ya sea de corta o prolongada duración.
- Distancia genética:** una medida de la divergencia genética entre un par de poblaciones, basada en diferencias en rasgos fenotípicos, frecuencias de alelos o secuencias de ADN, o

combinaciones de estos datos.

Diversidad genética: la variabilidad genética entre o dentro de una muestra de individuos de una variedad, población o especie.

Elección de diversidad genética: opciones para el manejo de la diversidad de variedades utilizadas por los agricultores que afectan la evolución y la población sobreviviente del cultivo para la próxima temporada.

Deriva genética: cambios en la composición genética de poblaciones que ocurren debido al muestreo aleatorio en poblaciones pequeñas. Los efectos de la deriva (pérdida de alelos, variación en la frecuencia de alelos y divergencia de poblaciones) son más evidentes en poblaciones muy pequeñas.

Erosión genética: pérdida de diversidad genética entre y dentro de poblaciones de la misma especie a lo largo del tiempo, o reducción de la base genética de una especie debido tanto a la deriva como a la selección.

Heterogeneidad genética: la población consiste en individuos que difieren genéticamente, independientemente de si los genotipos son fenotípicamente distinguibles o no.

Homogeneidad genética: la población se compone de individuos que son iguales para una muestra específica de loci.

Polimorfismo genético: la aparición en un locus de más de un alelo donde la frecuencia de la forma más común es menor de 99 o 95 por ciento.

Recursos genéticos: germoplasma de plantas, animales u otros organismos que contienen una diversidad de caracteres útiles de valor real o potencial (IBPGR 1991).

Variación genética: diferencias en la secuencia de ADN entre individuos.

Selección genómica (GS): la mejora de los rasgos cuantitativos en el fitomejoramiento utilizando el genoma completo, los marcadores moleculares de alta densidad y la genotipificación de alto rendimiento.

Genotipo: la composición genética de una planta, compuesta de rasgos hereditarios.

Genotipado por secuenciación (GBS): un sistema altamente multiplexado para construir bibliotecas de representación reducida para una plataforma de secuenciación de próxima generación. Genera un gran número de polimorfismos de nucleótidos únicos (SNPs) para su uso en análisis genéticos.

Sistemas de información geográfica (GIS): un sistema de gestión de bases de datos que puede manejar simultáneamente datos espaciales en forma gráfica (por ejemplo, mapas o el “dónde”) y datos de atributos no espaciales relacionados, lógicamente adjuntos (es decir, las etiquetas y descripciones de las diferentes áreas o puntos dentro de un mapa, o el “qué”).

Indicación geográfica: una etiqueta utilizada en productos que tienen un origen geográfico específico y poseen cualidades y reputación que se deben a ese lugar de origen. Existen diferentes modalidades de indicaciones: indicaciones de origen geográfico, indicaciones geográficas protegidas, denominaciones de origen protegidas, apelación de origen y denominación de origen.

Germoplasma: material reproductivo de individuos, grupos de individuos o clones que representan genotipos, variedades, especies o cultivos, que se mantienen como accesiones en una colección in situ o ex situ.

Invernadero: un edificio diseñado para cultivar plantas bajo condiciones más protegidas o controladas y generalmente más cálidas que en un campo abierto. Las estructuras varían en tamaño, grado de control y materiales de recubrimiento (vidrio o plástico).

Ginodioecia: un dimorfismo sexual en el cual algunos individuos portan solo flores femeninas y los otros individuos portan flores bisexuales perfectas.

- Haploide:** de o perteneciente a una célula de un eucarionte que tiene un solo conjunto de cromosomas.
- Haplotipo:** una cierta combinación de alelos específicos en varios loci que se mantienen juntos dentro de un bloque de vinculación definido.
- Modelo de precio hedónico:** un enfoque analítico de la economía que implica estimar un precio para un bien que se basa tanto en sus características intrínsecas como en los aspectos externos del bien.
- Heredabilidad:** grado en que la variación fenotípica observada para un rasgo determinado en una población está controlada por la diversidad genética, que no se debe a la variación en factores ambientales o no genéticos.
- Hermafrodita:** una planta cuyas flores contienen tanto estambres como carpelos (órganos reproductores masculinos y femeninos).
- Heterocigoto:** un individuo con diferentes alelos para un gen o genes en particular.
- Variedad de alto rendimiento (HYV):** una variedad de cultivo desarrollada en programas modernos de mejoramiento para maximizar los rendimientos (a menudo en condiciones de altos insumos) a expensas de la diversidad o la adaptación ambiental local. Los proyectos de desarrollo agrícola promueven comúnmente las HYV, que a menudo se consideran amenazas para las variedades autóctonas localmente desarrolladas de la misma especie o para desplazar a otros cultivos tradicionales.
- Homólogo:** de la misma fuente o que tiene la misma función o estructura evolutiva. Para los cromosomas: idéntico con respecto al contenido de genes y el ordenamiento lineal como la base del apareamiento en la meiosis.
- Homocigosidad:** describe a un individuo que tiene el mismo alelo o secuencia de ADN para todas sus copias homólogas de un gen determinado en cromosomas homólogos.
- Mejoramiento horizontal:** selección para resistencia a enfermedades que no es específica de una raza y que se basa en la expresión de muchos genes (QTL).
- Humus:** materia orgánica acumulada en el suelo que ha sufrido descomposición y mineralización.
- Hipoxia:** baja tensión de oxígeno, que cambia la respiración de un organismo a vías anaeróbicas que inician cambios bioquímicos desfavorables.
- IFOAM:** Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica.
- Conservación in situ:** “La conservación de ecosistemas, hábitats naturales y procesos para mantener y recuperar poblaciones viables de especies en su entorno natural y, en el caso de especies domesticadas o cultivadas, en el entorno donde han desarrollado sus propiedades distintivas” (Reid y otros, 1993: 305); la conservación in situ de los recursos domesticados se centra en los campos de los agricultores como parte de los agroecosistemas existentes, mientras que otros tipos de conservación in situ se ocupan de las poblaciones de plantas silvestres que crecen en sus hábitats originales (reservas genéticas).
- Consanguíneo:** una planta con una biología reproductiva autocompatible que tiende a autopolinizarse con frecuencia; opuesto a exogamia.
- Depresión consanguínea:** la pérdida de capacidad física que resulta de los apareamientos entre individuos estrechamente relacionados en una población.
- Conocimiento Indígena (IK):** los conocimientos o tradiciones que existen en una comunidad local.
- Sistema informal de semillas:** un sistema de desarrollo de variedades vegetales, producción de semillas, comercialización e intercambio que no necesariamente cumple con las leyes y regulaciones emitidas por el estado para regular la calidad de las variedades de plantas y las semillas disponibles en el mercado.

Informática: la ciencia de la información y la computación en sistemas complejos con datos extensos. La informática de la biodiversidad es la aplicación de técnicas de informática a la información de biodiversidad para un mejor manejo, presentación, descubrimiento, exploración y análisis.

Inhibidor: cualquier sustancia u objeto que retrase una reacción química.

Inóculo: una pequeña porción de tejido cortada de un explante de un tejido u órgano, o una pequeña cantidad de materiales celulares de un cultivo en suspensión, transferidos a un medio nuevo para el crecimiento continuo del cultivo. En patología, es el material derivado del patógeno, como una suspensión de esporas que inicia la enfermedad en una planta previamente no infectada.

Hipótesis de seguro: los rasgos individuales pueden ser útiles en un momento posterior. Tener una variedad de especies y una mayor diversidad genética “asegura” un ecosistema contra las disminuciones en su funcionamiento frente a un rango de perturbaciones ambientales.

Introgresión: la transferencia de información genética de una especie a otra como resultado de la hibridación entre ellos y el retrocruzamiento repetido.

Isoenzimas: formas moleculares múltiples de una enzima. Las isoenzimas pueden codificarse mediante diferentes loci genéticos o por diferentes alelos en un locus. En este último caso, se denominan aloenzimas. Comparten la misma función, pero pueden diferir en el nivel de actividad como resultado de pequeñas diferencias en su secuencia de aminoácidos.

JPO: Oficina de Patentes de Japón.

Informante clave: experto local reconocido en un tema de encuesta.

Parentesco: conjunto de relaciones socialmente reconocidas entre individuos en una sociedad que están biológicamente relacionadas o que reciben el estatus de parientes por matrimonio, adopción u otro ritual.

Variedad local (también denominada, variedad tradicional, variedad del campesino o variedad popular): una variedad de cultivo, que a menudo alberga cierta variabilidad genética, pero con cierta integridad genética que ha evolucionado durante su cultivo, generalmente en un sistema agrícola tradicional durante largos períodos, y se ha adaptado a un ambiente o propósito local específico. Los agricultores reconocen sus características, seleccionan los rasgos que desean y generalmente le dan un nombre o nomenclatura significativa para su identificación.

Locus: la posición en un cromosoma donde reside un gen.

Ambiente de baja heredabilidad: ambiente donde el establecimiento de la adaptación de plántulas y variedades mejoradas es difícil debido a que los ambientes de cultivo y las condiciones ambientales son heterogéneas, como la imprevisibilidad o la incertidumbre en la distribución estacional.

Resistencia genética mayor: resistencia a enfermedades que se expresa como una respuesta cualitativa a patotipos específicos de razas del patógeno (específico de la raza) y está controlada por un número limitado y definido de genes individuales.

Proceso de Markov: un proceso aleatorio generalmente caracterizado como sin memoria: el siguiente estado depende únicamente del estado actual y no de la secuencia de eventos que lo precedió.

MAS (Selección Asistida por Marcadores): el uso de marcadores de ADN vinculados a rasgos específicos para mejorar la respuesta a la selección en una población.

Selección masal: la supervivencia de un grupo variable de poblaciones de genotipos mejor adaptados y la selección de semillas de un número de individuos adultos sobre la base

- de sus fenotipos individuales, a favor o en contra de rasgos particulares, para formar la próxima generación.
- Banco de conocimientos:** la recopilación y documentación del conocimiento de los agricultores para uso futuro; es una analogía del almacenamiento y la documentación de germoplasma en un banco de genes. El banco de conocimientos sirve para capturar y registrar las dimensiones culturales de la biodiversidad vegetal, incluidos nombres locales, tecnologías autóctonas y usos asociados con diferentes plantas y variedades que tradicionalmente han pasado de una generación a otra por medios orales, para el acceso y manejo por las comunidades locales.
- Metapoblación:** un grupo de poblaciones espacialmente separadas de la misma especie que interactúan en algún nivel. En particular, los elementos están sujetos a la extinción local y la recolonización por la migración desde otras poblaciones. Estos eventos estocásticos ocurren en frecuencias variables.
- Microarreglo:** un gran conjunto de moléculas de ADN clonadas, inmovilizadas como un patrón compacto y ordenado en manchas de sub-microlitros en una matriz sólida (típicamente un portaobjetos de vidrio).
- Micro-financiamiento:** generalmente se entiende como la prestación de servicios financieros a micro-empresarios y pequeñas empresas a nivel local, donde falta el acceso al banco y los servicios relacionados.
- Microsatélite:** un segmento de ADN caracterizado por un número variable de copias (típicamente 5-50) de una secuencia de alrededor de 5 bases o menos (llamada unidad repetida).
- Migración:** el movimiento de individuos de una población de una especie a otra. La migración da lugar al flujo de genes cuando los migrantes difieren en las frecuencias de los alelos de la población receptora.
- Población mínima viable:** el tamaño de una población requerida para asegurar su persistencia durante un período específico en algún nivel de probabilidad (por ejemplo, 95 por ciento).
- Cultivos menores:** incluyen aquellos que quedan fuera del grupo de cultivos importantes a nivel mundial que dominan los sistemas modernos de producción. Pueden estar distribuidos globalmente (como el alforfón), regionalmente significativos (como *Lathyrus sativus* en la India) o muy locales, como las raíces y tubérculos menores (por ejemplo, ulluco) de los Andes.
- Resistencia genética menor:** variación en la respuesta del huésped a la enfermedad que es atribuible a la acción combinada compleja de muchos genes menores. Las respuestas resistentes generalmente no son específicas de los patotipos.
- Mezclas:** mezclas de dos o más cultivares que varían para muchos caracteres, incluida la resistencia a enfermedades, pero que tienen suficiente similitud para crecer juntos.
- Variedad moderna (MV):** una variedad de cultivo desarrollada por los fitomejoradores modernos y que a menudo se extiende a otras regiones y países; sinónimo de variedad de alto rendimiento.
- Monocultivo:** un sistema de producción agrícola que cultiva y produce un cultivo completo que consiste en organismos genéticamente similares.
- Monoecia:** una especie de planta que tiene flores separadas masculinas y femeninas en la misma planta.
- ADNmt (ADN mitocondrial):** una molécula circular de ADN que se encuentra en las mitocondrias de las células.
- Multilínea:** una mezcla de líneas o variedades genéticamente similares que difieren princi-

palmente en su resistencia a diferentes cepas de patógenos.

Análisis de regresión múltiple: un método estadístico que pretende establecer una relación lineal entre una variable dependiente o respuesta, y diferentes factores independientes o predictivos.

Mutación: una fuente de nueva variación genética; es un cambio hereditario en la secuencia de nucleótidos de un gen o una alteración en la estructura del cromosoma.

Mutualismo: una interacción biótica de dos organismos que beneficia a ambos socios.

Selección natural: el proceso evolutivo en el que los organismos que están mejor adaptados a su entorno tienden a sobrevivir y producir más descendencia.

Cultivos desatendidos: cultivos que la agricultura moderna descuida en gran medida mientras siguen siendo importantes para las comunidades locales. Ejemplos de tales cultivos incluyen al tef de Etiopía o el fonio de África Occidental.

Índice de diversidad genética de Nei: la probabilidad promedio de que las copias homólogas combinadas de un locus genético seleccionado al azar de una población difieran, lo que corresponde a la heterocigosidad media esperada en una población diploide que se cruza al azar.

NGS (Secuenciación de Nueva Generación): un conjunto creciente de tecnologías (por ejemplo, 454, SOLiD, Illumina, Ion Torrent) que permiten la secuenciación de alto rendimiento en una escala de genoma completo que paraleliza el proceso de secuenciación, produciendo miles o millones de secuencias de ADN de una vez y requiriendo procedimientos bioinformáticos para analizar.

Nicho de mercado: el subconjunto o sección del mercado total en el que se enfoca un producto específico.

Eficiencia de utilización (o uso) de nitrógeno (NUE): el producto de la eficiencia de captación y la eficiencia de utilización; ayuda a determinar la capacidad de las plantas para producir en condiciones de bajo nitrógeno, y se mide por la relación entre el rendimiento de grano producido (específicamente la cantidad de nitrógeno exportado desde el campo) y el nitrógeno mineral disponible en el suelo y el fertilizante.

Agricultores nudos: los agricultores individuales de una comunidad o región que son importantes fuentes de semillas, información y experiencia sobre cultivos y variedades tradicionales y, por lo tanto, están vinculados de manera múltiple en una red.

Valor no comercial: el valor de un bien o servicio que no se refleja en, o no es capturado por, su precio en el mercado.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): un indicador gráfico utilizado para analizar las mediciones de detección remota, generalmente de los satélites, y evaluar si el objetivo que se observa contiene vegetación verde viva; si es así, el NDVI se usa para monitorear el crecimiento de las plantas, la cobertura y la producción de biomasa.

Embrión nucelar: una forma de apomixis en la cual un embrión se desarrolla vegetativamente del tejido somático que rodea el saco embrionario, en lugar de la fertilización del óvulo.

Conservación en fincas: un enfoque para la conservación in situ de los recursos genéticos, centrándose en la conservación de las especies de plantas cultivadas en los campos de los agricultores.

Polinización abierta: flores que son polinizadas por el viento, insectos u otros mecanismos naturales sin intervención humana, como barreras a la migración de polen, prevención de la autofertilización u otros procesos reproductivos.

Valor de opción: los beneficios que los consumidores futuros obtendrán de un bien o servicio mantenido en el presente.

Ordenamiento: el análisis de datos multivariados por cualquiera de varios métodos estadísticos que ordenan objetos para los cuales los valores de múltiples variables están disponibles, de modo que los objetos similares se encuentren cerca uno del otro, y los diferentes objetos se separan entre sí.

Agricultura orgánica: una forma de agricultura que depende de procesos ecológicos, biodiversidad y ciclos adaptados a las condiciones locales, en lugar del uso de insumos que arriesgan los efectos adversos. Según la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) promueve los cuatro principios de salud, ecología, equidad y cuidado. La agricultura orgánica utiliza fertilizantes y pesticidas, pero excluye o limita estrictamente el uso de fertilizantes (sintéticos), pesticidas (que incluyen herbicidas, insecticidas y fungicidas), reguladores del crecimiento de las plantas, hormonas y antibióticos para el ganado.

Semillas ortodoxas: semillas que se pueden secar y almacenar a bajas temperaturas durante un período prolongado, ideales para la conservación *ex situ* en un banco de germoplasma. Tales semillas típicamente han evolucionado en la naturaleza como propágulos para permanecer latentes y persistir naturalmente en el banco de semillas del suelo durante períodos prolongados.

Ajuste osmótico: la acumulación neta de solutos en una célula en respuesta a una caída en el potencial hídrico del entorno de la célula.

Fecundación cruzada: una planta con una biología reproductiva autoincompatible; opuesto a autopolinización.

Panmixia: el apareamiento aleatorio de individuos en una población.

Partenocarpia: el desarrollo de frutos sin fertilización.

Partenogénesis: reproducción unisexual, la producción de descendencia de un huevo que no ha sido fertilizado.

Observación participante: un método cualitativo de investigación de campo de ciencias sociales donde un investigador se une a los residentes locales en sus rutinas y actividades diarias y registra hallazgos basados en conversaciones informales con informantes y en la experiencia del investigador al intentar realizar las tareas o el trabajo en cuestión.

Diagnóstico participativo: un enfoque de investigación aplicada diseñado para obtener opiniones y participación de grupos de usuarios, hogares residenciales y otros actores locales para recopilar y analizar información sobre innovaciones tecnológicas, intervenciones de desarrollo o políticas propuestas de recursos o uso de la tierra que afectan a una comunidad o región.

Mejoramiento participativo de plantas (PPB): un programa de mejoramiento en el que mejoradores y agricultores colaboran estrechamente en todas sus fases (selección parental, hibridación, evaluación en fincas, selección) para desarrollar nuevas variedades con rendimiento y rasgos preferidos por los agricultores.

Selección participativa de variedades: la selección de líneas fijas (variedad estable de líneas liberadas, avanzadas o variedades tradicionales) por parte de los agricultores en sus entornos objeto utilizando sus propios criterios de selección.

Patogenicidad: la capacidad de un microbio para causar daño a la enfermedad en un huésped.

Pago por servicios ecosistémicos: incentivos de mercado destinados a motivar la conservación de los servicios ecosistémicos a través de cargos, permisos negociables, subsidios y reducciones de fricción en el mercado.

Fenotipo: la suma de las características físicas de una planta; el fenotipo de una planta es el resultado de la interacción entre rasgos genotípicos y condiciones ambientales.

- Plasticidad fenotípica:** la capacidad de un organismo para cambiar su fenotipo en respuesta a diferentes condiciones ambientales.
- Fotoperiodo:** la duración de la luz del día o el período de iluminación diaria proporcionado para el crecimiento y la señalización requerida de las etapas de desarrollo, como la iniciación floral.
- Filogenia:** la historia evolutiva de un grupo taxonómico de organismos; representado como un árbol de relaciones divergentes.
- Filogeografía:** el proceso histórico responsable de las distribuciones geográficas contemporáneas de organismos y especies basadas en las relaciones entre las genealogías genéticas de las especies vivientes y su ubicación geográfica.
- Fitolitos:** diminutas partículas calcáreas mineralizadas formadas en el tejido vegetal vivo.
- Derechos de obtentor (PBR):** también conocidos como derechos de obtenciones vegetales (PVR), son derechos otorgados al obtentor de una nueva variedad de planta de acuerdo con los cuales el obtentor tiene control sobre la explotación del material de propagación de dicha nueva variedad por un número de años.
- Ploidia:** el número de conjuntos completos de cromosomas por célula (por ejemplo, un conjunto = haploide, dos conjuntos = diploide, tres conjuntos = triploide).
- Reacción en cadena de la polimerasa (PCR):** un procedimiento de biología molecular que amplifica mediante duplicación repetida en secuencias de ADN específicas de ciclo, según lo determina la secuencia de ADN o la secuencia del cebador en cada extremo del blanco.
- Polimorfismo:** la ocurrencia en frecuencia apreciable en la misma población entrecruzada de dos o más clases genéticamente diferentes, comúnmente dos o más alelos en un solo locus.
- Población:** un grupo de individuos entrecruzados de una especie que ocupa un solo rango o localidad.
- Divergencia de la población:** proceso en el que dos o más poblaciones divergen en la frecuencia de los alelos y acumulan mutaciones genéticas independientes a lo largo del tiempo.
- Análisis espectral de potencia:** una herramienta estadística de análisis de series de tiempo para determinar las periodicidades dentro de los datos al dar una indicación de las diferentes frecuencias a lo largo del tiempo de variación, que explican la mayor parte de la variabilidad en los datos.
- Depredación:** cuando un organismo se beneficia al consumir los tejidos de otro, en particular, la herbivoría de las hojas o semillas de las plantas.
- Centros primarios de diversidad:** áreas de alta diversidad de una serie de especies de cultivos que a menudo son donde muchos cultivos parecen haber sido domesticados.
- Primer:** un oligonucleótido corto condensado a un modelo de un ADN monocatenario, que proporciona una estructura bicatenaria a partir de la cual la ADN polimerasa sintetizará una nueva cadena de ADN para producir una molécula dúplex.
- Análisis de componentes principales (PCA):** un procedimiento estadístico de ordenación que utiliza la transformación ortogonal para convertir un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables o componentes principales no correlacionados linealmente. El primer componente de este tipo representa la mayor variación en los datos como sea posible. Los primeros componentes determinan las coordenadas para el mapeo de los objetos medidos.
- Función de producción:** un modelo matemático que describe las ventajas y desventajas involucradas en la maximización de las posibilidades productivas de diferentes insumos

- para un objetivo particular (por ejemplo, rendimiento, ingreso familiar, mantenimiento de la diversidad de cultivos).
- Loci de caracteres cuantitativos (QTL):** genes múltiples que afectan a una expresión fenotípica de un rasgo continuo, típicamente un carácter medido.
- Dormancia:** una suspensión temporal o reducción en la tasa de actividad o crecimiento, mientras retiene el potencial para reanudar la actividad previa.
- Resistencia no específica a una raza:** también llamada resistencia horizontal, de genes menores, cuantitativa y de campo, la resistencia no específica a una raza a menudo es parcial y está controlada por QTL múltiples, lo que dificulta su incorporación a nuevas variedades.
- Resistencia específica a una raza:** otros nombres para resistencia específica a una raza son vertical, de genes mayores y resistencia cualitativa. La resistencia específica a una raza es la resistencia a ciertos patotipos del patógeno y la susceptibilidad a los demás. A menudo está controlada por uno o muy pocos loci en los que el alelo resistente es dominante.
- RAPD (Amplificación Aleatoria de Polimorfismo de ADN):** una técnica de genotipificación basada en PCR en la que los modelos genómicos se amplifican con cebadores únicos, cortos (generalmente de 10 meros) elegidos al azar.
- Semillas recalcitrantes:** semillas que mueren al secarse y, por lo tanto, no se almacenan fácilmente durante períodos prolongados. Las semillas de muchos cultivos tropicales son de esta naturaleza.
- Promedio recíproco:** también conocido como análisis de correspondencia, es una técnica de ordenación para datos multivariados y se relaciona con promedios ponderados y análogos a PCA.
- Experimento de trasplante recíproco:** un experimento en el que se introducen y prueban organismos de dos o más entornos en todos y cada uno de los entornos de origen. Por el contrario, un experimento de huerto común implica la prueba comparativa de todos los organismos en un ambiente uniforme.
- Recombinación:** un proceso relacionado necesariamente, pero no exclusivamente, con la meiosis, que produce una molécula de ADN recombinante con segmentos derivados de más de una molécula del ADN original.
- Análisis de regresión:** un método de análisis estadístico para determinar una relación lineal entre una variable dependiente o respuesta, y una variable predictiva o independiente.
- Servicios de regulación:** servicios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema, como la retención de carbono y la regulación del clima, el control de plagas y enfermedades, la regulación del agua y la polinización.
- Teledetección:** la ciencia de obtener información sobre un objeto mediante la adquisición de datos con un dispositivo generalmente lejano (aviones o satélites) del objeto de interés.
- Resiliencia:** la capacidad de un ecosistema o una especie para absorber o recuperarse de las perturbaciones.
- Endonucleasas de restricción:** enzimas que cortan el ADN bicatenario o monocatenario en sitios de reconocimiento específicos para producir fragmentos.
- Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (RFLP):** la variación de los fragmentos de ADN de diferente longitud producidos por la digestión de una muestra de ADN con una endonucleasa de restricción específica. El polimorfismo ocurre cuando los fragmentos homólogos difieren en tamaño y se segregan como alelos en un locus genético.
- Técnicas de preferencia reveladas:** enfoques para recopilar datos económicos que involucran el comportamiento observado por los informantes.

Riqueza: el número total de tipos distintos (alelos, genotipos, variedades o especies) presentes en una muestra o un área definida.

SCAR: región amplificada de secuencia caracterizada: un marcador molecular obtenido por la conversión a un sitio marcado con una secuencia de un solo producto de ADN polimórfico amplificado al azar.

Escisión: la porción viva separada de una planta (yema o brote) injertada en un patrón de otro genotipo. El patrón proporciona el sistema de raíces y el tronco principal de la planta adulta, y el injerto desarrolla el tallo superior, la canopia de hojas y el fruto.

Centros secundarios de diversidad: áreas de alta diversidad de especies de cultivos fuera de los lugares donde esas especies fueron originalmente domesticadas.

Feria de semillas: una feria especializada en semillas y normalmente organizada a nivel local o de aldea. Proporciona un mercado donde los comerciantes muestran sus productos y los compradores vienen a comprar.

Ley de semillas: conjunto de leyes y reglamentos emitidos por el estado para regular la calidad de las variedades de plantas y las semillas disponibles en el mercado.

Lote de semilla: la unidad física de semilla para una variedad dada que es seleccionada por un agricultor y sembrada durante la época de cultivo para reproducir esa variedad.

Selección: cualquier proceso, natural o artificial, que permita un aumento en la proporción de ciertos genotipos o grupos de genotipos en generaciones sucesivas, a expensas de otros genotipos; supervivencia diferencial y reproducción de genotipos.

Autofértil: una variedad o especie en la que las plantas individuales pueden producir descendencia viable a partir de la fertilización de sus óvulos por medio de su propio polen.

Entrevistas semiestructuradas: una herramienta interactiva de recopilación de datos para investigación social mediante la cual el investigador hace un bosquejo de antemano de preguntas clave y puntos de referencia que serán cubiertos en una entrevista con un encuestado, pero también permite que la entrevista se mueva en direcciones imprevistas a medida que surgen nuevas informaciones y puntos de vista durante la entrevista.

Secuencia: el orden lineal de los nucleótidos a lo largo de una molécula de ADN o ARN, y el proceso mediante el cual se obtiene.

Precio sombra: el valor no observado de un bien o servicio, distinto del precio de mercado.

Índice de diversidad de Shannon: cuantifica la diversidad como la entropía, o el grado de incertidumbre, al predecir el tipo del siguiente elemento que se va a muestrear, en función de la información que ya está en la muestra. La idea es que cuanto más ricos o más numerosos sean los alelos o los tipos que se muestrean, y cuanto más pares sean en frecuencia, más difícil será predecir correctamente el tipo del siguiente objeto de muestra.

Desgrane: la capacidad natural de las semillas para desprenderse fácilmente de la mazorca, la panícula, la legumbre u otra estructura a la que están unidas a medida que maduran en la planta.

Cultivo migratorio: un sistema agrícola en el cual las parcelas de tierra se cultivan temporalmente, luego se abandonan y se les permite volver a su vegetación natural mientras el agricultor se muda a otra parcela.

Índice de dominancia de Simpson: una medida de concentración cuando los individuos en una muestra se clasifican en tipos. Es la probabilidad de que dos individuos muestreados pertenezcan al mismo tipo o sean idénticos.

Polimorfismo de nucleótido único (SNP): un marcador genético resultante de la variación en la secuencia en una posición particular dentro de una secuencia de ADN, cuando un único nucleótido (A, T, G o C) en el genoma difiere entre los miembros de una especie o pares de cromosomas.

- Muestreo de bola de nieve:** método de muestreo de investigación social mediante el cual se pide a los informantes iniciales que sugieran a otras personas u hogares que realicen encuestas, y estas personas a su vez sugieren aún más informantes, hasta que se logre el tamaño de muestra deseado de los encuestados.
- Capital social:** la capacidad de las personas para desarrollar, acceder y utilizar redes sociales en una comunidad o sociedad.
- Institución social:** un complejo de posiciones, roles, normas y valores que se alojan en tipos particulares de estructuras sociales y que organizan patrones relativamente estables de actividad humana con respecto a problemas fundamentales para producir recursos que sostienen la vida en individuos reproductores, y para sostener estructuras sociales viables dentro de un ambiente dado.
- Análisis de redes sociales:** análisis metodológico de las relaciones sociales basado en la teoría de redes.
- Horizonte del suelo:** las capas paralelas a la superficie del suelo que constituyen un perfil del suelo y que difieren en color, textura y otras propiedades del suelo.
- Variación somaclonal:** cambios epigenéticos o genéticos inducidos durante la fase de callo de células vegetales cultivadas in vitro; a veces visible como fenotipo modificado en plantas regeneradas a partir del cultivo.
- Especies:** un grupo de individuos que se cruzan de manera real o potencial que están aislados reproductivamente de otros grupos similares, comparten un ancestro común más recientemente que con individuos de especies relacionadas, y tienen una ecología y morfología similares. Los criterios para la delimitación de especies no siempre son claros, ya que la especiación es un proceso evolutivo continuo.
- Diversidad de especies:** el número y la frecuencia de las especies, generalmente medidos a nivel de una comunidad ecológica.
- SSCP (Polimorfismo de Conformación de Cadena Simple):** diferencias en la secuencia de nucleótidos de fragmentos homólogos de ADN monoestable detectados por gel de electroforesis.
- SSR (repetición de secuencia simple):** ver microsatélites; secuencias repetitivas cortas de dos a seis pares de bases de ADN. Dichas secuencias tienden a ser polimórficas en poblaciones y, por lo general, co-dominantes, por lo que son marcadores útiles.
- Técnicas de preferencia declarada:** enfoques para recopilar datos económicos que se basan en declaraciones de comportamiento hipotético por parte de los encuestados.
- Eventos estocásticos:** eventos aleatorios e impredecibles, como episodios de cambios abióticos o bióticos que son una desviación significativa de las condiciones ambientales normales.
- Estratificación:** método de diseño de investigación mediante el cual se recopilan datos de diferentes grupos o estratos de encuestados en una muestra, identificados por variables sociales, culturales y ambientales.
- Sistema sui generis:** cuando se aplica a la protección de variedades vegetales se refiere al conjunto de leyes y reglamentos emitidos para proteger las obtenciones vegetales como un tema particular de la propiedad intelectual.
- Servicios de apoyo:** ver servicios ecosistémicos; incluyen el ciclo hidrológico, el ciclo de nutrientes del suelo y la formación del suelo.
- Instrumento de encuesta:** un cuestionario alta y relativamente estructurado, que consiste en preguntas estandarizadas, que se completa en entrevistas personales con una muestra de encuestados.
- Sostenibilidad, sensus rendimiento sostenible (Gliessman 2007):** la condición de po-

der cosechar biomasa de un sistema a perpetuidad porque la capacidad del sistema para renovarse el mismo o para renovarse no se ve comprometida.

Cultivo temporal: un sistema agrícola bajo el cual las parcelas de campo se rotan en un sistema de barbecho largo, con uno a tres años de cultivo seguido de períodos de barbecho de longitud suficiente para permitir el rebrote del bosque secundario en el sitio.

Macollamiento: la formación de varios brotes del tallo de una planta herbácea individual.

Análisis de series de tiempo: el análisis de una secuencia de valores de datos estimados en puntos sucesivos en el tiempo y espaciados en intervalos de tiempo regulares. El análisis extrae estadísticas significativas, estima la autocorrelación y detecta tendencias para permitir la predicción de patrones futuros en función de un modelo que genere valores observados en el pasado.

Valor económico total: la suma total de los valores de uso y no uso de un bien o servicio, incluidos los beneficios directos e indirectos.

Conocimiento Ecológico Tradicional (TEK): visto como el recuerdo de la dinámica humano-ambiental en los sistemas socio-ecológicos. Mientras más tiempo tenga esta memoria, más se puede esperar que el conocimiento ecológico tradicional refleje las complejidades de las interacciones socio-ecológicas y facilite la adaptación de las comunidades a los cambios en los ecosistemas circundantes.

Varietal tradicional (sinónimo de variedad local): una variedad de cultivo, que a menudo alberga cierta variabilidad genética, aunque posee una cierta integridad genética, que ha evolucionado en el cultivo, generalmente en un sistema agrícola tradicional durante largos períodos, y se ha adaptado a un entorno o propósito local específico. Los agricultores reconocen sus características, seleccionan los rasgos que desean y generalmente le dan un nombre o nomenclatura significativa para su identificación.

Costos de transacción: los costos incurridos en la compra y venta de un bien o servicio, por encima del precio del mercado.

TRIPS: Acuerdo de la Organización Mundial del Comercio sobre los Aspectos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio.

Cultivos subutilizados: aquellos cultivos que tienen potencial de expansión pero que, por algún motivo, no están adaptados a la agricultura moderna o las prácticas actuales de producción o comercialización.

UPOV: Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales.

USPTO: Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos.

Función de utilidad: un modelo matemático que mide los beneficios o la conveniencia de un bien o servicio, y define cómo maximizar el valor que genera.

Análisis de cadena de valor: un enfoque analítico que identifica cómo un bien agrega valor a medida que se mueve del productor a través de uno o más intermediarios hasta que llega al consumidor y finalmente se elimina después del uso.

Varietal: una subdivisión taxonómica infraespecífica de una especie que comprende poblaciones o individuos que se reproducen de forma selectiva o de origen natural y que difieren del resto de las especies en caracteres distintos pero menores; el término “cultivar” es un sinónimo de especie domesticada.

Pureza varietal: una propiedad de una variedad de cultivo que se considera necesaria para la comercialización, por lo que carece de genotipos considerados fuera de tipo o contaminantes, y su semilla conserva los caracteres varietales y se reproduce según el tipo.

VCU: valor de cultivo y uso.

Vector: un organismo vivo que transporta y transmite un agente infeccioso de un parásito o patógeno de un individuo huésped a otro.

- Propagación vegetativa:** reproducción de una planta a través de partes vegetativas genéticamente idénticas, tales como tubérculos, cormos, brotes, estolones o esquejes de tallos, en lugar de a través de semillas (también conocida como propagación clonal).
- Vernalización:** el enfriamiento de semillas germinadas o plantas juveniles durante un período mínimo para inducir la floración.
- Mejoramiento vertical:** el mejoramiento para la resistencia a enfermedades que selecciona genes importantes que condicionan la resistencia a patotipos específicos (por ejemplo, genes de resistencia procedentes de especies silvestres relacionadas), prestando poca atención a la resistencia de genes menores.
- Virulencia:** la capacidad promedio de una población de patógenos para superar la diversidad de genes de resistencia presentes en una población huésped y causar enfermedad.
- Vulnerabilidad:** grado en que un sistema es susceptible o no puede hacer frente a los efectos adversos del cambio en su entorno abiótico o biótico.
- Maleza:** una planta invasora que crece espontáneamente donde no es deseada y en competencia con las plantas cultivadas o en detrimento de la biodiversidad natural local.
- Pariante silvestre:** una especie no cultivada que está más o menos estrechamente relacionada con una especie domesticada. Es normal que no se use directamente en la agricultura, pero puede ocurrir en ecosistemas agrícolas y sirve como fuente de genes útiles. La categoría incluye el progenitor evolutivo directo del cultivo, así como especies menos relacionadas, pero generalmente congénicos en el mismo género.

Referencias

- Agarwal, A. 2010. "Current trends in the evolutionary ecology of plant defence." *Functional Ecology* 25:420–32.
- Albu, M., y A. Griffith. 2005. *Mapping the Market: A Framework for Rural Enterprise Development Policy and Practice*. Practical Action (Formerly ITDG), Rugby, UK.
- Allard, R. W. 1999. *Principles of Plant Breeding*, 2da ed. John Wiley.
- Allard, R. W., y J. Adams. 1969. "Population studies in predominately self-pollinating species. XIII. Intergenotypic competition and population structure in barley and wheat." *American Naturalist* 103:621–45.
- Allen, D. J., J. M. Lenne, y J. M. Walker. 1999. "Pathogen biodiversity: its nature, characterization and consequences." Pp. 123–53 in *Agrobiodiversity: Characterization, Utilization and Management* (D. Wood y J. Lenne, Eds.). CAB International, Wallingford.
- Almekinders, C. J. M., R. Cavatassi, F. Terceros, R. P. Romero, y L. Salazar. 2010. "Potato seed supply and diversity: dynamics of local markets of Cochabamba Province, Bolivia—a case study." Pp. 75–94 en *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, and T. J. Dalton, Eds.). FAO, Rome/Earthscan, London.
- Almekinders, C. J. M., y W. de Boeuf. 2000. *Encouraging Diversity: The Conservation and Development of Plant Genetic Resources*. Intermediate Technology Publications, Rugby, UK.
- Almekinders, C. J. M., J. Hardon con A. Christink, S. Humphries, D. Pelegrina, B. Sthapit, R. Vernooy, B. Visser, y E. Weltzien. 2006. "Bringing farmers back into breeding. Experiences with PPB and challenges for institutionalisation." *Agro Special* 5:85–200, Agromisa, Wageningen.

- Altieri, M. A., y L. C. Merrick. 1987. "In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems." *Economic Botany* 41:86–96.
- Anderson, C. L., L. Lipper, T. J. Dalton, M. Smale, J. Hellin, T. Hodgkin, C. Almekinders, P. Audi, M. R. Bellon, R. Cavatassi, L. Diakite, R. Jones, E. D. I. Oliver King, A. Keleman, M. Meijer, T. Osborn, L. Nagarajan, A. Paz, M. Rodriguez, A. Sidibe, L. Salazar, J. van Heerwaarden, y P. Winters. 2010. "Project methodology: using markets to promote the sustainable utilization of crop genetic resources." Pp. 31–48 en *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, y T. J. Dalton, Eds.). FAO, Rome/Earthscan, London.
- Arias, L., J. Chavez, V. Cob, L. Burgos, y J. Canul. 2000. "Agromorphological characters and farmer perceptions: data collection and analysis. Mexico." Pp. 95–100 en *Conserving Agricultural Biodiversity In situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture* (D. Jarvis, B. Sthapit, y L. Sears, Eds.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Armstrong, P. R., K. J. Gaston, N. D. Hanley, y R. J. Ruffell. 2009. "Contrasting approaches to statistical regression in ecology and economics." *Journal of Applied Ecology* 46:265–68.
- Arnason, J. T., B. Baum, J. Gale, et al. 1994. "Variation in resistance of Mexican landraces of maize to maize weevil, *Sitophilus zeamais*, to taxonomic and biochemical parameters." *Euphytica* 74:227–36.
- Arslan, A., y J. E. Taylor. 2009. "Farmers' subjective valuation of subsistence crops: the case of traditional maize in Mexico." *American Journal of Agricultural Economics* 91:956–72.
- Atkinson, N. J., y P. E. Unwin. 2012. "The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field." *Journal of Experimental Botany* 63:3523–43.
- Aubertin, C., F. Pinton, y V. Boisvert, Eds. 2007. *Les marchés de la biodiversité*. IRD, Orstom.
- Ayadi, S., C. Karmous, Z. Hammami, N. Tamani, Y. Trifa, S. Esposito, y S. Rezgui. 2012. "Genetic variability of nitrogen use efficiency components in Tunisian improved genotypes and landraces of durum wheat." *Agricultural Science Research Journal* 2:591–601.
- Babcock, B. A., E. Lichtenberg, y D. Zilberman. 1992. "Impact of damage control and quality of output: estimating pest control effectiveness." *American Journal of Agricultural Economics* 74:163–72.
- Badstue, L. B., M. Bellon, J. Berthaud, A. Ramirez, D. Flores, y X. Juarez. 2007. "The dynamics of seed flow among maize growing small-scale farmers in the central valleys of Oaxaca, Mexico." *World Development* 35:1579–93.
- Bai, Y., y P. Lindhout. 2007. "Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future?" *Annals of Botany* 100:1085–94.
- Bailey-Serres, J., y L. A. C. J. Voesenek. 2008. "Flooding stress: acclimations and genetic diversity." *Annual Review of Plant Biology* 59:313–39.

- Bajracharya, J., K. A. Steele, D. I. Jarvis, B. R. Sthapit, y J. R. Witcombe, 2005. "Rice landrace diversity in Nepal: variability of agro-morphological traits and SSR markers in landraces from a high-altitude site." *Field Crops Research* 95:327–35.
- Baldwin, J. F. 1981. "Fuzzy logic and fuzzy reasoning." En *Fuzzy Reasoning and Its Applications* (E. H. Mamdani y B. R. Gaines, Eds.). Academic Press, London.
- 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." Pp. 171–75 en *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, Proceedings of a national workshop. NARC/LIBIRD/IPGRI.
- Barnaud, A., M. Deu, E. Garine, J. Chantreau, J. Bolteu, E. O. Koïda, D. McKey, y H. Joly. 2009. "A weed-crop complex in sorghum: the dynamics of genetic diversity in a traditional farming system." *American Journal of Botany* 96:1869–79.
- Barnaud, Adeline, Monique Deu, Eric Garine, Doyle McKey, y Hélène I. Joly. 2007. "Local genetic diversity of sorghum in a village in northern Cameroon: structure and dynamics of landraces." *Theoretical and Applied Genetics* 114:237–48.
- Barry, M. B., J.-L. Pham, S. Béavogui, A. Ghesquière, y N. Ahmadi. 2008. "Diachronic (1979–2003) analysis of rice genetic diversity in Guinea did not reveal genetic erosion." *Genetic Resources and Crop Evolution* 55:723–33.
- Beierle, T. C. 2002. "The quality of stakeholder-based decisions." *Risk Analysis* 22:739–49.
- Bela, G., B. Balazs, y G. Pataki. 2006. "Institutions, stakeholders and the management of crop biodiversity on Hungarian family farms." Pp. 251–69 en *Valuing Crop Biodiversity, on Farm Genetic Resources and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Bellon, M. R., y J. Hellin. 2010. "Planting hybrids, keeping landraces: agricultural modernization and tradition among small-scale maize farmers in Chiapas, Mexico." *World Development* 39:1434–43.
- Bellon, M. R., y J. Risopoulos. 2001. "Small-scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: a case study from Chiapas, Mexico." *World Development* 29:799–811.
- Bellon, M. R., y J. E. Taylor. 1993. "'Folk' soil taxonomy and the partial adoption of new seed varieties." *Economic Development and Cultural Change* 41:763–86.
- Benin, S., M. Smale, y J. Pender. 2006. "Explaining the diversity of cereal crops and varieties grown on household farms in the highlands of northern Ethiopia." Pp. 78–96 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Benin, S., M. Smale, J. Pender, B. Gebremehdin, y S. Ehui. 2004. "The economic determinants of cereal crop diversity on farms in the Ethiopian highlands." *Agricultural Economics* 31:197–208.

- Bentley, J. W., E. R. Boa, P. Kelly, M. Harun-Ar-Rashid, A. K. M. Rahman, F. Kabeere, y J. Herbas. 2009. "Ethnopathology: local knowledge of plant health problems in Bangladesh, Uganda and Bolivia." *Plant Pathology* 58:773–81.
- Berkes, F. 2008. *Sacred Ecology*. Routledge, New York.
- Berkes, F., J. Colding, y C. Folke. 2000. "Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management." *Ecological Applications* 10:1251–62.
- Bezançon, G., J.-L. Pham, M. Deu, Y. Vigouroux, F. Sagnard, C. Mariac, I. Kapran, A. Mamadou, B. Gerard, J. Ndjeunga, y J. Chantreau. 2009. "Changes in the diversity and geographic distribution of cultivated millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties in Niger between 1976 and 2003." *Genetic Resources and Crop Evolution* 56:223–36.
- Biggs, S. 1990. "A multiple source of innovation model of agricultural research and technology promotion." *World Development* 18:1481–99.
- Birol, E. 2004. "Valuing Agricultural Biodiversity on Home Gardens in Hungary: An Application of Stated and Revealed Preference Methods." PhD dissertation, University of London.
- Birol, E., A. Kontoleon, y M. Smale. 2006. "Farmer demand for agricultural biodiversity in Hungary's transition economy: a choice experiment approach." Pp. 32–47 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Birol, E., E. R. Villaba, y M. Smale. 2009. "Farmer preferences for milpa diversity and genetically modified maize in Mexico: a latent class approach." *Environment and Development Economics* 14:521–40.
- Blum, A. 2004. "The physiological foundation of crop breeding for stress environments." Pp. 456–58 en *Proceedings of a World Rice Research Conference*, Tsukuba, Japan, November 2004. International Rice Research Institute, Manila, The Philippines.
- . 2011a. *Plant Breeding for Water Limited Environments*. Springer-Verlag, New York.
- . 2011b. "Drought resistance—is it really a complex trait?" *Functional Plant Biology* 38:753–57.
- Bocci, R., y V. Chablé. 2009. "Peasant seeds in Europe: stakes and prospects." *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 17:81–93.
- Bonan, G. B. 2008. *Ecological Climatology*, 2da ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bonifacio, A. 2006. "Frost and hail tolerance in quinoa crop and traditional knowledge to handle these adverse factors." Pp. 68–71 en *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, y L. Sears, Eds.). Proceedings of an IPGRI Workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.

- Bousset, L., y A. M. Chèvre. 2013. "Stable epidemic control in crops based on evolutionary principles: Adjusting the metapopulation concept to agro-ecosystems." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 165:118–29.
- Bromley, D. J. 1991. *Environment and Economy: Property Rights and Public Policy*. Basil Blackwell, New York.
- Brown, A. H. D. 2008. "Indicators of genetic diversity, genetic erosion and genetic vulnerability for plant genetic resources for food and agriculture." *Thematic Background Study, State of Worlds Plant Genetic Resources*. FAO, Rome. <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e20.pdf>.
- . 2012. "The disease damage, genetic diversity, genetic vulnerability diagram— some reflections." Pp. 318–29 en *Damage, Diversity and Genetic Vulnerability: The Role of Crop Genetic Diversity in the Agricultural Production System to Reduce Pest and Disease Damage*, Proceedings of an international symposium, 15–17 February 2011, Rabat, Morocco (D. I. Jarvis, C. Fadda, P. De Santis, y J. Thompson, Eds.). Bioersivity International, Rome Italy.
- Brown, A., y L. Rieseberg. 2006. "Genetic features of populations from stressprone environments." Pp. 2–10 en *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, y L. Sears, Eds.). Proceedings of an IPGRI Workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Browning, J. A. 1997. "A unifying theory of the genetic protection of crop plant populations from diseases." En *Disease Resistance from Crop Progenitors and Other Wild Relatives* (I. Wahl, G. Fischbeck, y J. A. Browning, Eds.). Springer Verlag, Berlin.
- Brugarolas, M., L. Martínez-Carrasco, A. Martínez-Poveda, y J. J. Ruiz. 2009. "A competitive strategy for vegetable products: traditional varieties of tomato in the local market." *Spanish Journal of Agricultural Research* 7:294–304.
- Brush, S. 1995. "In situ conservation of landraces in centres of crop diversity." *Crop Science* 35:346–54.
- . 2000. "Ethnoecology, biodiversity and modernization in Andean potato agriculture." Pp. 283–306 en *Ethnobotany: A Reader* (P. Minnis, Ed.). University of Oklahoma Press, Oklahoma.
- 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* 9:1189–98.
- Brush, S. B., y H. R. Perales. 2007. "A maize landscape: ethnicity and agro- biodiversity in Chiapas Mexico." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:211–21.
- Brush, S. B., J. E. Taylor, y M. R. Bellon. 1992. "Technology adoption and biological diversity in Andean potato agriculture." *Journal of Development Economics* 39:365–87.
- Buddenhagen, I. W. 1983. "Breeding strategies for stress and disease resistance in developing countries." *Annual Review of Phytopathology* 21:385–410.

- Bunce, J. A. 2008. "Contrasting responses to elevated carbon dioxide under field conditions within *Phaseolus vulgaris*." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128:219–24.
- Burger, J. C., M. A. Chapman, y J. M. Burke. 2008. "Molecular insights into the evolution of crop plants." *American Journal of Botany* 95:113–22.
- Cabello, R., F. De Mendiburu, M. Bonierbale, P. Monneveux, W. Roca, y E. Chujoy. 2012. "Large-scale evaluation of potato improved varieties, genetic stocks and landraces for drought tolerance." *American Journal of Potato Research* 89:400–10.
- Cairns, M., y D. P. Garrity. 1999. "Improving shifting cultivation in Southeast Asia by building on indigenous fallow management strategies." *Agroforestry Systems* 47:37–48.
- Calderone, N. W. 2012. "Insect Pollinated Crops, Insect Pollinators and US Agriculture: Trend Analysis of Aggregate Data for the Period 1992–2009." *PLoS ONE* 7:e37235.
- Caneva, G. 1992. *il Mondo di Cerere nella Loggoia di Psiche*. Fratelli Palombi Editori, Roma.
- Carpenter, S. R., y W. A. Brock. 2008. "Adaptive capacity and traps." *Ecology and Society* 13:40.
- Carrasco-Tauber, C., and L. J. Moffitt. 1992. "Damage control econometrics: functional specification and pesticide productivity." *American Journal of Agricultural Economics* 74:158–62.
- Causton, David R. 1988. *An Introduction to Vegetation Analysis*. Unwin Hyman, London.
- Cavatassi, R., L. Lipper, y U. Narloch. 2011. "Modern variety adoption and risk management in drought prone areas: insight from the sorghum farmers of Eastern Ethiopia." *Agricultural Economics* 42:279–92.
- Caviglia, J. L. y J. R. Kahn. 2001. "Diffusion of sustainable agriculture in the Brazilian tropical rain forest: a Discrete Choice Analysis." *Economic Development and Cultural Change* 49:311–33.
- Ceccarelli, S. 1994. "Specific adaptation and breeding for marginal conditions." *Euphytica* 77:205–19.
- . 2009. "Evolution, plant breeding and biodiversity." *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 103:131–45.
- Ceccarelli, S., y S. Grando. 2005. "Decentralized-Participatory Plant Breeding: A Case from Syria." Pp. 193–99 en *Participatory Research and Development for Sustainable Agriculture and Natural Resource Management*. Volumen 1 (J. Gonsalves, T. Becker, A. Braun, D. Campilan, H. De Chavez, E. Fajber, M. Kapiriri, J. Rivaca-Caminade, y R. Vernoooy, Eds.). IDRC, Ottawa.
- Ceccarelli, S., S. Grando, E. Bailey, A. Amri, M. El-Felah, F. Nassif, S. Rezgui, y A. Yahyaoui. 2001. "Farmer participation in barely breeding in Syria, Morocco and Tunisia." *Euphytica* 122:521–36.
- Ceccarelli, S., et al. 2003. "A methodological study on participatory barley breeding. II. Response to selection." *Euphytica* 133:185–200.

- Chablé, V., M. Conseil, E. Serpolay, y F. Le Lagadec. 2008. "Organic varieties for cauliflowers and cabbages in Brittany: from genetic resources to participatory plant breeding." *Euphytica* 164:521–29.
- Chacón, S. M. I., B. Pickersgill, y D. G. Debouck. 2005. "Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races." *Theoretical and Applied Genetics* 110:432–44.
- Chambers, K. J., y S. B. Brush. 2010. "Geographic influences on maize seed exchange in the Bajío, Mexico." *Professional Geographer* 62:305–22.
- Chavez-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 [Diversity analysis of an *in situ* conservation project in Mexico]." En *Proceedings of the XII Scientific Seminar*, Noviembre 14–17, 2000, Havana, Cuba.
- 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.
- Cororaton, C., y E. Corong. 2000. "Philippine agricultural and food policies: implications for poverty and income distribution." *IFPRI Research Report* 161, Washington, DC. Retrieved from <http://www.ifpri.org/publication/philippine-agricultural-and-food-policies>.
- Crosby, A. 2003. *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492*. Praeger Publishers, Westport.
- Dalton, T. J., C. L. Anderson, L. Lipper, y A. Keleman. 2010. "Markets and access to crop genetic resources." Pp. 2–30 en *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, y T. J. Dalton, Eds.). FAO, Rome/Earthscan, London.
- 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* 44:101–8.
- David, C. C. 2007. "Philippine hybrid rice program: a case for redesign and scaling down." *Research Paper Series No. 2006-03*, Philippine Institute of Development Studies. Philippines Development, Manila.
- Davis-Case, D. 1990. *The Community's Tool Box: The Idea, Methods, and Tools for Participatory Assessment, Monitoring, and Evaluation in Community Forestry*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Dawson, J. C., y I. Goldringer. 2012. "Breeding for genetically diverse populations: variety mixtures and evolutionary populations." Pp. 77–98 en *Organic Crop Breeding* (E. T. Lammerms van Bueren y J. R. Myers, Eds.). Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- de Haan, S., y H. Juárez. 2010. "Land use and potato genetic resources in Huancavelica, central Peru." *Journal of Land Use Science* 5:179–95.

- De Mita, S., A.-C. Thuillet, L. Gay, N. Ahmadi, S. Manel, J. Ronfort, y Y. Vigouroux. 2013. "Detecting selection along environmental gradients: analysis of eight methods and their effectiveness for outbreeding and selfing populations." *Molecular Ecology* Doi 10.1111/mec.12182.
- Deu, M., F. Sagnard, J. Chanterreau, C. Calatayud, Y. Vigouroux, J.-L. Pham, C. Mariac, I. Kapran, A. Mamadou, B. Gérard, J. Ndjeung, y G. Bezançon. 2010. "Spatio-temporal dynamics of genetic diversity in *Sorghum bicolor* in Niger." *Theoretical and Applied Genetics* 120:1301–13.
- De Vaus, D. 2013. *Surveys in social research*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.
- Development Fund. 2011. *Banking for the Future: Savings, Security and Seeds*. The Development Fund, Oslo.
- Diaz, S., y S. Cabido. 2001. "Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes." *Trends in Ecology and Evolution* 16:646–55.
- Di Falco, S., y J. P. Chavas. 2006. "Rainfall shocks, resilience and the dynamic effects of crop biodiversity on the production of agroecosystems." Paper presented at the 8th International BIOECON Conference, Economic Analysis of Ecology and Biodiversity, Kings College, Cambridge, UK, August 29–30, 1999.
- Di Falco, S., J. P. Chavas, y M. Smale. 2006. "Farmer management of production risk on degraded lands: the role of wheat genetic diversity in Tigray region, Ethiopia." *IFPRI-EPT Discussion Paper* 153. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- . 2007. "Farmer management of production risk on degraded lands: the role of wheat variety diversity in the Tigray Region, Ethiopia." *Agricultural Economics* 36:147–56.
- Di Falco, S., y C. Perrings. 2006. "Cooperatives, wheat farming and crop productivity in southern Italy." Pp. 270–79 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Dileone, J. A., y C. C. Mundt. 1994. "Effect of wheat cultivar mixtures on populations of *Puccinia striiformis* races." *Plant Pathology* 43:917–30.
- Dinis, I., O. Simoes, y J. Moreira. 2011. "Using sensory experiments to determine consumers' willingness to pay for traditional apple varieties." *Spanish Journal of Agricultural Research* 9:351–62.
- Dobuzinkis, L. 1992. "Modernist and postmodernist metaphors of the policy process: control and stability vs chaos and reflexive understanding." *Policy Science* 25:355–80.
- Dodig, D., M. Zoric', V. Kandic, D. Perovic, y G. Šurlan-Momirovic. 2012. "Comparison of responses to drought stress of 100 wheat accessions and landraces to identify opportunities for improving wheat drought resistance." *Plant Breeding* 131:369–79.
- Doing, L. B. Y. 2011. *Farmer Field Schools*. http://www.bangladesh.ipm-info.org/library/documents/aec_ffs_process_documentation.pdf.

- Döring, T. F., S. Knapp, G. Kovacs, K. Murphy, y M. S. Wolfe. 2011. "Evolutionary plant breeding in cereals—into a new era." *Sustainability* 3:1944–71.
- Döring, T. F., M. Pautasso, M. R. Finckh, y M. S. Wolfe. 2012. "Concepts of plant health—reviewing and challenging the foundations of plant protection." *Plant Pathology* 61:1–15.
- Dossou, B., D. Balma, y M. Sawadogo. 2004. "Le rôle et la participation des femmes dans le processus de la conservation in situ de la biodiversité biologique agricole au Burkina Faso." Pp. 38–44 en *La gestion de la diversité des plantes agricoles dans les agro-écosystèmes*, Compte-Rendu des Travaux d'un Atelier Abrité par CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso, 27–28 Décembre, 2002 (D. Balma, B. Dossou, M. Sawadogo, R. G. Zangre, J. T. Ouédraogo, y D. I. Jarvis, Eds.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome. (in French).
- Dove, M. R. 1999. "The agronomy of memory and the memory of agronomy: ritual conservation of archaic cultigens in contemporary farming systems." Pp. 45–70 en *Ethnoecology: Situated Knowledge/Located Lives* (V. D. Nazarea, Ed.). University of Arizona Press, Tucson.
- Dubcovsky, J., y J. Dvorak. 2007. "Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication." *Science* 316:1862.
- Du Bois, M., et al. 2008. *The World of Soy*. University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Duc, G., S. Bao, M. Baum, et al. 2010. "Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources." *Field Crops Research* 115:270–78.
- Edmeades, S., M. Smale, y D. Karamura. 2006. "Demand for cultivar attributes and the biodiversity of bananas on farms in Uganda." Pp. 97–118 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Egan, A. N., J. Schleuter, y D. M. Spooner. 2012. "Applications of next-generation sequencing in plant biology." *American Journal of Botany* 99:175–85.
- Engelmann, F. 1997. "In vitro germplasm conservation." Pp. 41–48 en *International Symposium on Biotechnology of Tropical and Subtropical Species, Brisbane, Queensland, Australia, 29 September–3 October 1997* (R. A. Drew, Compiler/Editor). ISHS *Acta Horticulturae* 461.
- Erickson, D. L., B. D. Smith, A. C. Clarke, D. H. Sandweiss, y N. Tuross. 2006. "An Asian origin for a 10,000-year-old domesticated plant in the Americas." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102:18315–20.
- European Patent Office. 2009. *Guidelines for the Examination in the European Patent Office*. EPO, The Hague.
- Eyzaguirre, P., y E. M. Dennis. 2007. "The impact of collective action and property rights on plant genetic resources." *World Development* 35:1489–98.
- Eyzaguirre, P., y O. Linares, Eds. 2004. *Home Gardens and Agrobiodiversity*. Smithsonian Books, Washington, DC.
- FAO. 1990. *Guidelines for Soil Profile Description*, 3^{ra} ed., Revised. FAO, Rome.

- FAO. 1993. "Quality declared seed system." *FAO Plant Production and Protection Paper No. 117*. FAO, Rome.
- FAO. 2006. "Quality declared seed System." *FAO Plant Production and Protection Paper No. 185*. FAO, Rome.
- FAO. 2010. "Quality declared planting material." *FAO Plant Production and Protection Paper 195*. Protocols and standards for vegetatively propagated crops. FAO, Rome.
- FAO. 2011. *Payments for Ecosystem Services and Food Security*. United Nations Food and Agricultural Organization (FAO), Rome Italy.
- Finckh, M. R. 2008. "Integration of breeding and technology into diversification strategies for disease control in modern agriculture." *European Journal of Plant Pathology* 121:399–409.
- Finckh, M. R., y M. S. Wolfe. 2006. "Diversification strategies." Pp. 269–308 en *The Epidemiology of Plant Disease* (B. M. Cooke et al., Eds.). Springer, New York.
- Fischer, F. 1990. *Technocracy and the Politics of Expertise*. Sage Publications Inc., Newbury Park, CA.
- . 2000. *Citizens, Experts and the Environment. The Politics of Local Knowledge*. Duke University Press, London.
- Flitner, M. 2003. "Genetic geographies: a historical comparison of agrarian modernization and eugenic thought in Germany, the Soviet Union and the United States." *Geoforum* 34:175–86.
- Frankel, O. H. 1970. "Genetic conservation in perspective." En *Genetic Resources in Plants: Their Exploration and Conservation* (O. H. Frankel y E. Bennett, Eds.). IBP Handbook 11. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Frankel, O. H., y M. E. Soulé. 1981. *Conservation and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frankfort-Nachmias, C., y D. Nachmias. 1996. *Research Methods in the Social Sciences*. St. Martin's Press, New York.
- Frankham, R., J. D. Ballou, y D. A. Briscoe. 2010. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge University Press.
- Free, J. 1993. *Crop Pollination by Insects*. Academic Press, London.
- Freudenberger, K. S., y B. Gueye. 1990. *RRA Notes to Accompany Introductory Training Manual*. International Institute for Environment and Development, London.
- Frison, E. A., I. F. Smith, T. Johns, J. Cherfas, y P. B. Eyzaguirre. 2006. "Agricultural biodiversity, nutrition, and health: making a difference to hunger and nutrition in the developing world." *Food and Nutrition Bulletin* 27:167–79.
- Fuller, D. Q. 2007. "Contrasting patterns of crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the old world." *Annals of Botany* 100:903–24.
- Galluzzi, G., P. Eyzaguirre, y V. Negri. 2010. "Home gardens: neglected hotspots of agrobiodiversity and cultural diversity." *Biodiversity and Conservation* 19:3635–54.

- Garnett, T., V. Conn, y B. N. Kaiser. 2009. "Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants." *Plant, Cell and Environment* 32:1272–83.
- Garrett, K. A., et al. 2006. "Ecological genomics and epidemiology." *European Journal of Plant Pathology* 115:35–51.
- Garrett, K., G. Forbes, S. Savary, P. Skelsey, H. Sparks, C. Valdivia, H. C. van Bruggen, et al. 2011. "Complexity in climate-change impacts: an analytical framework for effects mediated by plant disease." *Plant Pathology* 60:15–30.
- Gauch, Hugh G. Jr. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gauchan, D., M. Smale, N. Maxted, y M. Cole. 2008. "Managing rice biodiversity on farms: the choices of farmers and breeders in Nepal." Pp. 162–76 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Gautam, R., B. Sthapit, A. Subedi, D. Poudel, P. Shrestha, y P. Eyzaguirre. 2009. "Home gardens management of key species in Nepal: a way to maximize the use of useful diversity for the well-being of poor farmers." *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 7:142.
- Gbetibouo, G. A. 2009. "Understanding farmers' perceptions and adaptations to climate change and variability." *IFPRI Discussion Paper 00849*. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Gepts, P. 1998. "Origin and evolution of common bean: past events and recent trends." *HortScience* 33:1124–30.
- Giuliani, A. 2007. *Developing Markets for Agrobiodiversity. Securing Livelihoods in Dryland Areas*. Earthscan Research Editions, London.
- Glisson, S. 2015. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, 3^{ra} ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Goldringer, I., J. Dawson, A. Vettoretti, y F. Rey. 2010. "Breeding for resilience: a strategy for organic and low-input farming systems?" Eucarpia 2^{da} conference of the Organic and Low-Input Section, 1–3 Dic. 2010, Paris, France, http://orgprints.org/18171/1/Breeding_for_resilience%2DBook_of_abstracts.pdf, (accedida 2011-06-01).
- Gonsalves, J., T. Becker, A. Braun, D. Campilan, H. De Chavez, E. Fajber, M. Kapiriri, J. Riveca-Caminade, y R. Vernooy (Eds.). 2005. *Participatory Research and Development for Sustainable Agriculture and Natural Resource Management: A Sourcebook. Volume 1: Understanding Participatory Research and Development*. CIP-upward, Laguna, Philippines e IDRC, Ottawa, Canada.
- Go-Science/Foresight. 2011. *The Future of Food and Farming*. UK Government.
- Grain. 2005. "Africa's seed laws: red carpet for the corporations." *Seedling* July 2005.

- Greenwood, D. J., W. F. Whyte, y I. Harkavy. 1993. "Participatory action research as a process and as a goal." *Human Relations* 46:175–92.
- Gregory, P. J., S. N. Johnson, A. C. Newton, y J. S. I. Ingram. 2009. "Integrating pests and Pathogens into the climate change/food security debate." *Journal of Experimental Botany* 60:2827–38.
- Gunderson, L., y C. S. Holling, Eds. 2002. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington, DC.
- Gusta, L. V., y M. Wisniewski. 2013. "Understanding plant cold hardiness: an opinion." *Physiologia plantarum* 147:4–14.
- Gutiérrez, M., y J. Penna. 2004. "Derechos de obtentor y estrategias de marketing en la generación de variedades públicas y privadas." *Documento de trabajo no. 31*. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Gyawali, S., B. R. Sthapit, B. Bhandari, J. Bajracharya, P. K. Shrestha, M. P. Upadhyay, y D. I. Jarvis. 2010. "Participatory crop improvement and formal release of Jethobudho rice landrace in Nepal." *Euphytica* 176:59–78.
- Hadado, T. T., D. Rau, E. Bitocchi, y R. Papa. 2009. "Genetic diversity of barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces from the central highlands of Ethiopia: comparison between the Belg and Meher growing seasons using morphological traits." *Genetic Resources and Crop Evolution* 56:1131–48.
- Hajjar, R., D. I. Jarvis, y B. Gemmill. 2008. "The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services." *Agriculture, Ecosystems, and the Environment* 123:261–70.
- Halewood, M., y K. Nnadozie. 2008. "Giving priority to the commons: the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture." Pp. 115–40 en *The Future Control of Food: A Guide to International Negotiations and Rules on Intellectual Property, Biodiversity and Food Security* (G. Tansey y T. Rajotte, Eds.). Earthscan, London.
- Hammer, K. 1984. "Das domestikationssyndrom." *Die Kulturpflanze* 32:11–34.
- Hamrick, J. L., y M. J. W. Godt. 1997. "Allozyme diversity in cultivated crops." *Crop Science* 37:26–30.
- Hancock, J. F. 2004. *Plant Evolution and the Origin of Crop Species*, 2^{da} ed. CABI Publishing, Wallingford.
- Hanemann, W. M. 1994. "Valuing the environment through contingent valuation." *Journal of Economic Perspectives* 8:19–43.
- Harlan, H. V., y M. L. Martini. 1936. "Problems and Results in Barley Breeding." Pp. 303–46 en *Yearbook of Agriculture*. U.S. Department of Agriculture, Government Printing Office, Washington, DC.
- Harlan, J. R. 1961. "Geographic origin of plants useful in agriculture." Pp. 3–19 en *Germ Plasm Resources* (R. E. Hodgson, Ed.). A symposium presented at the Chicago meeting of

- the American Association of the Advancement of Science, 28–31 December 1959. AAAS, Washington.
- . 1971. “Agricultural origins: centers and noncenters.” *Science* 174:468–74.
- . 1972. “Genetics of disaster.” *Journal of Environmental Quality* 1:212–15.
- Harlan, J. R., y J. M. J. deWet. 1971. “Toward a rational classification of cultivated plants.” *Taxon* 20:509–17.
- Hatfield, Jerry L., y John H. Prueger. 2010. “Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices.” *Remote Sensing* 2:562–78.
- He, X. H., Y. Sun, D. Gao, F. Wei, L. Pan, C. W. Guo, R. Z. Mao, Y. Xie, C. Y. Li, y Y. Y. Zhu. 2011. “Comparison of agronomic traits between rice landraces and modern varieties at different altitudes in the paddy fields of Yuanyang Terrace, Yunnan Province.” *Journal of Resources and Ecology* 2:46–50.
- Headley, J. C. 1968. “Estimating productivity of agricultural pesticides.” *Agricultural Economics* 50:13–23.
- Hein, L. 2009. “The economic value of the pollination service, a review across scales.” *Open Ecology Journal* 2:74–82.
- Hermida, C. 2011. “Sumak Kawsay: Ecuador builds a new health paradigm.” *MEDICC Review* 13:60.
- Hijmans, R. J., L. Guarino, M. Cruz, y E. Rojas. 2001. “Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS.” *Plant Genetic Resources Newsletter* 127:15–19.
- Hillman, G. C., y M. S. Davies. 1990. “Measured domestication rates in wild wheats and barley under primitive cultivation and their archaeological implications.” *Journal of World Prehistory* 4:157–222.
- Hodgkin, T., y P. Bordon. 2012. “Climate change and the conservation of plant genetic resources.” *Journal of Crop Improvement* 26:329–45.
- Hodgkin, T., N. Demers, y E. Frison. 2012. “The evolving global system of conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture.” En *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. López Noriega, y S. Louafi, Eds.). Routledge, NY.
- Hodgkin, T., R. Rana, J. Tuxill, B. Didier, A. Subedi, I. Mar, D. Karamura, R. Valdivia, L. Colledo, L. Latournerie, M. Sadiki, M. Sawadogo, A. H. D. Brown, y D. Jarvis. 2007. “Seed systems and crop genetic diversity in agroecosystems.” Pp. 77–116 en *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, y D. Cooper, Eds.). Columbia University Press, New York.
- Hogwood, B., y L. Gunn. 1984. *Policy Analysis for the Real World*. Oxford University Press, Oxford.

- Hue, N. T. N., e *In situ* Project staff. 2006. "Enhancing the use of crop genetic diversity to manage abiotic stress in agricultural production systems." Pp. 49–54 en *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, y L. Sears, Eds.). Proceedings of an IPGRI workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Humphries, S., O. Gallardo, J. Jimenez, F. Sierra with members of the Association of CIALs of Yorito, Sulaco y Victoria. 2005. "Linking small farmers to the formal research sector: lessons from a participatory bean breeding programme in Honduras." *AgREN Network Paper No. 142*, ODI, UK.
- Hunn, E. H. 1993. "The ethnobiological foundation for TEK." Pp. 16–20 en *Traditional Ecological Knowledge: Wisdom for Sustainable Development* (N. W. Williams y G. Baines, Eds.). Center for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra.
- IFAD. 2001. *IFAD and NGOs, dynamic partners to fight rural poverty*. IFAD, Rome.
- IPGRI. 2001. "Design and analysis of evaluation trials of genetic resources collections. A guide for genebank managers." *Technical Bulletin No. 4*. IPGRI, Rome.
- Jackson, J., y G. Clarke. 1991. "Gene flow in an almond orchard." *Theoretical and Applied Genetics* 82:1432–2242.
- Jackson, L. E., M. Burger, y T. R. Cavagnaro. 2008. "Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services." *Annual Review of Plant Biology* 59:341–63.
- Jaffé, W., y J. Van Wijk. 1995. *The Impact of Plant Breeders Rights in Developing Countries: Debate and Experience in Argentina, Chile, Colombia, Mexico and Uruguay*. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, University of Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands.
- Jarvis, D. I., A. H. D. Brown, P. H. Cuong, et al. 2008. "A global perspective on the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities." *Proceedings of National Academy of Sciences USA* 105:5326–31.
- Jarvis, D. I., A. H. D. Brown, V. Imbruce, et al. 2007a. "Managing crop disease in traditional ecosystems: the benefits and hazards of genetic diversity." Pp. 292–319 en *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, y H. D. Cooper, Eds.). Bioversity International/Columbia University Press, NY.
- Jarvis, D. I., y D. M. Campilan. 2006. "Crop genetic diversity to reduce pests and diseases on farm: participatory diagnosis guidelines, version 1." *Bioversity Technical Bulletin No. 12*. Bioversity International, Rome.
- Jarvis, D. I., P. De Santis, P. Colangelo, y T. Murray. 2012. "Introduction: linking diversity and field resistance." Pp. 32–37 en *Damage, Diversity and Genetic Vulnerability: The Role of Crop Genetic Diversity in the Agricultural Production System to Reduce Pest and Disease Damage*. Proceedings of an international symposium, 15–17 February 2011, Rabat, Mo-

- rocco (D. I. Jarvis, C. Fadda, P. De Santis, y J. Thompson, Eds.). Bioersivity International, Rome.
- 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–S173.
- Jarvis, D. I., C. Padoch, y H. D. Cooper, Eds. 2007b. *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. Bioersivity International/Columbia University Press, NY.
- Joshi, A., y J. R. Witcombe. 1996. "Farmer participatory crop improvement. II. Participatory varietal selection, a case study in India." *Experimental Agriculture* 32:461–77.
- Kahane, R., T. Hodgkin, H. Jaenicke, C. Hoogendoorn, M. Hermann, J. D. H. Keatinge, J. d'Arros Hughes, S. Padulosi, y N. Looney. 2013. "Agrobiodiversity for food security, health and income." *Agronomy for Sustainable Development* 33:671–93.
- Kaplan, L., y T. F. Lynch. 1999. "*Phaseolus* (Fabaceae) in archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for Pre-Columbian agriculture." *Economic Botany* 53:261–72.
- Kaplinsky, R., y M. Morris. 2001. *A Handbook for Value Chain Research*. Institute of Development Studies (IDS), University of Sussex, UK.
- Karl, Marilee. 2002. "Participatory policy reform from a sustainable livelihoods perspective. Review of concepts and practical experiences." *Livelihood Support Programme, Working Paper 3*. FAO, Rome.
- Kassam, K. A. 2009. "Viewing change through the prism of indigenous human ecology: findings from the Afghan and Tajik Pamirs." *Human Ecology* 37:677–90.
- Keeley, James. 2001. "Influencing policy processes for sustainable livelihoods: strategies for change." *Lessons for Change in Policy and Organisations, no. 2*. Institute of Development Studies, Brighton.
- Keleman, A., y J. Hellin. 2009. "Specialty maize varieties in Mexico: a case study in market-driven agro-biodiversity conservation." *Journal of Latin American Geography* 8:147–74.
- Kendall, M., and J. K. Ord. 1990. *Time Series*, 3^{ra} ed. Griffin, London.
- Kesavan, P. C., and M. S. Swaminathan. 2008. "Strategies and models for agricultural sustainability in developing Asian countries." *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:877–91.
- Klein, A. M., B. C. Vaissière, J. H. Cane, I. Stefan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, y T. Tscharnke. 2007. "Importance of pollinators in changing landscapes for world crops." *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 274:303–13.
- Koinage, E. M. K., S. P. Singh, y P. Gepts. 1996. "Genetic control of the domestication syndrome of common bean." *Crop Science* 36:1037–45.
- 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* 81:237–39.

- Koo, B., C. Nottenburg, y P. G. Pardey. 2004. "Plants and intellectual property: an international appraisal." *Science* 306:1295–97.
- Kruijssen, F., M. Keizer, and A. Giuliani. 2009. "Collective action for small-scale producers of agricultural biodiversity products." *Food Policy* 34:46–52.
- Krutilla, J. 1967. "Conservation reconsidered." *American Economic Review* 57:777–86.
- Labeyrie, V., M. Deu, A. Barnaud, C. Calatayud, M. Buiron, et al. 2014. "Influence of ethnolinguistic diversity on the sorghum genetic patterns in subsistence farming systems in eastern Kenya." *PLoS ONE* 9: e92178. doi:10.1371/journal.pone.0092178.
- Lammerts van Bueren, E. T., y J. R. Myers. 2011. *Organic Crop Breeding*. Wiley- Blackwell, Wageningen. <http://documents.plant.wur.nl/cgn/literature/reports/Fieldguide.pdf>.
- Lammerts van Bueren, E. T., H. Østergård, I. Goldringer, y O. Scholten. 2008. "Plant breeding for organic and sustainable, low-input agriculture: dealing with genotype—environment interactions." *Euphytica* 163:321–22.
- 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.
- Lang, N., B. Tu, N. C. Thanh, B. C. Buu, y A. Ismail. 2009. "Genetic diversity of salt tolerance rice landraces in Vietnam." *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1:230–43.
- Lapeña, I., I. López, y M. Turdieva. 2012. *Guidelines: Access and Benefit Sharing in Research Projects*. Bioversity International, Rome.
- Lapeña, I., M. Turdieva, y I. López Noriega. 2013. "Conservation of fruit diversity in Central Asia: an analysis of policy options and challenges." En *Conservation of Fruit Diversity in Central Asia: Policy Options and Challenges* (I. Lapeña, M. Turdieva, I. López Noriega, R. Azimov, Y W. G. Ayad, Eds.). Bioversity International, Rome.
- Larson Guerra, J. 2010. "Geographical indications, in situ conservation and traditional knowledge." *ICTSD Policy Brief No. 3*. ICTSD, Geneva, Switzerland.
- Latournerie Moreno, L., J. Tuxill, E. Y. Moo, L. A. Reyes, J. E. Alejo, y D. I. Jarvis. 2006. "Traditional maize storage methods of Mayan farmers in Yucatan, Mexico: implications for seed selection and crop diversity." *Biodiversity and Conservation* 15:1771–95.
- Leakey, A. D. B., K. A. Bishop, y E. A. Ainsworth. 2012. "A multi-biome gap in understanding of crop and ecosystem responses to elevated CO₂." *Current Opinion in Plant Biology* 15:228–36.
- 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* 26:221–40.
- Leclerc, C., y G. Coppens d'Eeckenbrugge. 2012. "Social organization of crop genetic diversity. The g X e X s interaction model." *Diversity* 4:1–32.
- Legendre, Pierre, y Louis Legendre. 2012. *Numerical Ecology*. Elsevier.

- Leskien, D., y M. Flitner. 1997. "Intellectual property rights and plant genetic resources: options for a sui generis system." *Issues in Genetic Resources* 6. IPGRI, Rome.
- Levins, R. A. 1968. *Evolution in Changing Environments*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Lewis, V., y P. M. Mulvany. 1997. *A Typology of Community Seed Banks*. Natural Resource Institute, Chatham, UK, Project A, 595:47.
- Li, S., Y. Zeng, y S. Shen. 2004. "Cold tolerance of core collection at booting stage associated with eco-geographic distribution in Yunnan rice landrace (*Oryza sativa*)." *Rice Science* 11:261–68.
- Lichtenberg, E., y D. Zilberman. 1986. "The econometrics of damage control: why specification matters." *American Journal of Agricultural Economics* 68:261–73.
- Liebman, Matt, y Eric R. Gallandt. 1997. "Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions." Pp. 291–343 en *Ecology in Agriculture* (Louise E. Jackson, Ed.). Academic Press, London.
- Lipper, L., C. L. Anderson, T. J. Dalton y A. Keleman. 2010. "Conclusions and policy implications." Pp. 209–22 en *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, y T. J. Dalton, Eds.). Earthscan.
- Lipper, L., R. Cavatassi, y J. Hopkins. 2009. "The role of crop genetic diversity in coping with drought: insights from eastern Ethiopia." Pp. 183–203 en *Agrobiodiversity, Conservation and Economic Development* (A. Kontoleon, W. Pascual, y M. Smale, Eds.). Routledge, New York.
- Lipper, L., R. Catavassi, y P. Winters. 2012. "Seed supply in local markets: supporting sustainable use of crop genetic resources." *Environment and Development Economics* 17:507–21.
- Lisa, L. A., Z. I. Seraj, C. M. Fazle Elahi, K. C. Das, K. Biswas, M. R. Islam, M. A. Salam, et al. 2004. "Genetic variation in microsatellite DNA, physiology and morphology of coastal saline rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Bangladesh." *Plant and Soil* 263:213–28.
- Lope, D. 2004. "Gender relations as a basis for varietal selection in production spaces in Yucatan, Mexico." M.S. thesis, Wageningen University, the Netherlands.
- López Noriega, I., G. Galuzzi, M. Halewood, R. Vernooy, E. Bertacchini, D. Gauchan, y E. Welch. 2012. "Flows under stress: availability of plant genetic resources in times of climate and policy change." *Working Paper no. 18*. CCAFS, Copenhagen.
- Loskutov, I. G. 1999. Vavilov and His Institute. *A History of the World Collection of Plant Genetic Resources in Russia*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Louette, D. 1999. "Traditional management of seed and genetic diversity: what is a landrace?" Pp. 109–42 en *Genes in the Field* (S. B. Brush, Ed.). IPGRI, IDRC, Lewis.
- Louwaars, N., y F. Burgaud. (En prensa) "Variety registration: the evolution of registration systems with a special emphasis on agrobiodiversity conservation." En *Farmers' Varieties*

- and Farmers' Rights: Addressing Challenges in Taxonomy, Culture and Law* (M. Halewood, Ed.). Routledge, London.
- Loveless, M. D., y J. L. Hamrick. 1984. "Ecological determinants of genetic structure in plant populations." *Annual Review of Ecology and Systematics* 15:65–95.
- MA, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Current Status and Trends, Vol. 1*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Madamombe-Manduna, I., H. Vibrans, y L. Lopez-Mata. 2009. "Diversity of coevolved weeds in smallholder maize fields of Mexico and Zimbabwe." *Biodiversity and Conservation* 18:1589–1610.
- Mahajan, S., and N. Tutejan. 2005. "Cold, salinity and drought stresses: an overview." *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444:139–58.
- Mangelsdorf, P. C. 1966. "Genetic potentials for increasing yields of food crops and animals." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 56:370–75.
- Manzella, D. 2012. "The design and mechanics of the multilateral system of access and benefit-sharing." Pp. 150–64 en *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. López Noriega, y S. Louafi, Eds.). Routledge, New York.
- Marfo, K. A., P. T. Dorward, P. Q. Crawford, F. Ansere-Bioh, J. Haleegoah, y R. Bam. 2008. "Identifying seed uptake pathways: the spread of Agya amoah rice cultivar in southwestern Ghana." *Experimental Agriculture* 44:257–69.
- Marshall, D. R. 1977. "The advantages and hazards of genetic homogeneity." *Annals of the New York Academy of Sciences* 287:1–20.
- Marshall, D. R., y A. H. D. Brown. 1975. "Optimum sampling strategies in genetic conservation." Pp. 369–77 en *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow* (O. H. Frankel y J. G. Hawkes, Eds.). International Biological Programme 2, CUP, Cambridge.
- Martin, A., y J. Sherington. 1997. "Participatory research methods: implementation, effectiveness and institutional context." *Agricultural Systems* 55:195–216.
- McNeely, J. A., y S. J. Scherr. 2002. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Wild Biodiversity*. Island Press.
- MEA. 2005. *Ecosystems and Human Wellbeing*. Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, DC.
- Meinzen-Dick, R., y P. Eyzaguirre. 2009. "Non-market institutions for agrobiodiversity conservation." Pp. 82–91 en *Agrobiodiversity, Conservation and Economic Development* (A. Kontoleon, W. Pascual, y M. Smale, Eds.). Routledge, London.
- Mekbib, F. 2008. "Genetic erosion in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the centre of diversity, Ethiopia." *Genetic Resources and Crop Evolution* 55:351–64.

- Meng, E. C. H. 1997. "Land allocation decisions and in situ conservation of crop genetic resources: the case of wheat landraces in Turkey." PhD dissertation, University of California at Davis, CA.
- Mijatović, D., F. Van Oudenhoven, P. Eyzaguirre, y T. Hodgkin. 2012. "The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework." *International Journal of Agricultural Sustainability* (June 2012):1–13.
- Milgroom, M. G., K. Sotirovski, D. Spica, J. E. Davis, M. T. Brewer, M. Milev, y P. Cortesi. 2008. "Clonal population structure of the chestnut blight fungus in expanding ranges in southeastern Europe." *Molecular Ecology* 1720:4446–58.
- Molden, D., Ed. 2007. *Water for Food, Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London.
- Molina, J., M. Sikora, N. Garud, J. M. Flowers, S. Rubinstein, A. Reynolds, Pu Huang, S. Jackson, B. A. Schaal, C. D. Bustamante, A. R. Boyko, y M. D. Purugganan. 2011. "Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 108:8351–56.
- Mooney, P. R. 1979. *Seeds of the Earth: A Private or Public Resource?* Inter Pares, Ottawa.
- Moreira, F. M. S., E. J. Huising, y D. E. Bignell, Eds. 2008. *A Handbook of Tropical Soil Biology*. Earthscan, London.
- Moreno-Ruiz, G., y J. Castillo-Zapata. 1990. "The variety Colombia: a variety of coffee with resistance to rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)." *Cenicafé Chinchiná-Caldas-Colombia Technical Bulletin* 9:1–27.
- Morris, M. L., y M. R. Bellon. 2004. "Participatory plant breeding research: opportunities and challenges for the international crop improvement system." *Euphytica* 136:21–35.
- Moslonka-Lefebvre, M., A. Finley, I. Dorigatti, K. Dehnen-Schmutz, T. Harwood, M. J. Jeger, X. Xu, et al. 2011. "Networks in plant epidemiology: from genes to landscapes, countries, and continents." *Phytopathology* 101:392–403.
- Mulder, C., D. Uliassi, y D. Doak. 2001. "Physical stress and diversity-productivity relationships: the role of positive interactions." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98:6704–8.
- Mulumba, J. W., R. Nankya, J. Adokorach, C. Kiwuka, C. Fadda, P. De Santis, y D. I. Jarvis. 2012. "A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural ecosystems of Uganda." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 157:70–86.
- Mundt, C. C. 1990. "Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids." *Phytopathology* 80:221–23.
- . 1991. "Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids; further comments." *Phytopathology* 81:240–42.

- Munns, R. 2005. "Genes and salt tolerance: bringing them together." *New Phytologist* 167:645–63.
- Nabhan, G. 2000. "Interspecific relationships affecting endangered species recognized by O'Odham and Comcaac cultures." *Ecological Applications* 10:1288–95.
- Næss, A. 1989. *Ecology, Community and Lifestyle*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nassar, N. M. A., y R. Ortiz. 2007. "Cassava improvement: challenges and impacts." *Journal of Agricultural Science* 145:163–71.
- National Academy of Sciences. 1975. *Underexploited tropical plants with promising economic value*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- National Research Council. 1993 "Genetic vulnerability and crop diversity." Pp. 47–83 in *Managing Global Genetic Resources*. National Academy Press, Washington, DC.
- Nazarea-Sandoval, V. 1998. *Cultural Memory and Biodiversity*. University of Arizona Press, Tucson, AZ.
- Neelin, J. D. 2011. *Climate Change and Climate Modeling*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Negassa, A., J. Hellin, y B. Shiferaw. 2012. "Determinants of adoption and spatial diversity of wheat varieties on household farms in Turkey." *CIMMYT Socio-Economics Working Paper 2*. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Newton, A. C., T. Akar, J. P. Baresel, et al. 2010. "Cereal landraces for sustainable agriculture. A review." *Agronomy for Sustainable Development* 30:237–69.
- Nordblom, T. L. 1987. "The importance of crop residues as feed resources in West Africa and North Africa." En *Plant Breeding and the Nutritive Value of Crop Residues*, Proceedings of a workshop (J. D. Read, B. S. Cropper, y P. J. H. Neate, Eds.). ILCA, Addis Ababa.
- Nuijten, E., y C. J. M. Almekinders. 2008. "Mechanisms explaining variety naming by farmers and name consistency of rice varieties in the Gambia." *Economic Botany* 62:148–60.
- OECD. 2001. *Citizens as Partners: OECD Handbook on Information, Consultation and Public Participation in Policy-Making*. OECD, Paris.
- Oerke, E. C. 2006. "Crop losses to pests." *Journal of Agricultural Science-Cambridge* 144:31.
- Olsson, P., C. Folke, y F. Berkes. 2004. "Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems." *Environmental Management* 34:75–90.
- Ortiz, R. 2011. "Agrobiodiversity management for climate change." Pp. 189–210 en *Agrobiodiversity Management for Food Security* (J. M. Lenné y D. Wood, Eds.). CABI Publishing, New York.
- Oude Lansink, A., y A. Carpentier. 2001. "Damage control productivity: an input damage abatement approach." *Journal of Agricultural Economics* 52:11–22.
- Pallottini, L., E. Garcia, J. Kami, G. Barcaccia, y P. Gepts. 2004. "The genetic anatomy of a patented yellow bean." *Crop Science* 44:968–77.

- Pascual, U., y C. Perrings. 2007. "Developing incentives and economic mechanisms for in situ biodiversity conservation in agricultural landscapes." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:256–68.
- Paul, E., Ed. 2007. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*, 3^{ra} ed. Elsevier, Amsterdam.
- Pearce, D., y D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. Earthscan, London.
- Pemsl, D., H. Waibel, y A. P. Gutierrez. 2005. "Why do some Bt-cotton farmers in China continue to use high levels of pesticides?" *International Journal of Agricultural Sustainability* 3:44–56.
- Perales, H. R., B. F. Benz, y S. B. Brush. 2005. "Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102:949–54.
- Perriera, X., E. De Langheb, M. Donohuec, C. Lentferd, L. Vrydaghse, F. Bakrya, F. Carreelf, I. Hippolytea, J.-P. Horrya, C. Jennyg, V. Leboth, A.-M. Risteruccia, K. Tomekpea, H. Doutreleponte, T. Balli, J. Manwaringi, P. de Maretj, y T. Denhamk. 2011. "Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1102001108.
- 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 workshop Safeguarding and Preserving the Biodiversity of the Rice Genepool. Component II: On-Farm Conservation. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, May 17–22, 1999.
- Phichit, S., Noppornphan, M. Yoovatana, S. Somsri, B. R. Sthapit, V. R. Rao, M. Kaur, y H. Lamers. 2012. *Combination of Side Grafting Technique and Informal Scion Exchange System for Mango Diversity Management in Non-Irrigated Orchards*. Bioersivity International, New Delhi, India.
- Pimbert, M. P., B. Boukary, y E. Holt-Giménez. 2010. "Democratising research for food sovereignty in West Africa." *Journal of Peasant Studies* 37:220–26.
- Pimentel, D. 2011. "Food for thought: a review of the role of energy in current and evolving agriculture." *Critical Reviews in Plant Sciences* 30:35–44.
- Pimentel, D., and M. V. Cilveti. 2007. "Reducing pesticide use: successes." Pp. 551–52 en *Encyclopedia of Pest Management, Volume 2* (D. Pimentel, Ed.). Taylor y Francis, Boca Raton, FL.
- Pingali, P. L., Y. Khwaja, y M. Meijer. 2006. "The role of the public and private sector in commercializing small farms and reducing transaction costs." En *Global Supply Chains, Standards, and the Poor* (J. F. M. Swinnen, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Piperno, D., A. Ranere, I. Holst, and P. Hansell. 2000. "Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest." *Nature* 407:894–97.
- Plaster, E. 2009. *Soil Science and Management*, 5^{ta} ed. Delmar, Clifton Park, NY.
- Poland, J. A., y T. W. Rife. 2012. "Genotyping by sequencing for plant breeding and genetics." *Plant Genome* 5:92–102.

- Practical Action. 2011. *Hunger, Food and Agriculture: Responding to the Ongoing Challenges*. The Schumacher Centre for Technology and Development, Rugby, Warwickshire.
- Pradhan, N., I. Providoli, B. Regmi, y G. Kafle. 2010. "Valuing water and its ecological services in rural landscapes: a case study from Nepal." *Mountain Forum Bulletin* January 2010:32–34.
- Pretty, J. 2008. "Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence." *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:447–65.
- Qaim, M., y A. de Janvry. 2005. "Bt cotton and pesticide use in Argentina: economic and environmental effects." *Environment and Development Economics* 10:179–200.
- Qualset, C. O. 1975. "Sampling germplasm in a center of diversity: an example of disease resistance in Ethiopian barley." Pp. 81–96 en *Crop Genetics Resources for Today and Tomorrow* (O. H. Frankel y J. G. Hawkes, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Rana, R. B., C. Garforth, D. Jarvis, y B. Sthapit. 2007. "Influence of socioeconomic and cultural factors in rice varietal diversity management on-farm in Nepal." *Agriculture and Human Values* 24:461–72.
- Rana, R. B., C. J. Garforth, B. R. Sthapit, y D. I. Jarvis. 2011. "Farmers' rice seed selection and supply system in Nepal: understanding a critical process for conserving crop diversity." *International Journal of AgriScience* 1:252–74.
- Rana, R. B., D. Gauchan, D. K. Rijal, S. P. Ktatiwada, C. L. Paudel, P. Chaudhary, y P. R. Tiwari. 2000. "Socioeconomic data collection: Nepal." Pp. 54–59 in *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture* (D. Jarvis, B. Sthapit, y L. Sears, Eds.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Rana, R. B., y B. R. Sthapit. 2011. "Sustainable conservation and use of neglected and underutilized species: a Nepalese perspective." Pp. 225–40 en *On-Farm Conservation of Neglected and Underutilized Species: Status, Trends and Novel Approaches to Cope with Climate Change* (S. Padulosi, N. Bergamini, y T. Lawrence, Eds.). Proceedings of the international conference, Friedrichsdorf, Frankfurt, 14–16 June 2001. Bioersity International, Rome.
- Reed, M. 2008. "Stakeholder participation for environmental management: a literature review." *Biological Conservation* 141:2417–31.
- Rhouma, A., N. Nasr, A. Zirari, y M. Belguedj. 2006. "Indigenous knowledge in management of abiotic stress: date palm genetic resources diversity in the oases of Maghreb region." Pp. 55–61 en *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, y L. Sears, Eds.). Proceedings of an IPGRI workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Richards, P. 1986. *Coping with Hunger: Hazard and Experiment in an African Rice Farming System*. Allen and Unwin, London.
- Richards, P., y G. Ruivenkamp. 1997. *Seeds and Survival. Crop Genetic Resources in War and Reconstruction in Africa*. IPGRI, Rome.

- Rietbergen-McCracken, Jennifer. 1996. *Participation in Practice*. The Experience of the World Bank and Other Stakeholders. World Bank, Washington.
- Rijal, D. K. 2007. "On-farm conservation and use of local crop diversity: adaptations of taro (*Colocasia esculenta*) and rice (*Oryza sativa*) diversity to varying ecosystems of Nepal." PhD dissertation, University of Life Science (UMB), Norway.
- Rodriguez, M., D. Rau, D. O'Sullivan, A. H. D. Brown, R. Papa, y G. Attene. 2012. "Genetic structure and linkage disequilibrium in landrace populations of barley in Sardinia." *Theoretical and Applied Genetics* 125:171–84.
- Rosenfield, Patricia L. 1992. "The potential of transdisciplinary research for sustaining and extending linkages between the health and social sciences." *Social Science & Medicine* 35:1343–57.
- Roubik, D. W. 1995. *Pollination of Cultivated Plants in the Tropics, Vol. 118*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Ruiz, M. 2009. *Agrobiodiversity Zones and the Registry of Native Crops in Peru: Learning from Ourselves*. Bioersivity International and Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, Lima, Peru.
- Sadiki, M. 1990. "Germplasm development and breeding of improved biological nitrogen fixation of faba bean in Morocco." PhD dissertation, University of Minnesota, Minneapolis, MN.
- 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." Pp. 83–87 in *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*. Proceedings of a workshop, 16–20 September 2003, Pucallpa, Peru (D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J.-L. Chavez-Serivia, y T. Hodgkin, Eds.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Sakamoto, S. 1996. "Glutinous-endosperm starch food culture specific to eastern and southeast Asia." Pp. 215–31 en *Redefining Nature: Ecology, Culture and Domestication* (R. Ellen and K. Fukui, Eds.). Berg Publishers, Oxford, UK.
- Salick, J., N. Cellinese, y S. Knapp. 1997. "Indigenous diversity of Cassava: generation, maintenance, use and loss among the Amuesha, Peruvian upper Amazon." *Journal of Economic Botany* 51:6–19.
- Sarkar, R. K. 2010. "An overview of submergence tolerance in rice: farmers' wisdom and amazing science." *Journal of Plant Biology* 37:191–99.
- Sauer, J. D. 1993. *Historical Geography of Crop Plants: A Selected Roster*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sawadogo, M., J. Ouedraogo, M. Belem, D. Balma, B. Dossou, y D. I. Jarvis. 2005a. "Components of the ecosystem as instruments of cultural practices in the *in situ* conservation of agricultural biodiversity." *Plant Genetic Resources Newsletter* 141:19–25.

- Sawadogo, M., J. T. Ouedraogo, R. G. Zangre, y D. Balma. 2005b. "Diversité biologique agricole et les facteurs de son maintien en milieu paysan." Pp. 52–64 en *La gestion de la diversité des plantes agricoles dans les agro-écosystèmes* (D. B. Balma, M. Dossou, R. G. Sawadogo, J. T. Zangre, M. Ouédraogo, y D. I. Jarvis, Eds.). Compte-rendu des travaux d'un atelier abrité par CNRST, Burkina Faso et International Plant Genetic Resources Institute, Ouagadougou, Burkina Faso, 27–28 December 2001.
- Scarcelli, N., S. Tostain, C. Mariac, C. Agbangla, O. Da, J. Berthaud, y J.-L. Pham. 2006a. "Genetic nature of yams (*Dioscorea* spp.) domesticated by farmers in W Africa (Benin)." *Genetic Resources and Crop Evolution* 53:121–30.
- Scarcelli, N., S. Tostain, Y. Vigouroux, C. Agbangla, O. Daïnou, y J.-L. Pham. 2006b. "Farmers' use of wild relative and sexual reproduction in a vegetatively propagated crop. The case of yam in Benin." *Molecular Ecology* 15:2421–31.
- Scholthof, K.-B. G. 2007. "The disease triangle: pathogens, the environment and society." *Nature Reviews Microbiology* 5:152–56.
- Seki, M., J. Ishida, M. Nakajima, A. Enju, K. Iida, M. Satou, M. Fujita, Y. Narusaka, M. Narusaka, T. Sakurai, K. Akiyama, Y. Oono, A. Kamei, T. Umezawa, S. Mizukado, K. Maruyama, K. Yamaguchi-Shinozaki, y K. Shinozaki. 2007. "Genomic analysis of stress response." En *Plant Abiotic Stress* (M. A. Jenks y P. M. Hasegawa, Eds.). Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- Semagn, K., A. Bjørnstad, y M. N. Ndjiondjop. 2006. "An overview of molecular marker methods for plants." *African Journal of Biotechnology* 5:2540–68.
- Serpolay, E., J. C. Dawson, V. Chable, E. L. Van Bueren, A. Osman, S. Pino, y I. Goldringer. 2011. "Diversity of different farmer and modern wheat varieties cultivated in contrasting organic farming conditions in western Europe and implications for European seed and variety legislation." *Organic Agriculture* 1:127–45.
- Shah, Tushaar, Madar Samad, Ranjith Ariyaratne, y K. Jinapala. 2013. "Ancient small-tank irrigation in Sri Lanka: continuity and change." *Economic and Political Weekly* XLVIII:58.
- Sherwin, W. B., F. Jabot, R. Rush, y M. Rossetto. 2006. "Measurement of biological information with applications from genes to landscapes." *Molecular Ecology* 15:2857–69.
- Showstack, R. 2013. "Carbon dioxide tops 400 ppm at Mauna Loa, Hawaii." *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94:192.
- Shrestha, P., S. Sthapit, I. Paudel, S. Subedi, A. Subedi, y B. Sthapit. 2012. A Guide to Establishing a Community Biodiversity Management Fund for Enhancing Agricultural Biodiversity Conservation and Rural Livelihoods. LI-BIRD, Pokhara, Nepal.
- Singh, N., T. T. M. Dang, G. V. Vergara, et al. 2010. "Molecular marker survey and expression analyses of the rice submergence-tolerance gene SUB1A." *Theoretical and Applied Genetics* 121:1441–53.

- Skinner, D. Z., T. Loughin, y D. E. Obert. 2000. "Segregation and conditional probability association of molecular markers with traits in autotetraploid alfalfa." *Molecular Breeding* 6:295–306.
- Slatkin, M. 1977. "Gene flow and genetic drift in a species subject to frequent local extinctions." *Theoretical Population Biology* 12:253–62.
- Smale, M., Ed. 2006a. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- . 2006b. "Introduction: concepts, metrics and plan of the book." Pp. 1–16 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Smale, M., M. R. Bellon, y J. A. Aguirre Gomez. 2001. "Maize diversity, variety attributes and farmers' choices in southeastern Guanajuato, Mexico." *Economic Development and Cultural Change* 50:201–25.
- Smale, M., L. Diakité, y M. Grum. 2010. "When grain markets supply seed: village markets for millet and sorghum in the Malian Sahel." Pp. 53–74 en *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, y T. J. Dalton, Eds.). Earthscan, London.
- Smale, M., L. Diakite, A. Sidibe, M. Grum, H. Jones, I. S. Traore, y H. Guindo. 2009. "The impact of participation in diversity field fora on farmer management of millet and sorghum varieties in Mali." *African Journal for Agricultural and Resource Economics* 4:23–47.
- 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* 80:482–93.
- Smale, M., R. E. Just, y H. D. Leathers. 1994. "Land allocation in HYV adoption models: an investigation of alternative explanations." *American Journal of Agricultural Economics* 76:535–46.
- Smith, C. M., y S. L. Clement. 2012. "Molecular bases of plant resistance to Arthropods." *Annual Review of Entomology* 57:309–28.
- Smith, M. E., F. G. Castillo, y F. Gómez. 2001. "Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras." *Euphytica* 122:551–63.
- Smolders, H., y E. Caballada, Eds. 2006. *Field Guide for Participatory Plant Breeding in Farmer Field Schools*. PEDIGREA publication. Centre for Genetic Resources, the Netherlands.
- Snapp, S. 2002. "Quantifying farmer evaluation of technologies: the mother and baby trial design." *Quantitative Analysis of Data from Participatory Methods in Plant Breeding*, 9.
- Snapp, S., G. Kanyama-Phiri, B. Kamanga, R. Gilbert, y K. Wellard. 2002. "Farmer and researcher partnerships in Malawi: developing soil fertility technologies for the near-term and far-term." *Experimental Agriculture* 38:411–31.

- Sokal, R. R., y F. J. Rohlf. 2012. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*, 4^{ta} ed. W. H. Freeman and Co., New York.
- Soler, C., A.-A. Saidoua, T. V. C. Hamadoua, M. Pautassoa, J. Wenceliusa, y H. Joly. 2013. “Correspondence between genetic structure and farmers’ taxonomy—a case study from dry-season sorghum landraces in northern Cameroon.” *Plant Genetic Resources* 11:36–49.
- Soleri, D., S. E. Smith, y D. A. Cleveland. 2000. “Evaluating the potential for farmer and plant breeder collaboration: a case study of farmer maize selection in Oaxaca, Mexico.” *Euphytica* 116:41–57.
- SOLIBAM. 2011. *Strategies for Organic and Low-Input Integrated Breeding and Management*. Newsletter 1. http://www.avanzi.unipi.it/ricerca/ricerca_news/docu menti_ric_news/solibam/newsletter_1.pdf.
- Sperling, L., M. Loevinsohn, y B. Ntabomvura, 1993. “Rethinking farmers’ role in plant breeding: local bean experts and on-station selection in Rwanda.” *Experimental Agriculture* 29:509–19.
- Sperling, L., y S. McGuire. 2010. “Persistent myths about emergency seed aid.” *Food Policy*. Doi: 10.1016/j.foodpol.2009.12.004.
- Sperling, L., U. Scheidegger, y R. Buruchara. 1996. “Designing seed systems with small farmers: principles derived from bean research in the Great Lakes Region of Africa.” *Network Paper-Agricultural Administration 60*. Overseas Development Institute (ODI), London.
- Spillane, C., J. Engels, H. Fassil, L. Withers, y D. Cooper. 1999. “Strengthening national programmes for plant genetic resources for food and agriculture.” *Issues in Genetic Resources No. 8*. IPGRI, Rome.
- Ssekandi, W., J. W. Mulumba, P. Colangelo, R. Nankya, C. Fadda, J. Karungi, M. Otim, P. De Santis, y D. I. Jarvis. 2015. “The use of common bean (*Phaseolus vulgaris*) traditional varieties 1 and their mixtures with 2 commercial varieties to manage bean fly (*Ophiomyia* spp.) infestations in Uganda.” *Journal of Pest Science* (accepted for publication).
- Stanchi, S., M. Freppaz, A. Agnelli, T. Reinsch, y E. Zanini. 2012. “Properties, best management practices and conservation of terraced soils in southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): a review.” *Quaternary International* 265:90–100.
- Stannard, C. 2012. “The multilateral system of access and benefit sharing: could it have been constructed another way?” En *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. Lopez Noriega, y S. Louafi, Eds.). Routledge, London.
- Sthapit, B. R. 1994. “Genetics and physiology of chilling tolerance in Nepalese rice.” PhD dissertation, University of North Wales, Bangor, UK.
- Sthapit, B. R., K. D. Joshi, R. B. Rana, M. P. Upadhyaya, P. Eyzaguirre, y D. Jarvis. 2001. “Enhancing biodiversity and production through participatory plant breeding: setting breeding goals.” Pp. 29–54 en *An Exchange of Experiences from South and South East Asia*:

- Proceedings of the International Symposium on PPB and Participatory Plant Genetic Resource Enhancement*, Pokhara, Nepal, 1–5 May 2000, PRGA, CIAT, Cali.
- Sthapit, B. R., K. D. Joshi, y J. R. Witcombe. 1996. “Farmer participatory crop improvement. III. Participatory plant breeding, a case study for rice in Nepal.” *Experimental Agriculture* 32:479–96.
- Sthapit, B. R., y V. R. Rao. 2009. “Consolidating community’s role in local crop development by promoting farmer innovation to maximise the use of local crop diversity for the well being of people.” *Acta Horticulturae* 806:669–76.
- Sthapit, B. R., P. K. Shrestha, y M. P. Upadhyaya. 2006. *Good Practices: On-Farm Management of Agricultural Biodiversity*. NARC, LI-BIRD, IPGRI.
- Stringer, L. C., C. Prell, M. S. Reed, K. Hubacek, E. D. G. Fraser, y A. J. Dougill. 2006. “Unpacking ‘participation’ in the adaptive management of socio-ecological systems: a critical review.” *Ecology and Society* 11:39.
- Stringer, L. C., y M. S. Reed. 2007. “Land degradation assessment in southern Africa: integrating local and scientific knowledge bases.” *Land Degradation and Development* 18:99–116.
- Stukenbrock, E. H., y B. A. McDonald. 2008. “The origin of plant pathogens in agro-ecosystems.” *Annual Review of Phytopathology* 46:75–100.
- Subedi, A., P. Chaudhary, B. Baniya, R. Rana, R. Tiwari, D. Rijal, D. Jarvis, y B. Sthapit. 2003. “Who maintains crop genetic diversity and how: implications for on-farm conservation and utilization.” *Culture and Agriculture* 25:41–50.
- Subedi, A., P. Shrestha, M. Upadhyay, y B. Sthapit. 2013. “The evolution of community biodiversity management as a methodology for implementing *in situ* conservation of agrobiodiversity in Nepal.” En *Community Biodiversity Management: Promoting Resilience and the Conservation of Plant Genetic Resources* (Walter S. de Boef, Abishkar Subedi, Nivaldo Peroni, y Marja Thijssen, Eds.). Earthscan, Routledge, UK.
- 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* 43:444–55.
- Suneson, C. A. 1956. “An evolutionary plant breeding method.” *Agronomy Journal* 48:188–91.
- Suso, M., M. Moreno, F. Mondragao-Rodrigues, y J. Cubero. 1996. “Reproductive biology of *Vicia faba*: role of pollination conditions.” *Field Crops Research* 46:81–91.
- Susskind, L, A. E. Camacho, y T. Schenk. 2012. “A critical assessment of collaborative adaptive management in practice.” *Journal of Applied Ecology* 49:47–51.
- Sutton, Rebecca. 1999. “The policy process: an overview.” *Working Paper 118*. Overseas Development Institute, London.
- Swallow, B. M., D. P. Garrity, y M. van Noordwijk. 2001. “The effects of scales, flows and filters on property rights and collective action in watershed management.” *Water Policy* 3:457–74.

- Swift, M., y D. Bignell. 2001. *Standard Methods for Assessment of Soil Biodiversity and Land Use Practice*. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia.
- Taiz, L., y E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology*, 5^{ta} ed. Sinauer Associates, Inc.
- Taleb, N. N. 2012. *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. Random House Incorporated, New York.
- Tapia, M. E. 2000. "Mountain agrobiodiversity in Peru: seed fairs, seed banks, and mountain-to-mountain exchange." *Mountain Research and Development* 20:220–25.
- Tapia, M. E., y A. Rosa. 1993. "Seed fairs in the Andes: a strategy for local conservation of plant genetic resources." Pp. 111–18 en *Cultivating Knowledge: Genetic Diversity, Farmer Participation and Crop Research* (W. de Boef. K. Amanor, K. Wellard, y A. Beddington, Eds.). IT Publications, UK.
- Teshaye, Y., T. Berg, B. Tsegaye, y T. Tanto. 2005. "Farmers' management of finger millet (*Eleusine coracana* L.) diversity in Tigray, Ethiopia and implications for on farm conservation." *Biodiversity and Conservation* 15:4289–4308.
- Teshome, A., A. H. D. Brown, y T. Hodgkin. 2001. "Diversity in landraces of cereal and legume crops." *Plant Breeding Reviews* 21:221–61.
- Teshome, A., J. D. Torrance, J. D. H. Lambert, et al. 1999. "Traditional farmers' knowledge of sorghum (*Sorghum bicolor* (Poaceae)) landrace storability in Ethiopia." *Economic Botany* 53:69–78.
- The Crucible Group. 1994. *People, Plants and Patents*. IDRC, Ottawa.
- Thinlay, X., M. R. Finckh, A. C. Bordeos, y R. S. Zeigler. 2000. "Effects and possible causes of an unprecedented rice blast epidemic on the traditional farming system of Bhutan." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:237–48.
- Thirtle, C., L. Beyers, Y. Ismael, y J. Piesse. 2003. "Can GM-technologies help the poor? The impact of Bt cotton in Makhatini Flats, KwaZulu-Natal." *World Development* 31:717–32.
- Thomas, M., J. C. Dawson, I. Goldringer, y C. Bonneuil. 2011. "Seed exchanges, a key to analyze crop diversity dynamics in farmer-led on-farm conservation." *Genetic Resources and Crop Evolution* 58:321–38.
- Tooker, J. R., y S. D. Frank. 2012. "Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields." *Journal of Applied Ecology* 49:974–85.
- Turdieva, M., F. Van Oudonhoven, y D. Jarvis. 2010. "Fruits of heritage: Central Asia fruit tree diversity as a basis for coping with change." Pp. 152–53 en *Biodiversity and Climate Change: Achieving the 2020 Targets, Abstracts of Posters Presented at the 14th Meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice of the Convention on Biological Diversity*, 10–21 May 2010, Nairobi, Kenya, CBD Technical Series No. 51.
- Turner, N. J., Ł. J. Łuczaj, P. Migliorini, A. Pieroni, A. L. Dreon, L. E. Sacchetti, y M. G. Paoletti. 2011. "Edible and Tended Wild Plants, Traditional Ecological Knowledge and Agroecology." *Critical Reviews in Plant Sciences* 30:198–225.

- Tuxill, J. 2005. "Agrarian change and crop diversity in Mayan milpas of Yucatan, Mexico: implications for on-farm conservation." PhD dissertation, Yale University, New Haven, CT.
- Tuxill, J., y G. P. Nabhan. 2000. *Plants, Communities, and Protected Areas: A Guide to In Situ Management*. Earthscan, London.
- Tuxill, J., L. A. Reyes, L. L. Moreno, V. C. Uicab, y D. I. Jarvis. 2010. "All maize is not equal: maize variety choices and Mayan foodways in rural Yucatan, Mexico." Pp. 467–86 en *Pre-Columbian Foodways* (J. E. Staller y M. D. Carrasco, Eds.). Springer, New York.
- Vaissière, B. E., B. M. Freitas, y B. Gemmill-Herren. 2011. *Protocol to Detect and Assess Pollination Deficits in Crops: A Handbook for Its Use*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Valdivia, R. F. 2005. "The use and distribution of seeds in areas of traditional agriculture." Pp. 17–21 en *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, Proceedings of a workshop, 16–20 September 2003, Pucallpa, Peru (D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J.-L. Chavez-Servia, y T. Hodgkin, Eds.). IPGRI, Rome.
- Van der Berg, H., y J. Jiggins. 2007. "Investing in farmers—the impacts of farmers field schooling relation to integrated pest management." *World Development* 35:663–86.
- Vandermeulen, V., y G. Van Huylenbroeck. 2008. "Designing trans-disciplinary research to support policy formulation for sustainable agricultural development." *Ecological Economics* 67:352–61.
- van de Wouw, M., C. Kik, T. van Hintum, R. van Treuren, y B. Visser. 2010. "Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges." *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 8:1–15.
- Van Dusen, M. E. 2000. "In situ conservation of crop genetic resources in the Mexican Milpa system." PhD dissertation, University of California at Davis, CA.
- . 2006. "Missing markets, migration and crop biodiversity in the Milpa system of Mexico: a household-farm model." Pp. 63–77 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Van Dusen, M. E., E. Dennis, J. Ilyasov, M. Lee, S. Treshkin, y M. Smale. 2006. "Social institutions and seed systems: the diversity of fruits and nuts in Uzbekistan." Pp. 192–210 en *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- van Heerwarden, J., F. A. van Eeuwijk, y J. Ross-Ibarra. 2010. "Genetic diversity in a crop metapopulation." *Heredity* 104:28–39.
- Van Lenteren, J. C. 2011. "The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake." *BioControl* 57:1–20.
- van Oudenhoven, F. J. W., D. Mijatovic, y P. B. Eyzaguirre. 2011. "Social-ecological indicators of resilience in agrarian and natural landscapes." *Management of Environmental Quality: An International Journal* 22:154–73.

- Vaughan, D. A., E. Balazs, y J. S. Heslop-Harrison. 2007. "From crop domestication to super-domestication." *Annals of Botany* 100:893–902.
- Vavilov, N. I. 1929. "Studies on the origin of cultivated plants." *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding* 16:1–248.
- . 1945–1950. "The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants." *Chronica Botanica* 13:1–366.
- . I. 1997. *Five Continents*. IPGRI, Rome.
- Vigouroux, Y., A. Barnaud, N. Scarcelli, y A-C. Thuillet. 2011a. "Biodiversity, evolution and adaptation in cultivated crops." *Comptes Rendus Biologies* 334:450–57.
- Vigouroux, Y., C. Mariac, S. De Mita, J.-L. Pham, B. Gérard, I. Kapran, F. Sagnard, et al. 2011b. "Selection for earlier flowering crop associated with climatic variations in the Sahel." *PLoS ONE* 6:e19563.
- Virk, D. S., y J. R. Witcombe. 2008. "Evaluating cultivars in unbalanced on-farm participatory trials." *Field Crops Research* 106:105–15.
- Vitousek, P. M., R. Naylor, T. Crews, M. B. David, L. E. Drinkwater, E. Holland, P. J. Johnes, et al. 2009. "Nutrient imbalances in agricultural development." *Science* 324:1519–20.
- Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, y M. R. Foolad. 2007. "Heat tolerance in plants: An overview." *Environmental and Experimental Botany* 61:199–223.
- Weeden, N. F. 2007. "Genetic changes accompanying the domestication of *Pisum sativum*: is there a common genetic basis to the domestication syndrome for legumes?" *Annals of Botany* 100:1017–26.
- Weisdorf, J. L. 2005. "From foraging to farming: explaining the Neolithic revolution." *Journal of Economic Surveys* 19:561–26.
- Weiss, E., W. Wetterstrom, D. Nadel, y O. Bar-Yosef. 2004. "The broad spectrum revisited: evidence from plant remains." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101:9551–55.
- Weltzien, E., y A. Christinck. 2009. "Methodologies for priority setting." Pp. 75–106 en *Plant Breeding and Farmer Participation* (S. Ceccarelli, E. P. Guimarães, y E. Weltzien, Eds.). FAO, Rome.
- Weltzien, E., H. F. W. Rattunde, B. Clerget, S. Siart, A. Toure, y F. Sagnard. 2006. "Sorghum diversity and adaptation to drought in West Africa." Pp. 31–38 en *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, y L. Sears, Eds.). Proceedings of an IPGRI Workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Weltzien, E., y K. vom Brocke. 2001. "Seed systems and their potential for innovation: conceptual framework for analysis." Pp. 9–13 en *Targeted Seed Aid and Seed-System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa* (L. Sperling, Ed.). CIAT.

- Weltzien, E., K. Vom Brocke, y H. F. W. Rattunde. 2005. "Planning plant breeding activities with farmers." Pp. 123–52 en *Setting Breeding Objectives and Developing Seed Systems with Farmers: A Handbook for Practical Use in Participatory Plant Breeding Projects* (A. Christinck, E. Weltzien, y V. Haffman, Eds.). Margraf Publishers, Weikersheim/CTA, Wageningen.
- Whittaker, R. H. 1972. "Evolution and measurement of species diversity." *Taxon* 21:213–51.
- Widawsky, D., S. Rozelle, S. Jin, y J. Huang. 1998. "Pesticide productivity, hostplant resistance and productivity in China." *Agricultural Economics* 19:203–17.
- Witcombe, J. R., P. A. Hollington, C. J. Howarth, S. Reader, y K. A. Steele. 2008. "Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture." *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:703–16.
- Witcombe, J. R., A. Joshi, K. D. Joshi, y B. R. Sthapit. 1996. "Farmer participatory crop improvement. I: varietal selection and breeding methods and their impact on biodiversity." *Experimental Agriculture* 32:445–60.
- Witcombe, J. R., K. D. Joshi, S. Gyawali, A. Musa, C. Johanssen, D. S. Virk, y B. R. Sthapit. 2005. "Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. I. Four indicators of client-orientation in plant breeding." *Experimental Agriculture* 41:1–21.
- Wolfe, M. S. 1985. "The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance." *Annual Review of Phytopathology* 23:251–73.
- Wolfe, M. S., J. P. Baresel, D. Desclaux, I. Goldringer, S. Hoad, G. Kovacs, F. Löschenberger, T. Miedaner, H. Østergård, y E. T. Lammerts Van Bueren. 2008. "Developments in breeding cereals for organic agriculture in Europe." *Euphytica* 163:323–46.
- Wolfe, M. S., y M. R. Finckh. 1997. "Diversity of host resistance within the crop: effects on host, pathogen and disease." Pp. 378–400 en *Plant Resistance to Fungal Diseases* (H. Hartleb, R. Heitefuss, y H. H. Hoppe, Eds.). Fischer Verlag, Jena, Germany.
- World Bank. 2008. *World Development Report: Agriculture for Development*. World Bank, Washington, DC. Retrieved from <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/0,,contentMDK:23062293~pagePK:478093~piPK:477627~theSitePK:477624,00.html>.
- Xie, Yichun, Z. Sha, y M. Yu. 2008. "Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review." *Journal of Plant Ecology* 1:9–23.
- Yen, D. 1989. "The domestication of environment." Pp. 55–78 en *Foraging and Farming: The Evolution of Plant Exploitation* (D. Harris y G. Hillman, Eds.). Unwin Hyman, London.
- Zeder, M. A., E. Emshwiller, B. D. Smith, y D. G. Bradley. 2006. "Genetics, archeology and the origins of domestication." *Trends in Genetics* 22:139–55.

- Zhang, H., Y. Zeng, y L. Bian. 2010. "Simulating multi-objective spatial optimization allocation of land use based on the integration of multi-agent system and genetic algorithm." *International Journal of Environmental Research* 4:765–76.
- Zimmerer, K. S. 1996. *Changing Fortunes: Biodiversity and Peasant Livelihood in the Peruvian Andes*. University of California Press, Berkeley.
- . 2003a. "Geographies of seed networks for food plants (potato, ulluco) and approaches to agrobiodiversity conservation in the Andean countries." *Society Natural Resources* 16:583–601.
- . 2003b. "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* 20:107–23.
- . 2010. "Biological diversity in agriculture and global change." *Annual Review of Environment and Resources* 35:137–66.
- Zohary, D., y M. Hopf. 1988. *Domestication of Plants in the Old World*. Clarendon Press, Oxford.
- Zolli, A., y A. M. Healy. 2012. *Resilience: Why Things Bounce Back*. Free Press, Simon Schuster Inc., New York.

Sobre los autores

Devra Jarvis es científica principal de diversidad genética, productividad y resiliencia en Bioversity International (anteriormente, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IPGRI). También ocupa los puestos de Profesora Adjunta, Departamento de Ciencias de Cultivos y Suelos, Pullman de la Universidad Estatal de Washington, Washington, y Profesora Adjunta, Universidad IAV Hassan II, Rabat, Marruecos. Lidera el trabajo científico interdisciplinario de Bioversity International sobre el desarrollo de prácticas que utilizan la diversidad genética de cultivos locales para mantener y mejorar la productividad y la resiliencia en los sistemas de producción de los pequeños agricultores, y ha publicado ampliamente junto con los socios colaboradores del norte y del sur involucrados en este trabajo.

Toby Hodgkin es el Coordinador de la Plataforma para la Investigación de la Agrobiodiversidad y Miembro Honorario de Bioversity International. Después de trabajar como genetista / mejorador de cultivos vegetales, se unió a la Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos (posteriormente IPGRI y luego Bioversity International) para trabajar en el mantenimiento y uso de la diversidad genética de los cultivos. Ha trabajado en la conservación in situ de cultivos y sus parientes silvestres desde 1990, publicando extensamente sobre diferentes aspectos de la conservación y uso y coeditando libros sobre colecciones básicas de recursos genéticos y sobre la ampliación de la base genética de cultivos.

Anthony Brown es investigador honorario (anteriormente investigador científico en jefe) de CSIRO Plant Industry, Australia, y de Bioversity International, Roma, Italia. Su investigación se ha centrado en genética de poblaciones de plantas, fitomejoramiento, genética de conservación, evolución y sistemática molecular. Ha participado en misiones de recolección de plantas para parientes silvestres de cultivos, dos de cebada silvestre (Israel, Irán) y seis de *Glycine* y *Gossypium* silvestres en muchas regiones de Australia.

John Tuxill es profesor adjunto en el Fairhaven College of Interdiscipline Studies, Western Washington University, en Bellingham, Washington. Además de etnobotánica, imparte cursos de etnoecología, ciencias de la biodiversidad, agricultura sostenible, restauración ecológica y lengua maya yucateca. Ha vivido en Yucatán, México y en la provincia de Darién, Panamá.

Isabel López Noriega ha trabajado como investigadora en la Cátedra UNESCO de Medio Ambiente, en la Universidad Juan Carlos, en Madrid, España. Se unió a Bioversity International, en Roma, como experta legal, y ha coordinado y ha estado involucrada en un gran número de proyectos internacionales sobre recursos fitogenéticos, analizando cuestiones legales y políticas relacionadas con la conservación y el uso sostenible de dichos recursos.

Melinda Smale es profesora de Desarrollo Internacional, Departamento de Economía Agrícola, Alimentaria y de Recursos de la Universidad Estatal de Michigan. Su investigación ha enfatizado el desarrollo de métodos para evaluar el valor de la biodiversidad de los cultivos y la identificación de políticas para mejorar la utilización y gestión de los recursos genéticos de los cultivos, particularmente en las economías en desarrollo.

Bhuvon Sthapit es científico principal de conservación in situ en Bioversity International, y coordina las actividades de conservación en granjas / in situ en la región de Asia, el Pacífico y Oceanía. Ha sido mejorador principal de Arroz en el Consejo de Investigación Agrícola de Nepal, Khumaltar, y Director de Programa de la ONG nepalesa, Iniciativas Locales para la Biodiversidad, Investigación y Desarrollo, y ha publicado numerosas publicaciones sobre fitomejoramiento participativo y enfoques de gestión de la biodiversidad basados en la comunidad.

