

SE
120
.3
P58

LOS BANCOS GENETICOS Y LA ALIMENTACION MUNDIAL

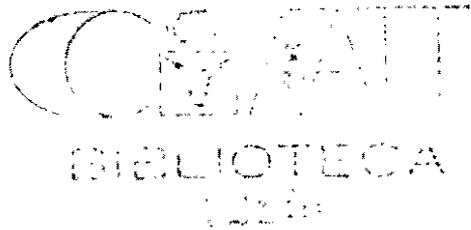
SERVICIO EDITORIAL IICA



LOS BANCOS GENETICOS Y LA ALIMENTACION MUNDIAL

Donald L. Plucknett
J.T. Williams

Nigel J.H. Smith
N. Murthi Anishetty



16 ABR. 1993

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
Centro Internacional de Agricultura Tropical
San José, Costa Rica
1992

COLECCION HISTORICA 1992/12/13

- © 1987, Gene Banks and the World's Food, Princeton University Press, New Jersey, USA.
- © para esta edición, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
Octubre, 1992.

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización escrita del IICA.

Las ideas y planteamientos contenidos en los artículos firmados son propios de los autores y no representan necesariamente el criterio del IICA.

El Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola (CIDIA), a través de su Servicio Editorial e Imprenta, es responsable por la revisión estilística, levantado de texto, montaje, fotomecánica e impresión de esta publicación.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), es responsable por la traducción al castellano de este documento.

Los bancos genéticos y la alimentación mundial / Donald L. Plucknett . . . [et al.] ; trad. por CIAT. — San José, C.R. : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1992.
260 p. ; 23 cm. — (Colección Investigación y Desarrollo ; no. 21)

ISBN 92-9039-200-2

1. Banco de genes. 2. Recursos genéticos. 3. Seguridad alimentaria. I. Plucknett, Donald L. II. IICA. III. CIAT. IV. Título. V. Serie.

AGRIS F30

DEWEY 581.15

Colección Investigación y Desarrollo no. 21

La Colección Investigación y Desarrollo tiene por objetivo servir como instrumento para la comunicación de los resultados y hallazgos de la investigación en el sector rural en las Américas.

San José, Costa Rica, 1992

*A la memoria de
Nikolai Vavilov
Explorador de la flora,
genetista y biogeógrafo*

CONTENIDO

| | |
|--|---------------|
| Prefacio | Pág. 9 |
| Nota sobre terminología | 15 |
| Reconocimientos | 17 |
| Capítulo 1 Bancos genéticos: un recurso mundial | 19 |
| Capítulo 2 Semillas y recursos fitogenéticos | 35 |
| Capítulo 3 Recolectores de plantas y bancos genéticos | 57 |
| Capítulo 4 Bancos genéticos | 87 |
| Capítulo 5 Biotecnología y recursos genéticos | 113 |
| Capítulo 6 Genes en los bancos | 127 |
| Capítulo 7 Dividendos de los bancos genéticos | 157 |
| Capítulo 8 Especies silvestres: Un acervo genético más amplio | 171 |
| Capítulo 9 Caso de estudio en germoplasma de arroz: IR36 | 189 |
| Capítulo 10 El futuro de los bancos genéticos | 205 |

| | | |
|--------------------------|--|-----|
| Apéndice 1. | Centros internacionales de investigación agrícola del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAl) | 217 |
| Apéndice 2. | Acrónimos de instituciones internacionales, regionales y nacionales (públicas y privadas) que poseen bancos genéticos importantes. | 219 |
| Apéndice 3. | Países con instalaciones para el almacenamiento de germoplasma, actualmente en funcionamiento o en construcción, a marzo de 1985 | 223 |
| Apéndice 4. | Colecciones básicas de cultivos de semilla en la red del <i>International Board for Plant Genetic Resources</i> (IBPGR), marzo de 1985 | 225 |
| Apéndice 5. | Bancos genéticos de campo dentro de la red del <i>International Board for Plant Genetic Resources</i> , marzo de 1985. | 228 |
| Literatura Citada | | 229 |

PREFACIO

Los bancos genéticos suscitan actualmente mucho interés tanto en los debates científicos como en los de políticas oficiales. Del intenso interés público hacia la ingeniería genética surge la expectativa de que la biotecnología, en general, introducirá mejoras notables en las plantas cultivadas y en los animales domésticos. Mientras se avanza en el área de la ingeniería genética a una velocidad cada vez mayor, el futuro de la humanidad se empobrece porque uno de los patrimonios más importantes del mundo, la diversidad genética de nuestras plantas cultivadas y de sus formas silvestres, se está erosionando. En cada continente, y aún en pequeñas naciones aisladas, surgen hoy bancos genéticos de especies cultivadas, en los cuales se mantienen no sólo plantas a temperatura y humedad reducidas, sino también otros materiales vegetales, ya sea en tubos de ensayo o en colecciones de campo. Estos bancos son los ejes del esfuerzo global para conservar hoy tanto como sea posible del acervo genético de las plantas cultivadas, y para aprovechar estas reservas en beneficio de la humanidad.

Aunque existe un consenso general en la comunidad científica y en la opinión pública, tanto de los países industrializados como de los que están en desarrollo, sobre la necesidad de la conservación de los recursos vegetales y animales con fines agrícolas y para otros propósitos, han surgido algunos interrogantes acerca de la mejor manera de preservar la diversidad genética. Hay quienes argumentan, por ejemplo, que hay que seguir cultivando las antiguas variedades que han sido descartadas por los agricultores. Otros insisten en que, para la mayoría de las especies cultivadas, los bancos genéticos son la manera más práctica de salvaguardar el material genético, mientras las especies relacionadas con aquellas pueden conservarse en sus zonas naturales. La comunidad científica ha optado por apoyar firmemente aquellos bancos genéticos que se valen de otros métodos asociados y complementarios de conservación.

Abundan también las diferencias de opinión acerca de quiénes deben poseer y operar los bancos genéticos; algunos observadores indican que las colecciones del germoplasma vegetal (materiales genéticos) están controladas principalmente por los países occidentales industrializados y que, en consecuencia, ellas existen para beneficiar a las empresas multinacionales. Además el tema de la conservación y uso de los recursos genéticos vegetales ha sido confundido con un tema relacionado: el de los derechos o patentes de las variedades vegetales. En general, el germoplasma no mejorado de las especies alimenticias se transporta libremente entre las naciones, sin embargo a los ojos de algunos las patentes serían una amenaza potencial para los agricultores.

Los bancos genéticos garantizan la productividad de gran parte de la tierra agrícola de los países industrializados y de los que están en desarrollo; además las intensas discusiones que actualmente se entablan en la literatura erudita y en la prensa popular hacen oportuna una revisión de los temas científicos y de las consecuencias políticas que tiene el trabajo sobre el germoplasma vegetal. Esta obra se dirige a un amplio auditorio de ciudadanos interesados, de autoridades responsables, y de investigadores en ciencias agrícolas y ambientales, así como a los científicos sociales preocupados por la agricultura y el desarrollo rural. Nuestro enfoque global enfatizará la vinculación científica entre las naciones desarrolladas y el Tercer Mundo y también su interdependencia en el esfuerzo mundial para elevar la producción agrícola.

En el primer capítulo, "Bancos genéticos: un recurso mundial", se justifica la existencia de los bancos genéticos destacando las dimensiones de la creciente población mundial y la necesidad de incrementar aún más la productividad agrícola. En este capítulo se subraya también la importancia de los bancos genéticos al señalar brevemente lo que significa la pérdida progresiva de la diversidad genética de las plantas cultivadas y de las variedades relacionadas con ellas, así como las razones de esta pérdida. En esta introducción se describen brevemente algunos ejemplos infortunados y poco conocidos, de cómo la simplificación genética en regiones agrícolas puede ocasionar tremendos fracasos en la productividad. En el Capítulo 2, "Semillas y recursos fitogenéticos", se explora la naturaleza dinámica de la agricultura moderna que se centra en la breve vida útil, o sea la sustitución, de las variedades. También se examinan las estrategias de mejoramiento empleadas para lograr variedades más flexibles a los retos ambientales. Se examinan algunos sistemas de producción de semillas, incluyendo la semilla híbrida, y se esbozan algunas medidas de control de calidad; también se menciona el impacto, actual y potencial, de las patentes vegetales.

En el tercer capítulo, "Recolectores de plantas y bancos genéticos", se explora la historia de la preservación e intercambio de germoplasma, desde los jardines botánicos a las modernas unidades de almacenamiento en frío. Se describen las actividades de los recolectores aficionados y profesionales, así como las funciones que, en otras épocas, desempeñaron los cónsules y los servicios coloniales. Se

describe también la transición hacia los modernos bancos genéticos durante el siglo XX.

Los principios que guían la recolección y utilización modernas del germoplasma de nuestros cultivos son el tema del cuarto capítulo, "Bancos genéticos". En este capítulo se describe un banco genético típico, incluyendo la preparación de los materiales para su introducción en las colecciones, hasta los métodos de almacenamiento y evaluación. Se trata aquí algunos temas científicos relacionados con los métodos más apropiados de preservar el germoplasma, incluyendo la conservación de zonas naturales para las formas silvestres de las especies cultivadas, y se analiza los problemas que a veces enfrentan los bancos genéticos, indicando medidas correctivas.

En el Capítulo 5, "Biotecnología y recursos genéticos", se esbozan algunos progresos logrados recientemente con la aplicación de las tecnologías del ADN recombinante a la agricultura. Si bien en el futuro previsible, las técnicas tradicionales de cultivo seguirán siendo el medio más utilizado para la incorporación de genes deseables a las plantas, algunos aspectos de la biotecnología, como por ejemplo el cultivo de tejidos, han sido empleados por los fitomejoradores durante décadas. Se trata aquí de éstas y otras técnicas, exploradas hoy día por empresas privadas e instituciones públicas, que pronto proporcionarán beneficios tangibles a la agricultura. A medida que progrese la investigación de la biotecnología, aumentará el valor de los bancos genéticos.

El status que poseen los bancos genéticos y dónde están localizados son el tema central del Capítulo 6, "Genes en los bancos" donde se presenta la última información disponible sobre la cantidad de germoplasma por especie cultivada. Se trata aquí de cereales, raíces, leguminosas, hortalizas y algunas plantas de importancia industrial, así como de datos sobre plantas domesticadas y sus parientes silvestres, cuando sea posible, ya que estos últimos, además de poseer atributos propios, son a menudo útiles para mejorar la resistencia de las plantas cultivadas a las plagas y enfermedades. Se trata aquí de los métodos de almacenamiento, de las fuentes de materiales y del grado de redundancia de las colecciones. Las listas de accesiones revelan la magnitud de las colecciones de germoplasma y, cuando las accesiones han sido evaluadas, estas listas ayudan a señalar ausencias de germoplasma. Este capítulo indica los países del Tercer Mundo que detienen una porción sustancial del germoplasma mundial en almacenamiento a largo plazo, y los bancos genéticos operados principalmente por programas nacionales, tanto en los países industrializados como en aquellos en desarrollo, así como por centros internacionales de investigación agrícola. Las empresas privadas se dedican más a reunir colecciones de trabajo que a dirigir instalaciones de almacenamiento a largo plazo.

La principal justificación para la conservación de germoplasma es su efectividad en servir a la agricultura de hoy y del futuro. El simple almacenamiento de

materiales como en un museo no es razón suficiente, y las vagas promesas de posibles recompensas en un futuro distante rara vez generan apoyo financiero. Las autoridades responsables y las organizaciones donantes están especialmente interesadas en que la actividad de los bancos genéticos genere retribuciones inmediatas para agricultores y consumidores. Si los bancos genéticos ya están sirviendo a un fin útil, los éxitos obtenidos despertarán el interés y captarán los recursos financieros. En el Capítulo 7, "Dividendos de los bancos genéticos", se destaca los métodos específicos utilizados por los científicos cuando extraen materiales de los bancos de germoplasma para responder a los retos de la productividad agrícola, y se presenta algunos ejemplos de como los bancos genéticos han sido aprovechados para mejorar la resistencia a plagas y enfermedades y para adaptar las plantas a climas y suelos adversos.

En su mayoría, los bancos genéticos almacenan muestras de variedades tradicionales y de otras más recientes que ya no están en uso; las especies silvestres también están representadas y desempeñan una función crucial en la expansión de la base genética de las especies cultivadas. La importancia que tienen las especies silvestres para las plantas cultivadas se describe en el Capítulo 8, "Especies silvestres: el acervo genético más amplio". Varios de nuestras plantas cultivadas fueron malezas en un principio, y algunas se han beneficiado del intercambio espontáneo de genes con sus parientes silvestres. Se resume también las ventajas del uso del germoplasma silvestre para el mejoramiento de las especies cultivadas. Se subraya el valor de las accesiones silvestres con los bancos genéticos, así como la importancia de conservar el habitat natural.

El Capítulo 9, "Caso de estudio en germoplasma de arroz: IR36", presenta en primer plano la labor de cooperación entre fitomejoradores y otros científicos agrícolas, quienes, investigando las reservas genéticas de arroz produjeron una variedad exitosa de alto rendimiento, la primera de una serie dentro de la llamada "revolución verde". Aquí se recalca la naturaleza dinámica de los agro-ecosistemas y el modo como los científicos han respondido a la variedad caleidoscópica de las plagas y enfermedades, empleando eficazmente los bancos de germoplasma de arroz para producir variedades nuevas. La historia de IR36 ilustra también claramente cómo el trabajo de equipo y la unión de los esfuerzos de los científicos de diversas disciplinas pueden producir una tecnología viable para los pequeños agricultores. La "revolución verde" del arroz empezó con IR8 en 1966; en pocos años, sin embargo, esta variedad enana y algunos de sus sucesores sufrieron serias pérdidas en ciertas zonas, en particular en Indonesia, donde sufrieron el ataque de una generación de plagas y organismos patógenos de rápida evolución. Con IR36, los mejoradores lograron incorporar resistencia a una amplia variedad de las enfermedades y plagas que habían causado daño a IR8. La genealogía de IR36 es compleja y demuestra cómo numerosas líneas de cultivos, procedentes a menudo de países diferentes, participan en el desarrollo de las variedades modernas. Un perseverante esfuerzo de equipo y la disponibilidad de genes valiosos recogidos en varias naciones y almacenados en bancos genéticos permitieron a los mejoradores lanzar la variedad de arroz más ampliamente sembrada en la historia.

En el capítulo final, "El futuro de los bancos genéticos", se examinan los progresos logrados en la conservación del germoplasma, y se definen algunas tareas futuras como por ejemplo, una mejor evaluación de las accesiones existentes, una mayor repetición de las colecciones para evitar pérdidas irreparables, más oportunidades de capacitación para los especialistas en germoplasma vegetal, y una mayor consolidación de los programas nacionales de investigación agrícola en el Tercer Mundo. Se examinan los méritos relativos ya sea de fortalecer los actuales sistemas de almacenamiento y de intercambio de germoplasma o de remodelar completamente las instalaciones en uso actualmente, poniéndolas bajo el control de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Se propone un fondo internacional para sostener el trabajo hecho en recursos genéticos y, para concluir, se adelanta algunas hipótesis sobre el porvenir de la actividad de los bancos genéticos en el siglo XXI.

NOTA SOBRE TERMINOLOGIA

Nos hemos abstenido al máximo de usar un lenguaje demasiado técnico en este libro, pero creemos que es necesario, en ocasiones, emplear términos quizás poco familiares para el lector. Definiremos ahora algunos términos biológicos en beneficio de quienes no están directamente relacionados con el trabajo que exige el germoplasma.

Los bancos genéticos pueden ser *ex situ*, cuando las semillas o partes de la planta se preservan fuera de su zona de origen, o *in situ*, cuando las plantas, incluyendo los parientes silvestres de las especies cultivadas, se dejan en el lugar natural de preservación. Los bancos genéticos contienen especies vegetales preservadas en forma de semilla o bien sembradas en parcelas, las cuales se conocen como bancos genéticos de campo. Se está investigando el almacenamiento de algunas plantas en forma de cultivos de tejidos en recipientes de vidrio (*in vitro*) para ahorrar espacio y reducir costos. Para hallar un medio de almacenar materiales vegetativos durante períodos prolongados, se realiza experimentos sobre criopreservación en los cuales los cultivos de tejidos se mantienen a -196°C . Algunos bancos genéticos especializados mantienen también colecciones de reservas genéticas, por ejemplo, de mutantes.

Las plantas preservadas en forma de semilla pertenecen a dos clases: aquellas con semillas convencionales que se pueden secar a niveles de humedad entre 4 y 6 por ciento y mantener luego a temperaturas hasta de -20°C ; y aquellas con semillas recalcitrantes o sea, que no sobreviven al secamiento ni a la congelación. Las especies que no producen semilla o aquellas cuya semilla es recalcitrante, se almacenan generalmente en bancos genéticos de campo.

Los genes, que están contenidos en los organismos vivos, son el plano genético de la información que se necesita para toda la vida biológica del organismo y son

CIEMAT

responsables de las características de plantas, animales y microbios. Un genotipo es por lo tanto una combinación única y diferenciada de genes en un organismo, y los bancos genéticos son, hasta ahora, el único lugar donde se almacena sistemáticamente los genotipos de las plantas. Las colecciones de germoplasma vegetal son conjuntos de genotipos que corresponden a variedades primitivas, o razas nativas, de la agricultura autóctona, a cultivares obsoletos, a variedades modernas que son el producto del mejoramiento científico, y a parientes silvestres -incluyendo las malezas- de las especies cultivadas. Los términos variedad y cultivar se usan como sinónimos.

El acervo genético de una planta cultivada es una categoría amplia que abarca los recursos genéticos de las especies, incluyendo el material que se puede cruzar con ellas y que contribuye con sus genes. El acervo genético de una planta contiene frecuentemente los parientes silvestres. El flujo de genes se refiere al intercambio de genes entre plantas individuales y entre poblaciones de plantas. La erosión genética es la pérdida de genes en un acervo genético a causa de la eliminación de poblaciones por factores tales como la adopción de variedades modernas y el desmonte de tierras con vegetación.

Una accesión de un banco genético es una muestra vegetal que se ha recibido para procesamiento y eventual almacenamiento y evaluación. Es similar a una accesión de biblioteca que está destinada a ser catalogada y mantenida en la estantería. Para ser útiles a los mejoradores, las accesiones deben primero examinarse por sus reacciones a diversos organismos patógenos (agentes que causan enfermedades) y a otros estreses ambientales. Los genes de una accesión evaluada pueden convertirse en líneas mejoradas, las cuales conducirán finalmente al desarrollo de nuevas variedades que serán distribuidas a los agricultores. Durante el proceso de mejoramiento, puede ser necesario retrocruzar varias veces una accesión con sus líneas progenitoras (generalmente materiales avanzados de mejoramiento) para retener el gen o los genes deseados mientras se eliminan las características indeseadas. Los científicos pueden también recurrir al cruzamiento amplio, o cruzamiento de las plantas con otras especies -por ejemplo parientes silvestres- para obtener rasgos deseables. Una meta importante del fitomejoramiento es la resistencia poligénica a las plagas y enfermedades, mediante la cual una variedad está protegida por varios genes. Generalmente, la resistencia poligénica retarda la aparición de insectos dañinos y de organismos patógenos capaces de superar las defensas del cultivo. La resistencia monogénica (gen único), a menudo llamada resistencia vertical, es, en general, menos estable que la resistencia poligénica.

Las accesiones de los bancos genéticos son generalmente razas nativas o variedades tradicionales seleccionadas por los agricultores. Muchos bancos genéticos contienen también variedades modernas que ya no están en uso, así como especies silvestres.

En el Apéndice 2 hay una lista de las siglas usadas en todo el texto y de las organizaciones que ellas representan.

RECONOCIMIENTOS

Estamos agradecidos a Dana Dalrymple, David Jewell, Quentin Jones, Garrison Wilkes, y a un revisor anónimo por sus comentarios a una versión anterior del manuscrito. T. T. Chang y Brent Ingram también hicieron contribuciones útiles a algunas secciones de un borrador preliminar. Agradecemos también a Judith May de Princeton University Press por sus muchas sugerencias útiles para mejorar la organización y claridad del manuscrito.

La investigación que precedió a este libro fue sostenida, en parte, por una beca Guggenheim concedida a Nigel J. H. Smith.



BANCOS GENETICOS: UN RECURSO MUNDIAL

La población humana de la tierra ha alcanzado 4.8 mil millones y se estima que esta cifra se duplicará, por lo menos antes de llegar a un punto de estabilización. Cómo alimentar esta creciente población constituye un reto formidable para todo el género humano. Para algunos países no hay otra alternativa que un mayor uso de tierras marginales para la agricultura, y este enfoque requiere la producción de especies cultivadas específicamente para condiciones desfavorables. Pero si no queremos evitar daños adicionales a los ambientes marginales y la reducción cada vez mayor de los rendimientos, gran parte de ese incremento de la producción de alimentos que buscamos tendrá que venir de un aumento de la productividad en las tierras agrícolas existentes. La manipulación genética de las plantas es una de las principales formas de mejorar la productividad agrícola (Ayensu 1978). La otra consiste en abrir nuevas tierras agrícolas lejos de los centros de población, estrategia que podría destruir o amenazar seriamente los habitats naturales del mundo entero. Nuestras reducidas zonas silvestres, que son almacenes de genes potencialmente útiles para la agricultura, la medicina y la industria, están cada vez más amenazadas por los asentamientos humanos abusivos.

El aumento y mantenimiento de la productividad agrícola, que constituye la alternativa sana a un deterioro adicional de las restantes zonas silvestres y zonas marginales, levanta inquietudes científicas, sociales y políticas. El mejor comportamiento de las especies cultivadas depende de un buen conocimiento científico en varias disciplinas: agronomía, entomología, genética, fitopatología y ciencias del suelo. El fitomejoramiento, surgido del campo de la genética, tiene una función central que cumplir en el esfuerzo mundial para mejorar la producción agrícola, y los fitomejoradores dependen de los recursos genéticos para producir variedades mejor adaptadas y de mayor rendimiento. El mantenimiento de la diversidad genética de las especies cultivadas así como la conservación de las plantas y de los

animales silvestres se ha convertido, por lo tanto, en un principio básico en las estrategias para lograr un desarrollo agrícola sostenido. Los científicos, y el público en general, han llegado a comprender los beneficios a largo plazo de la conservación de la diversidad biológica y de los habitats en que se halla.

Desde la antigüedad, los agricultores han sido los custodios de los recursos genéticos vegetales, pero hoy el germoplasma de las especies cultivadas se preserva cada vez más en bancos genéticos. Este alejamiento radical de la tradición es parcialmente responsable de la actual controversia sobre la preservación y uso de la diversidad genética de los cultivos. Los bancos genéticos contienen muestras de germoplasma de fácil alcance por los fitomejoradores. Los científicos necesitan tener a mano materiales bien preservados y evaluados para poder afrontar las muchas amenazas que pesan sobre la productividad agrícola.

Sin la comodidad y confiabilidad de los bancos genéticos, los mejoradores tendrían que realizar continuamente expediciones en búsqueda de muestras para sus programas de mejoramiento. Además, los bancos genéticos contienen variedades tradicionales que ya no se cultivan, así como poblaciones de parientes silvestres de especies cultivadas que de otro modo podrían haberse extinguido por la extensión de la agricultura u otras formas de desarrollo. Las especies silvestres preservadas en habitats naturales deben complementar los bancos genéticos *ex situ*.

La expectativa suscitada por los debates sobre los recursos genéticos de especies cultivadas ha pasado al escenario político. Han surgido algunas preguntas sobre quiénes deben poseer genes, y si será posible o aconsejable patentarlos. Algunas personas argumentan que las colecciones de diversidad genética de especies cultivadas están en manos de las naciones industrializadas y están siendo explotadas principalmente por empresas multinacionales. Los países industrializados son percibidos por algunos como los "beneficiados", como los que obtienen la parte del león en los recursos fitogenéticos, a costas de las naciones en desarrollo.

Demostremos que, en virtualmente cada país, los recursos fitogenéticos están siendo usados por los fitomejoradores para beneficio de los agricultores y de los consumidores. Aún más, demostraremos que el esfuerzo permanente para conservar la diversidad genética de las plantas es mundial, abarcando instituciones internacionales, regionales y nacionales, y que las organizaciones públicas y privadas acuden a los bancos genéticos para mejorar las variedades que producen. Además, argumentaremos que, cuando sea posible, el germoplasma de cultivos debe conservarse en forma de semillas a baja temperatura, o en el caso de especies cultivadas que no pueden almacenarse de esta manera, en tubos de ensayo y en bancos genéticos de campo. Finalmente, expondremos que la diversidad genética de los parientes silvestres de las especies cultivadas también necesita ser protegida en reservas naturales.

Para incentivar una mejor apreciación de la urgencia de conservar la diversidad genética de las especies cultivadas, tanto en los bancos genéticos como en los

habitats silvestres, revisaremos los orígenes del enriquecimiento genético, la disminución de la diversidad genética en las tierras agrícolas y los peligros de la erosión genética. El principal objetivo de este capítulo es proporcionar la justificación para la conservación de la diversidad genética de las plantas cultivadas, estudiando algunos casos donde las zonas agrícolas se han vuelto vulnerables a reducciones considerables de la productividad a causa de una estrecha base genética.

Enriquecimiento de los recursos genéticos de las especies cultivadas

Desde los albores de la agricultura, hace por lo menos 10.000 años, los agricultores han estado seleccionando las plantas cultivadas adecuadas para una amplia variedad de ambientes. Comenzando con una zona pequeña para cada especie o, en algunos casos, varias zonas, se eligieron plantas para ambientes diversos y gustos dispares: preferencias de color, aroma, textura y calidad de cocción. El maíz (*Zea mays*)¹ por ejemplo se domesticó en México, y cuando los europeos llegaron a las costas del Nuevo Mundo, el grueso y ergido cereal susurraba en las brisas efímeras de los elevados valles montañoses de los Andes, competía firmemente con las malezas en las selvas calientes y húmedas de las tierras bajas del Amazonas y maduraba en los campos irrigados, sustraídos al desierto costero del occidente de América del Sur.

Comenzando con una tusa de maíz del tamaño de un dedo, con granos igualmente diminutos, como los del maíz para hacer palomitas, los agricultores han seleccionado razas de maíz con una extraordinaria variedad de tamaños de tusa, formas de grano y colores. El maíz indio seco, vendido en las tiendas de los Estados Unidos, especialmente en el Día de Acción de Gracias, da una idea aproximada de la diversidad genética de la antigua planta. Algunos maíces fueron elegidos principalmente para hacer harina, otros para comer hervidos o asados, aún otros para preparar bebidas. En los altiplanos peruanos, por ejemplo, un maíz brillante, de color púrpura se aplasta y se cuele para hacer una bebida del color de la toronja, ligeramente fermentada llamada "chicha de jora".

A medida que las plantas domesticadas se difundieron, los hombres y mujeres mantuvieron los ojos abiertos para detectar rasgos potencialmente útiles. Cuando las plantas cultivadas fueron llevadas a otras islas y continentes, su diversidad genética a menudo recibió un mayor impulso debido a las nuevas oportunidades evolutivas. Cuando una especie se introduce a un nuevo ambiente, a menudo experimenta cambios particularmente rápidos al enfrentarse a nuevos retos. Se producen nuevas combinaciones genéticas a medida que las plantas experimentan la radiación adaptativa y a medida que los genotipos responden a los diferentes climas y suelos y son atacados por plagas y organismos patógenos que antes no conocían (Chang 1983a). También, cuando las plantas cultivadas son sacadas de

sus zonas de origen pueden encontrar parientes diferentes y cruzarse con ellos. En el occidente de Africa, por ejemplo, el arroz asiático común (*Oryza sativa*) ha producido un híbrido con *O. glaberrima*, un arroz autóctono cultivado, enriqueciendo de ese modo el acervo genético del arroz en la región (Ng, 1979; Ng *et al.*, 1983). A veces las especies cultivadas desarrollan centros secundarios de variación con una mayor riqueza genética que sus zonas de origen (Harlan 1972).

Los agricultores han aprovechado este proceso de cambio acelerado para seleccionar variedades o razas nativas tradicionales para los nuevos micro-ambientes (Figuras 1.1, 1.2). Con la domesticación, las plantas experimentaron cambios rápidos y radicales porque los seres humanos ejercieron una fuerte presión de



Figura 1.1. Dos variedades de arroz (*Oryza sativa*) cultivadas en pantanos cerca de Banjarmasin, al sur de Kalimantan (Borneo), Indonesia, febrero 1985. Esta zona baja del sur de Kalimantan contiene miles de variedades de arroz desarrolladas para diferentes preferencias y adaptadas a numerosas micro-ambientes.

selección en un rico acervo de variación genética (Vavilov 1949). Los ciclos repetidos de siembra y de cosecha dieron lugar a una acumulación de mutaciones y a la selección de caracteres deseables (Harlan 1965 1975a; Chang 1976a). En la agricultura primitiva, los agricultores a menudo cultivan mezclas de genotipos, aumentando así las oportunidades para que se realice un cruzamiento adicional. En las zonas más frescas y montañosas de América Latina, por ejemplo, los agricultores a menudo siembran una mezcla multicolor de variedades de frijol (*Phaseolus* spp.), como una cerca viva contra un clima inclemente. Las diferentes variedades de frijol poseen una germinación desigual y algunas plantas sobrevivirán si las lluvias tempranas de verano no llegan o se retrasan (Clawson 1985). En tiempos de Cristo, la mayoría de nuestras especies cultivadas habían sido domesticadas y dispersadas lejos de sus hogares ancestrales (C.O. Sauer 1969). A medida que las diferentes culturas seleccionaban las especies cultivadas y les proporcionaban nuevas condiciones de crecimiento, éstas se diversificaban.

La diversificación de los cultivos continuó durante las épocas coloniales, desde la extensión de la civilización romana hasta que los ingleses, holandeses, portugueses y españoles se instalaron en las zonas tórridas y subtórridas. Las culturas en expansión incentivaban el intercambio de plantas entre los continentes y los archipiélagos. En 1505, por ejemplo, los exploradores portugueses habían llevado la batata (*Ipomoea batatas*) desde Brasil a Goa, en India; desde allí otros comerciantes llevaron esta tan apreciada raíz a Indonesia y Polinesia (Baker 1970a:52). A mediados del siglo XVI, la batata era un cultivo popular en las huertas de España y Portugal (McAlister 1984:469).

Colón trajo semillas en su primer viaje a las Américas, pero ellas aparentemente perecieron. En el segundo viaje en 1492, sin embargo, trajo semillas de trigo, garbanzo (*Cicer arietinum*), melones, cebollas, rábano (*Raphanus sativus*), legumbres, vides de uva, caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y semillas de frutas para establecer huertas frutales (Crosby 1972:67). A principios de 1500, los colonos españoles en México buscaban ansiosamente semillas y plantas de Europa. En su cuarta carta a Carlos V de España en 1524, Hernán Cortés imploraba: "También he informado a su Majestad Cesariana de la necesidad que tenemos de plantas de cada especie, porque esta tierra es adecuada para todas las clases de agricultura. Y porque hasta ahora nada ha sido enviado, otra vez suplico a su Majestad, ya que será un gran servicio, que envíe una orden a la Casa de Contratación en Sevilla para que cada buque traiga un cierto número de plantas y se les prohíba navegar sin ellas, puesto que ellas serían muy provechosas para la colonización y prosperidad de esta tierra"².

Los ruegos de Cortés y de otros en México dieron resultado. La corona pronto exigió a todos los buques que navegaban hacia el Nuevo Mundo llevar semillas, estacas, raíces y ganado (McAlister 1984:469). Comenzando en el siglo XVI, las órdenes de misioneros también contribuyeron al flujo de plantas y animales del Viejo Mundo a México. Con cada introducción, las plantas cultivadas tenían nuevas oportunidades para adaptarse y cambiar. Los cereales, leguminosas y plantas vegetales del Viejo Mundo, traídos al Nuevo Mundo evolucionaron y formaron

tipos diferenciados en su nuevo ambiente. Este proceso empezó a finales del siglo XV y continuó intermitentemente durante el dominio colonial. Joseph Dombey, un colector de plantas y naturalista francés, contratado por las autoridades españolas y francesas para un viaje a Perú en 1777, escribió que estaba trayendo "abundantes semillas y frutas para sembrar en América y devolver a estos indios salvajes con una mano lo que les quitó con la otra" (Steele 1964:64).

Aunque el proceso de intercambio de cultivos se aceleró durante la época colonial, también se perdió algo de la diversidad genética, especialmente en el Nuevo Mundo. Los nativos de las Américas a menudo fueron devastados por enfermedades del Viejo Mundo como la viruela, la tuberculosis y el resfrío común introducidos por los exploradores, los negociantes y los misioneros; la despoblación masiva se inició a finales de 1400 y continúa hoy, cada vez que se hace contacto con una tribu aislada (Hemming 1978a,b). La difusión de enfermedades del Viejo Mundo en el centro de México, por ejemplo, fue en gran parte responsable de la reducción del 97 por ciento de la población original entre 1518 y 1618 (Cook y Borah 1979:168). Extensas zonas de tierras cultivadas se transformaron nuevamente en bosques o matorrales. Muchas razas nativas o variedades tradicionales de plantas cultivadas neotropicales perecieron indudablemente junto con las sociedades que las habían desarrollado. En Hispaniola, por ejemplo, los españoles lamentaban ya en 1568 la pérdida de las sabrosas variedades de batata como resultado del despoamiento tribal (Patiño 1963).

Con todo, probablemente fueron más las variedades que surgieron como resultado del intercambio de especies cultivadas entre los continentes e islas durante el período colonial que las que se perdieron debido a la desintegración cultural. Numerosas razas nativas de yuca (*Manihot esculenta*) y de maíz, por ejemplo, surgieron en Africa después de ser traídas del Nuevo Mundo por los portugueses (Purseglove 1975:308). El maíz llegó al occidente de Africa durante la segunda mitad del siglo XVI, y en 1900, ya existían amplios sembradíos en el continente, con la excepción de Uganda (Crosby 1972:186; Cock 1985:15). La yuca probablemente se trajo al Congo y a Angola en los años 1500 (Crosby 1972:187). En la mayoría de los poblados africanos donde se consume yuca, algunas variedades locales se cultivan por sus características específicas, incluyendo época de cosecha, rendimiento y utilización como hortaliza o para preparar pasta, harina o almidón (W. O. Jones 1959:98).

Disminución de la diversidad genética en las especies cultivadas

La tendencia general de enriquecimiento genético gradual de las plantas cultivadas se desaceleró considerablemente, y en algunos casos se detuvo, especialmente en las zonas donde las especies cultivadas se domesticaron o diversificaron con el advenimiento de las modernas prácticas de fitomejoramiento en la década de los 20.

A medida que los agricultores adoptaban variedades y prácticas agrícolas modernas, se pasaban generalmente al monocultivo y ésto causó la simplificación genética de muchas tierras agrícolas. Para alimentar una población humana en rápido crecimiento, los fitomejoradores que trabajan en las esferas pública y privada han concentrado sus esfuerzos en elevar el umbral de rendimiento de un número restringido de plantas. Los resultados han sido espectaculares. Los agricultores tradicionales, quienes son los primeros fitomejoradores, están tan preocupados por la estabilidad del rendimiento como por la alta productividad. La estrategia de cubrir las apuestas mediante la siembra de numerosas razas nativas y de especies mixtas en pequeños campos no mecanizados ha prevalecido durante la mayor parte de la historia agrícola, dando lugar a una agricultura generalmente estable pero de bajos rendimientos. Los mejoradores científicos, por otro lado, han centrado más su atención en el desarrollo de variedades de alto rendimiento que sean sensibles a los fertilizantes y resistentes a las enfermedades y plagas. Los mejoradores científicos dirigen cada vez más su atención a la adaptación de variedades a los ambientes difíciles. Como resultado, en las fincas modernas se siembran menos variedades pero en campos más grandes. En los Estados Unidos durante 1969, por ejemplo, cuatro o menos variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), algodón (*Gossypium hirsutum*), arveja (*Pisum sativum*), papa (*Solanum tuberosum*), arroz y batata representaron más de la mitad de los acres sembrados con cada planta (Wilkes 1983).

Hasta hace poco, gran parte del aumento de la producción agrícola había venido de la ampliación del área de tierra arada, pero ahora la tendencia se dirige hacia el mejoramiento de la productividad en la tierra arada existente, a medida que las regiones más hospitalarias de la tierra se pueblan excesivamente y los costos agrícolas se elevan vertiginosamente. En los últimos cincuenta años, la mayor parte del incremento de la producción en las fincas de las naciones industrializadas ha provenido de los mayores rendimientos obtenidos en la tierra agrícola existente y no de una ampliación de la zona cultivada. Los grandes avances logrados por la India para alimentarse en los últimos quince años en su mayor parte se deben a la introducción de variedades modernas y prácticas agronómicas mejoradas y no a la apertura de nuevas tierras agrícolas (Plucknett y Smith 1982; Leaf 1983).

Mientras los rendimientos han generalmente aumentado durante este siglo, la base genética de las especies cultivadas que entran al comercio mundial se ha reducido. Las fuerzas que originan la erosión genética de las principales especies comerciales y alimentarias en las zonas agrícolas tradicionales, y de sus parientes silvestres en los nichos autóctonos, incluyen el desplazamiento de las razas nativas por variedades modernas, la práctica del monocultivo, los asentamientos humanos que ocupan los habitats de los parientes de los cultivos, el desmonte de tierras, la creación de reservas, el sobrepastoreo, la recolección de madera para combustible y la extinción de los cultivos tribales con su cornucopia de razas nativas únicas (Timothy 1972; Timothy y Goodman 1979; Prescott-Allen y Prescott-Allen 1982a; Wilkes 1985). El desarrollo urbano en México y Guatemala, por ejemplo, ha usurpado el campo de algunas poblaciones de teosinte (*Zea mexicana*), el pariente más cercano del maíz (Wilkes 1985). En Egipto, algunas variedades de cultivos



Figura 1.2. Algunas variedades de árbol del plan (*Triticum aestivum*) cultivadas en un campo del norte de Siria, junio 1984.

tradicionales fueron inundadas cuando se cerró la represa de Aswan (IBPGR 1984a:45). El sobrepastoreo está amenazando a los parientes silvestres de la mayoría de las especies cultivadas en la Media Luna fértil del occidente de Asia y en el norte de Africa; las gramíneas y leguminosas silvestres esenciales para las tierras de llanura están también amenazadas. En la mayoría de las regiones áridas, la excesiva recolección de madera como combustible para las estufas amenaza muchas especies perennes y desestabiliza los suelos, poniendo en peligro la base misma de la vida rural. En el mundo industrializado, y cada vez más en muchas partes del Tercer Mundo, el uso de maquinaria, las preferencias de los consumidores, las fuerzas de mercadeo y los requerimientos de la industria de procesamiento de alimentos también han estimulado la siembra a gran escala de un acervo cada vez más reducido de variedades con características similares (Plucknett y Smith 1986a). Pocas variedades de tomate pueden sobrevivir los embarques, por ejemplo, y la industria de las papitas fritas ha impuesto límites en el número de variedades aceptadas por los cultivadores comerciales.

El desgaste de las especies y variedades es un proceso evolutivo normal; los agricultores estaban abandonando variedades tradicionales mucho antes del advenimiento del fitomejoramiento científico. En Europa medieval, por ejemplo, la gente cultivaba zanahorias de color púrpura, amarillo, blanco y anaranjado pero este último color ya predominaba mucho antes del siglo veinte.

Además, algunos conjuntos de germoplasma fueron obliterados antes del advenimiento de los modernos bancos genéticos. Se destruyó valiosas colecciones de frutos, hortalizas y plantas ornamentales adquiridas mediante introducciones provenientes de sitios tan lejanos como el occidente de Asia, cuando Enrique VIII, al romper relaciones con el Papa en 1534, ordenó el desmantelamiento de los monasterios ingleses y de sus jardines (McClellan 1981:213). Además catástrofes naturales, como sequías generalizadas, inundaciones y erupciones volcánicas, han devastado históricamente las razas nativas y las poblaciones de parientes silvestres de las especies cultivadas.

Pero el ritmo y la escala de la erosión genética en el siglo veinte no tienen precedentes. Los botánicos y agrónomos empezaron a manifestar su preocupación por la pérdida de variedades tradicionales a principios de 1900. J. Burt-Davy, por ejemplo, un botánico que trabajaba en Sudáfrica, notó en 1919 que la anteriormente popular variedad de avena Boer estaba siendo rápidamente reemplazada por la avena algeriana³. Burt-Davy recogió muestras de la variedad Boer, anteriormente la avena predominante en el Transvaal donde se usaba para forraje, y las envió a la Oficina de Introducciones de Semillas y Plantas Extranjeras (*Office of Foreign Seed and Plant Introduction*), adscrita a la Oficina de Industria Vegetal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (*United States Department of Agriculture's (USDA) Bureau of Plant Industry*), en Washington, D.C. En 1923, Harry V. Harlan, un agrónomo de esta oficina observó que algunas de las variedades más viejas de cereales en Argelia y Túnez estaban siendo reemplazadas por cultivares americanos⁴. Aún en oasis remotos del Sahara, como Mariout en Egipto, los tipos de variedades autóctonas estaban desapareciendo a medida que las mejores comunicaciones facilitaban la introducción de semillas nuevas.

La tendencia hacia una agricultura genéticamente más uniforme ha sido especialmente pronunciada desde la década de los 40 (Harlan 1975a). Desde la Segunda Guerra Mundial, por ejemplo, virtualmente todas las variedades de trigo locales en Grecia, Italia y Chipre han sido abandonadas y la mayoría de las razas autóctonas de sorgo (*Sorghum bicolor*) de Sudáfrica desaparecieron después de la distribución de algunos híbridos de Texas de alto rendimiento (IBPGR 1976). Este proceso de mayor uniformidad genética de las tierras agrícolas no se confina a las principales variedades de cereales. En el Reino Unido, muchas de las variedades más viejas de col de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) desaparecieron después de la distribución de híbridos en la década de los 60 (Innes 1975). Un patrón similar prevalece con muchos árboles frutales en Europa y América del Norte.

A medida que los agricultores ven los beneficios que brindan las variedades modernas, descartan generalmente las razas nativas, muchas de las cuales posterior-

mente desaparecen porque su sobrevivencia depende del hombre. Cuando los agricultores tienen acceso a semillas o clones superiores, obtienen crédito, usan lucrativamente los insumos adquiridos, como por ejemplo los fertilizantes y obtienen fácil acceso a los principales mercados, suelen descartar las variedades más viejas. Las variedades modernas responden en general mejor a los fertilizantes que las variedades tradicionales y también pueden ser más resistentes a plagas y enfermedades. Aún con niveles subóptimos de fertilizantes y control de plagas, los cultivos modernos se comportan generalmente mejor que las variedades tradicionales. El desamparo de las razas nativas está especialmente avanzado en las naciones industrializadas y en las mejores zonas agrícolas de los países en desarrollo, donde se produce gran parte de los alimentos del mundo y otros productos agrícolas. El mundo cada vez más urbanizado depende en gran medida de la producción de dichas zonas agrícolas óptimas. Aún en aquellas zonas donde las modernas variedades no han tenido mucho impacto, la base genética de las plantas alimentarias a menudo está en peligro. El sobrepastoreo y el desmonte salvaje y sin control de zonas vírgenes del Tercer Mundo son muy comunes, destruyendo los parientes silvestres de las especies cultivadas, junto con su reserva de genes potencialmente útiles.

Peligros de la simplificación genética

Cuando se siembran grandes áreas con una sola variedad o con un puñado de cultivos que poseen antecedentes genéticos similares, existe una especial vulnerabilidad a las plagas y enfermedades, y al clima desfavorable (Baker 1971; NAS 1972; Harlan 1975b; Wilkes 1977a; Chang *et al.* 1979; Eckholm 1982; Williams 1982). Los eruditos y los científicos han estado dando campanazos de alerta sobre este riesgo, desde casi cincuenta años (Harlan y Martini 1936; Sauer 1938; Hartley 1939) pero sólo recientemente los medios de comunicación han tomado en cuenta este problema⁵. Se han dado algunos ejemplos de los dramáticos efectos que produce la simplificación genética de las plantas cultivadas desde la prehistoria hasta nuestros días. Todos los tipos de especies cultivadas son vulnerables a la simplificación genética, desde las plantas alimenticias hasta las industriales. Los descensos drásticos en la producción de alimentos, causados por la simplificación genética, constituyen el peligro más grave, pero una disminución de la productividad en las plantas industriales es también inquietante, por su impacto económico, especialmente en lo que al empleo y al poder adquisitivo se refiere.

El colapso de la civilización maya, por ejemplo, puede haberse iniciado por la siembra exclusiva de maíz en extensas terrazas y campos elevados (Turner 1974). La presión demográfica en la península de Yucatán estimuló la construcción de terrazas en las laderas montañosas y la excavación de campos surcados en áreas cenagosas, actividad que empezó aproximadamente en 500 D.C. Aparentemente el patrón tradicional de tala y quema en las selvas ya no bastaba para el sustento alimenticio de la población. Por esto, los mayas intensificaron la agricultura de terrazas en laderas, sistema que detenía la erosión y facilitaba el riego, y transfor-

maron tierras pantanosas nunca antes aradas en campos que producían todo el año. Al contrario de las parcelas taladas, aisladas en la selva, en diferentes tipos de suelos, las milpas sembradas a lo largo de terrazas y campos elevados eran extensas y, por lo tanto, favorecían la diseminación de plagas y enfermedades. Los mayas no solamente sembraron casi únicamente maíz en sus campos intensamente cultivados sino que probablemente sembraban menos variedades de esta planta, en el ambiente más controlado de las terrazas y campos elevados. Los brotes sucesivos de virus del mosaico del maíz, transmitido por los saltamontes de cuerno (*Peregrinus maidis*), pueden haber causado graves pérdidas en la producción de maíz, originando posiblemente el colapso de la civilización maya, alrededor de 900 D.C. (Brewbaker 1979).

La llamada hambruna de la papa irlandesa es uno de los ejemplos más dramáticos de la fragilidad que confiere una estrecha base genética a la productividad de los cultivos. En 1846, el hongo *Phytophthora infestans* redujo a la mitad la producción de papa de Irlanda, causando hambruna general y la emigración de una cuarta parte de la población, principalmente al este de los Estados Unidos (Crist 1971). A diferencia de sus contrapartes en los Andes, donde la papa se domesticó hace por lo menos ocho mil años y donde se mantienen numerosas razas nativas, los agricultores irlandeses cultivaban papas que se habían multiplicado a partir de unos pocos clones introducidos desde Inglaterra y Europa, donde a su vez habían recibido el material de sólo dos muestras traídas de América del Sur a España en 1570 y a Inglaterra unos veinte años después (Hawkes 1976). La enfermedad del añublo tardío causada por *P. infestans* se extendió rápidamente a través de los campos de papa en Irlanda porque todas las plantas eran muy susceptibles al hongo. En las quebradas laderas y retorcidos valles de los Andes, por otra parte, una verdadera colcha de retazos formada de razas nativas de modestos rendimientos sigue proporcionando cierta protección contra esta devastadora enfermedad.

Una mutación de otro hongo (*Helminthosporium maydis*) que ataca las hojas y causa el añublo foliar sureño del maíz, redujo los rendimientos de maíz de los Estados Unidos por un promedio de 15 por ciento en 1970, causando daños por cientos de millones de dólares a los agricultores. A finales de 1960, virtualmente toda la producción de maíz de los Estados Unidos se basaba en híbridos desarrollados de líneas masculinamente estériles (en las cuales las inflorescencias masculinas no producen polen viable) en las que se usó una sola fuente de esterilidad masculina citoplasmática proveniente de Texas, un carácter genético contenido en la célula de la planta pero fuera del núcleo (Goodman 1976). Previamente, los híbridos de maíz habían sido producidos por la eliminación de la inflorescencia masculina en las líneas utilizadas como progenitores femeninos, un proceso prolongado y costoso (Simmonds 1979:152). Desgraciadamente, los híbridos que poseían esterilidad masculina citoplasmática eran todos altamente susceptibles al añublo foliar sureño del maíz, una enfermedad que durante décadas había sido un problema sin gran importancia, hasta que surgió la raza T a finales de la década de los 60 (Ullstrup 1972).

Una nueva cepa de otro organismo fitopatógeno, el chancro de los cítricos (*Xanthomonas campestris*), amenaza las siembras de naranja, toronja, limón y limas en Florida. Como en Florida solamente se cultiva un puñado de variedades cítricas, siendo todas ellas susceptibles al chancro, el patógeno podría fácilmente infectar todo el estado y posiblemente extenderse hacia Texas y California. A finales del verano de 1984, la bacteria apareció en un importante vivero en el centro del estado. En octubre de ese mismo año, habían sido destruidos tres millones de plántulas, lo que representa una quinta parte de las reservas de cítricos en los viveros del estado (Sun 1984a). A finales de 1984, aproximadamente 6.5 millones de jóvenes naranjos habían sido destruidos en Florida, en un esfuerzo para detener la diseminación de la enfermedad⁶. El análisis de las muestras indica que el organismo patógeno ha sufrido una mutación, transformándose en una cepa especialmente virulenta que amenaza socavar la empresa estatal de cítricos, que vale EUA\$1.2 millones. Actualmente, el único tratamiento efectivo es la destrucción total de los árboles infectados; en la epidemia de esta enfermedad, durante la década de los 20, se habían destruido 20 millones de árboles cítricos.

En 1985, habían todavía algunos casos aislados de chancro de los cítricos en algunos viveros de Florida. En agosto, por ejemplo, se quemaron tres millones de naranjos en un vivero contaminado en Haines City, en el centro de Florida. Más de nueve millones de árboles cítricos habían sido destruidos en Florida entre agosto de 1984 y agosto de 1985, a causa de esta enfermedad. En setiembre de 1985, el estado de Florida ordenó cerrar durante un año 300 viveros comerciales en Florida, así como cientos de viveros operados por propietarios de huertas de cítricos y por compañías que vendían plantas ornamentales al público⁷.

El problema de la simplificación genética ha surgido en varios países, cruzando fronteras ideológicas. En la Unión Soviética, por ejemplo, otro caso reciente de vulnerabilidad genética se inició a causa del clima frío. Engañados por una serie de inviernos relativamente suaves, los agricultores de Ucrania sembraron Bezostaja, una variedad de trigo que generalmente se cultiva más al sur. En 1972, esta popular variedad se había sembrado en quince millones de hectáreas. Durante ese año, el invierno fue muy severo, causando la pérdida de millones de toneladas de trigo invernal (Fischbeck 1981:18).

El clima frío puede hacer que las condiciones sean más favorables para los brotes de enfermedades, especialmente aquellas causadas por hongos. Cuando se siembran extensas zonas con pocas variedades, las epidemias relacionadas con el clima pueden causar graves pérdidas económicas. En 1972, por ejemplo, el moho azul (*Peronospora hyoscyami*) costó a los cultivadores de tabaco (*Nicotiana tabacum*) del este de los Estados Unidos y de Canadá más de EUA\$240 millones (Lucas 1980). El clima frío y húmedo, anormal en esta estación, favoreció la rápida diseminación del hongo. Al año siguiente, la enfermedad golpeó la economía de Cuba, destruyendo noventa por ciento del cultivo de tabaco. Las fábricas de cigarros se cerraron temporalmente y 26.000 trabajadores quedaron sin empleo, causando

daños adicionales a la economía cubana, que depende considerablemente de las exportaciones para la generación de divisas. El efecto desastrozo del moho azul sobre la economía de Cuba puede haber contribuido a la decisión del presidente Castro de permitir la salida del Mariel a los Estados Unidos.

En tanto que el moho azul causaba estragos en los campos de tabaco de Cuba, Canadá y los Estados Unidos, el clima frío causaba otro brote de enfermedad en la República de Corea. En 1980, las temperaturas inusualmente bajas y una epidemia de piricularia (*Pyricularia oryzae*) obligaron a los surcoreanos a importar grandes cantidades de arroz, por primera vez desde 1977 (Chang 1984a). El rendimiento promedio nacional de este producto básico había aumentado de 3.3 a 4.9 toneladas por hectárea después de la liberación de algunas variedades de altos rendimientos en 1971. En 1979, las variedades modernas, con una herencia genética similar, ocupaban aproximadamente tres cuartas partes del área de cultivo del arroz en el país, lo que constituye una base precaria para obtener una mayor productividad, a menos que se disponga de material resistente y de alto rendimiento para reemplazar a los cultivares susceptibles.

El problema de la simplificación genética se ha presentado con alimentos, con bebidas y con cultivos industriales. Se ha presentado en las naciones desarrolladas, en el Tercer Mundo y en tierras gobernadas por diferentes ideologías políticas. Los países con economías socialistas son tan susceptibles como las naciones de libre empresa a las pérdidas de rendimiento causadas por la simplificación genética de las tierras agrícolas. Stalin, por ejemplo, una vez se vanagloriaba frente a Winston Churchill: "Hemos mejorado desmesuradamente la calidad del grano. Antes se cultivaban todos los tipos de grano. Ahora no se permite a nadie cultivar ningún tipo de grano que no sea el grano soviético estándar, desde un extremo del país al otro" (ver Evans 1975).

La erosión de la diversidad genética de las plantas es una amenaza dondequiera la agricultura experimente cambios rápidos y se apliquen modernos métodos de mejoramiento a los cultivos. Con ésto no se quiere implicar que los científicos son culpables de la vulnerabilidad potencial de las modernas tierras agrícolas. En realidad, los fitomejoradores han pronunciado las advertencias más estridentes, exigiendo que se tomen medidas para la conservación de la diversidad genética de las plantas. Irónicamente, el éxito de sus esfuerzos ha originado la simplificación genética de gran parte de la agricultura moderna, y ellos están plenamente conscientes de este hecho. Algunos sugieren que debemos retroceder en el tiempo y retornar a las prácticas agrícolas tradicionales para aumentar la productividad agrícola (Denevan 1983). Los sistemas agrícolas tradicionales tienen mucho que enseñarnos acerca de métodos de cultivo ecológicamente sensatos, pero no sería sabio abandonar el fitomejoramiento moderno, por considerarlo una tecnología sofisticada e irrelevante al aumento de la productividad agrícola. Sería difícil, por demás, llegar a un consenso acerca de lo que constituye un sistema de cultivo tradicional ya que virtualmente todas las áreas de cultivo cambian constantemente. Además, las

prácticas de cultivo tradicionales evolucionaron en un mundo mucho menos urbanizado y poblado que el actual; es difícil imaginar cómo tales sistemas podrían sustentar la actual población mundial. Hemos llegado entonces al punto de no regreso; la modernización de la agricultura y el fitomejoramiento científico son esenciales para mantener los logros alcanzados para aliviar la escasez de alimentos en muchas regiones. Una tarea importante ahora es hacer que las tierras agrícolas modernas sean menos vulnerables a las grandes fluctuaciones de la producción.

Aunque la productividad de ciertas especies cultivadas sigue siendo tenue a causa de la debilitada base genética, el hecho de que no se haya presentado recientemente ningún desastre por simplificación genética similar a la hambruna de la papa en Irlanda, se debe en gran medida a los esfuerzos realizados para fortalecer y usar los bancos genéticos. Los bancos de genes de especies cultivadas desempeñan actualmente una función central en el esfuerzo por mantener la productividad de las tierras agrícolas en las naciones industrializadas y en desarrollo. En el caso del brote de añublo foliar sureño del maíz en 1970, los agricultores norteamericanos pudieron adquirir, el año siguiente, híbridos resistentes, ya que las empresas de semillas habían acudido a los bancos de semilla de maíz con citoplasma normal, tanto en los Estados Unidos, como en Argentina, Hungría y Yugoslavia. Los mejoradores emplearon los viveros de Hawaii, Florida, el Caribe y América Central y del Sur para incorporar rápidamente a los nuevos híbridos la necesaria resistencia a esta enfermedad, antes de la época de siembra de 1971 (Ullstrup 1972). En los capítulos 7, 8 y 9 se presentan algunos otros ejemplos en que se ha utilizado los recursos genéticos para aumentar y mantener los rendimientos de diferentes cultivares.

Que la agricultura produzca altos rendimientos depende en gran medida de la disponibilidad de una fuente adecuada de materiales genéticos para el fitomejoramiento. En este mundo cada vez más urbanizado la importancia fundamental de lograr una productividad sostenida de los cultivos alimenticios y comerciales usualmente pasa desapercibida para el público en general. Los vínculos de los habitantes citadinos con el campo son esporádicos y generalmente sólo cumplen propósitos de recreación. Los fundamentos agrícolas de la civilización son generalmente olvidados, puesto que menos del cuatro por ciento de la población de países tan industrializados como los Estados Unidos y Gran Bretaña trabaja en el campo. La preocupación por la eliminación de los residuos tóxicos, la contaminación del aire, la lluvia ácida, la erosión y el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera han recibido generalmente más atención pública e institucional que la diversidad genética de las plantas. Pero la pérdida de diversidad genética, especialmente en los acervos genéticos de las especies cultivadas, puede muy bien considerarse como el principal problema ambiental que enfrenta la humanidad (Ehrlich y Ehrlich 1983:78).

Quizás no importa realmente que algunas variedades de manzanas que existían a finales del siglo pasado en los Estados Unidos o en Europa ya no se cultiven; la mayoría se desarrollaron como variaciones de otras variedades estrechamente

relacionadas, de manera que fue poca la variabilidad genética perdida. En el caso de variedades desarrolladas de cultivares estrechamente relacionados, el uso de material silvestre o la progenie heterogénea de las semillas proporciona una variabilidad mucho mayor. No obstante, la desaparición de razas nativas del crisol de la agricultura primitiva es infinitamente más seria.

Esperamos demostrar que, si bien la pérdida de diversidad genética de las plantas cultivadas y de sus parientes silvestres es seria y sigue ocurriendo, mucho se ha realizado en la última década para proteger este patrimonio mundial. Queda mucho por hacer todavía en cuanto a la recolección de germoplasma vegetal y al mejoramiento de los bancos genéticos, pero hoy día el panorama es mucho más claro que a principios de la década de los 70, cuando el tema de los recursos fitogenéticos y de la erosión genética atrajo por primera vez la atención generalizada de la comunidad científica y de las autoridades normativas. El peligro consiste en que, como recientemente no ha vuelto a ocurrir ninguna reducción drástica de la productividad agrícola a causa de la simplificación genética de las plantas cultivadas, las autoridades normativas podrían suponer que se puede desviar los recursos, sin que peligren otras urgentes necesidades. Una de las principales metas de este libro es establecer la importancia de mantener vivo el impulso hacia la conservación de germoplasma y hacia el mejoramiento de los bancos genéticos para que los rendimientos agrícolas puedan aumentar y mantenerse a niveles aún más altos.

NOTAS

- 1 La primera vez que se menciona una especie, se usa el nombre científico. Después solamente se usa el nombre común, con excepción de los cuadros e ilustraciones.
- 2 Hernán Cortés: *Cartas de México*, traducción y edición por A. R. Pagden (Grossman Publishers, Nueva York 1971), p. 336.
- 3 *Plant Immigrants*, No. 164, p. 1511, diciembre 1919 (United States Department of Agriculture, Office of Foreign Seed and Plant Introduction).
- 4 *Plant Immigrants*, No. 215, pp. 1969-1970, marzo 1924 (United States Department of Agriculture, Office of Foreign Seed and Plant Introduction).
- 5 La aparición del añublo sureño del maíz en los Estados Unidos durante 1970 desató una serie de artículos periodísticos sobre los estragos causados por esta enfermedad y sobre la estrecha base genética del maíz en el medio oeste y en el sur. La importancia de mantener la diversidad genética de las plantas desapareció de la atención pública hasta 1982. El reciente interés de la prensa acerca de los peligros de la erosión genética de las especies cultivadas y de la importancia de la conservación de germoplasma incluyen: Nigel Smith, "Food Security and Genebanks," *The Christian Science Monitor*, Boston 16 agosto 1982; Norman Myers, "Billion Dollar Root," *The Guardian*,

Londres 23 diciembre 1982; Dawn Weber, "Professor Studies Life Cycles of Breakfast Cereals," Gainesville Sun, Gainesville, Florida, 9 marzo 1983; "America's Favorite Potato could be Wiped out by Disease," Pensacola Journal, Pensacola, Florida 16 mayo 1983; "Potato Facing Problems Ahead," Lake City Reporter, Lake City, Florida 16 mayo 1983; "Potato Called Vulnerable to Pests, Disease," The Florida Times-Union, Jacksonville, Florida 16 mayo 1983; "Future of Potatoes in U.S. 'Precarious'," Gainesville Sun, Gainesville, Florida, 26 mayo 1983; "Potatoes Becoming Extinct?" Palatka News, Palatka, Florida 16 mayo 1983; "U.S. Potato Crop in Jeopardy?" Daytona Beach News, Daytona Beach, Florida 16 mayo 1983; "Lack of Diversity may Spell Disaster for America's Potatoes, other Crops," St. Petersburg Times, St. Petersburg, Florida, 22 mayo 1983; "Potatoes may be in Precarious Position, UF Geographer Says," Star Banner, Ocala, Florida 19 mayo 1983; "NCSU Experts Say Famines are Inevitable," The News and Observer, Raleigh, North Carolina, 25 marzo 1983; Hank Daniszewski, "Plant Genetic Pool Shrinking," The Western Producer, 24 noviembre 1983; George Anthan, "Seed Banks Play a Critical Role in Future of U.S. Crops," The Des Moines Register, Des Moines, Iowa, 6 febrero 1984; Norman Myers, "Out of Its Skin," The Guardian, Londres, 6 junio 1984; Bill Paul, "Third World Battles for Fruit of Its Seed Stocks," Wall Street Journal, Nueva York 15 junio 1984; "Banco de Germoplasma de Yuca, en Palmira," El Pueblo, Colombia, 30 enero 1984; Robert Clark, "Pour Que les Graines ne Meurent pas," Le Matin, Francia, 23 enero 1984.

6 Gainesville Sun, Gainesville, Florida 1 diciembre 1984, p. 8A.

7 Gainesville Sun, Gainesville, Florida 18 de agosto 1985, p. 2C; Gainesville Sun, Florida, 21 de septiembre 1985, p. 5B.

SEMILLAS Y RECURSOS FITOGENETICOS

Los agricultores necesitan un suministro adecuado de semilla vigorosa, de buena calidad y disponible en el momento de la siembra. Esta premisa básica de la agricultura se cumplía en otras épocas de manera muy distinta a la actual, pero el principio era el mismo. Para enfatizar y subrayar el hecho que la agricultura depende de una base de germoplasma bien preservado y evaluado, examinaremos en este capítulo el patrón que sigue, en las fincas modernas, el relativamente rápido cambio de variedades vegetales.

Con respecto a la calidad de la semilla y a la agricultura estable, expondremos algunas estrategias de mejoramiento que consisten en incorporar a las especies cultivadas la resistencia a una amplia variedad de enfermedades y plagas. También exploraremos el uso y el potencial de las mezclas de variedades, dentro del contexto de la movilización de recursos genéticos para lograr una agricultura estable.

Los viveros internacionales son el terreno de reclutamiento de las líneas promisorias de especies cultivadas y queremos enfatizar el papel que éstos juegan en la producción de variedades dignas de confianza. En la agricultura moderna se siembran menos variedades y consecuentemente la productividad puede ser poco estable, a menos que se estudie el comportamiento de las proto-variedades en una gran diversidad de condiciones. Antes de entregar una nueva variedad a un agricultor, las líneas de cultivares pasan a través de varios estados, desde la recolección inicial de germoplasma hasta la aprobación final por las agencias estatales. Normalmente pasan de ocho a quince años entre el momento en que se hace un cruzamiento inicial en los programas de mejoramiento hasta que una variedad de planta esté lista para ser liberada. Es por lo tanto imperativo mantener un número de variedades potenciales o proto-variedades disponibles en cualquier momento, para reemplazar el material que ya no sirve en los campos de los agricultores. Al final de este capítulo, analizaremos los sistemas de producción de semillas, la importancia de la certificación

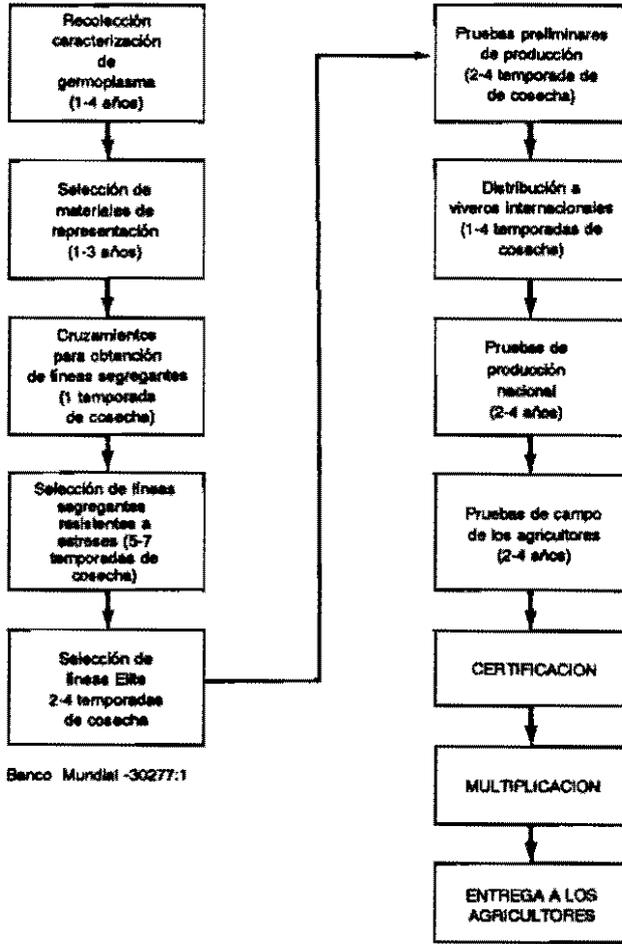


Figura 2.1. Etapas y tiempo requeridos para la producción de una variedad.

de las mismas y los derechos sobre variedades de plantas, en lo que se refiere a la conservación y utilización del germoplasma de especies cultivadas.

La carrera de relevos varietales

En la agricultura moderna de los países industrializados y en muchas áreas del mundo en desarrollo, el tradicional mosaico de razas nativas, todas con una duración relativamente larga, ha sido sustituido por un menor número de cultivares, que son más rápidamente reemplazados por cultivares nuevos. Las variedades son retiradas cuando ya no son capaces de resistir las enfermedades o plagas, porque éstas han

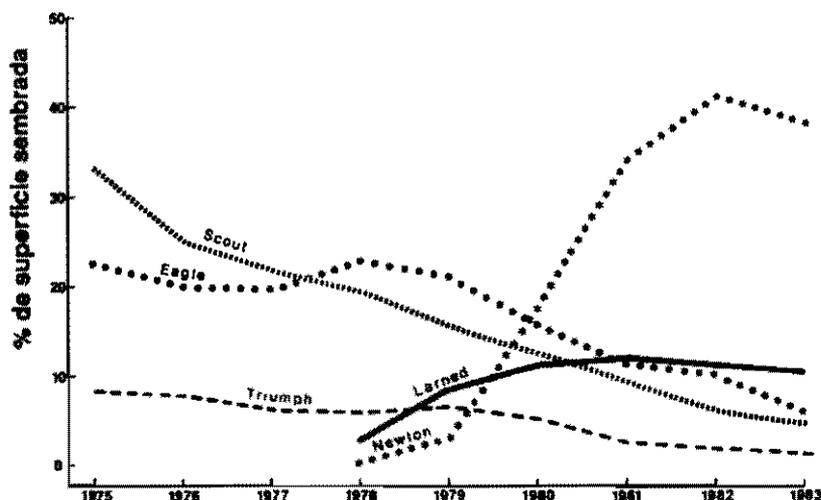


Figura 2.2. Sucesión de las principales variedades de trigo de invierno en Kansas, 1975-1983. (Tomado de KCLRS 1983).

sufrido una mutación, porque las condiciones de cultivo o las preferencias de los consumidores han cambiado o porque se dispone de un material más promisorio (Plucknett y Smith 1986b). En las naciones en desarrollo, una variedad de especie cultivada de campo permanece en uso durante sólo cuatro a diez años; aún cuando una variedad retiene su capacidad de resistir las enfermedades o plagas, los agricultores pueden decidir abandonarla por otra, igualmente resistente, pero con mejores rendimientos. Los altos niveles de rendimiento de las especies cultivadas hoy día dependen de un flujo constante de cultivares nuevos; si esta carrera de relevos se llegara a detener, los rendimientos de los cultivos bajarían en forma súbita.

Un descenso notorio en la productividad agrícola de las naciones que son la despensa del mundo desajustaría las ganancias por exportaciones y perjudicaría los bolsillos de los agricultores y de los consumidores. El impacto de una reducida producción agrícola en las naciones del Tercer Mundo sería todavía más dramático: además de perjudicar la capacidad de ingreso de los agricultores, en las ciudades y en los campos la gente de pocos recursos sufrirían del alza en los precios de sus alimentos. Los ricos gastan una menor proporción de su ingreso en alimento que los pobres, lo que hace que el alza en los precios de los alimentos sea especialmente dolorosa para éstos. En los países en desarrollo cuyas poblaciones crecen rápidamente, el fracaso en mantener siquiera los rendimientos actuales de los cultivos significaría la extensión del hambre.

El reto de mantener el incremento de la productividad agrícola y de aumentar aún más sus rendimientos, es el problema que enfrentan las agencias gubernamentales y las empresas privadas, con diferentes grados de éxito, acudiendo a los recursos

genéticos de las plantas y manipulando el ambiente agrícola. Esta doble estrategia significa que se deben mejorar las variedades y modificar las condiciones adversas mediante el riego, la fertilización, y el control de plagas. En las tierras agrícolas óptimas, se emplean ambos enfoques. Sin embargo, en las zonas marginales, sucede a veces que el riego no sea factible y que los agricultores no puedan comprar los insumos. Para estas regiones, los fitomejoradores están haciendo que las plantas se adapten a las condiciones difíciles, en vez de acudir a la agronomía para que las condiciones se adapten a las plantas. Este enfoque ganará importancia a medida que la presión demográfica empuje a los pobladores hacia las tierras marginales.

Aun en las áreas de mayor vocación agrícola, los agricultores buscan más y más aquellos cultivares que resisten las enfermedades y plagas y que aprovechan más eficientemente los elementos nutritivos del suelo. El éxito inicial de los plaguicidas no ha sido siempre permanente porque aparecen insectos¹ y plagas resistentes, y por las cada vez mayores restricciones sobre el empleo de productos químicos en la agricultura por razones ambientales. Más de 400 especies de plagas agrícolas son ahora resistentes a uno o más plaguicidas y el número de insectos que desarrollan resistencia a los productos químicos se ha casi duplicado entre 1970 y 1980 (Sun 1984b; May 1985). En una especie cultivada la resistencia innata a las enfermedades y plagas puede reducir o aún eliminar la necesidad de emplear productos químicos, reduciendo de esta manera los costos agrícolas. Los agricultores quieren tener materiales con altos rendimientos pero deben controlar los costos de producción. La mayor parte de las fincas de las naciones industrializadas son operaciones comerciales; los propietarios están interesados en aquellos tipos de plantas que siguen siendo productivas con pocos insumos (Boyer 1982).

Estrategias de fitomejoramiento

Para mantener altos rendimientos, rara vez será suficiente presentar resistencia a un sólo desafío ambiental. Aun en condiciones de suelo y clima óptimos, los cultivos son generalmente atacados por un gran número de organismos patógenos, insectos, nemátodos, roedores y otras plagas, de manera que la resistencia a la sequía será insuficiente por sí sola para garantizar rendimientos estables en un cultivo. Las oscilaciones del rendimiento son probablemente menos severas cuando se ha incorporado en una variedad la resistencia a un gran número de enfermedades y plagas y la tolerancia a las condiciones adversas del clima o del suelo.

Concentrar los genes necesarios en líneas mejoradas que tengan resistencia a un amplio abanico de desafíos ambientales toma tiempo; es un trabajo difícil, pero esencial si se busca amortiguar las fluctuaciones del rendimiento y mantener un flujo constante de productos agrícolas. El programa de desarrollo de arroz del *Rice Research Institute* (IRRI) (Instituto de Investigación sobre el Arroz), con sede en Filipinas, es uno de los ejemplos de mayor éxito en el mejoramiento por resistencia de base amplia. Desde que se liberó la variedad de arroz IR8 en 1966, el programa

del IRRI, junto con instituciones y agencias agrícolas nacionales, ha liberado numerosas variedades de altos rendimientos. Por ejemplo, en 1984 se liberó en Filipinas IR62. Durante este lapso de casi dos décadas, el rendimiento de las líneas semi-enanas IRR sigue siendo esencialmente el mismo, pero las variedades se han vuelto progresivamente más resistentes a numerosas enfermedades y plagas.

En India, el híbrido de maíz de gran adaptación, Ganga 5, desarrollado por el *Indian Agriculture Research Institute* (IARI) (Instituto de Investigación Agrícola de la India), resiste a la roya del café, al mildiú, al añublo foliar y al barrenador de los tallos (Singh 1980). Los mejoradores chinos que trabajan en trigo han utilizado germoplasma de varias colecciones de diferentes países, incluyendo Australia, Brasil, Canadá y los Estados Unidos, para desarrollar variedades que resisten el ataque de numerosas enfermedades. China aloja las principales enfermedades del trigo, razón por la cual los científicos chinos son especialmente hábiles para evitar en los cultivos los fracasos masivos producidos por organismos patógenos; el último brote grave de enfermedad del trigo se presentó en China en 1964, en la provincia de Shensi (Johnson Beemer 1977).

Los rendimientos de los cultivos son también generalmente más estables si una variedad resiste a más de una raza de enfermedad o plaga. Las variedades resistentes a varias cepas de un organismo patógeno o biotipos de una plaga poseen generalmente más de un gen que confiere resistencia, y los rendimientos son en general más durables (Van der Plank 1968: 12; Watson 1970). Cuando un cultivar tiene varios genes codificados por resistencia o tolerancia a una plaga o enfermedad, se dice que posee resistencia horizontal o poligénica; una variedad de cultivar con resistencia horizontal sobrevive los retos de la mayoría de las razas conocidas de un organismo patógeno (Van der Plank 1963:120).

Los aumentos de rendimiento basados en un gen único, a veces llamados resistencia vertical o monogénica, son generalmente más tenues porque una plaga u organismo patógeno desarrolla más fácilmente una estrategia para superar el obstáculo. Este principio se comprende fácilmente si se considera cada gene como un pilar que sostiene el techo de rendimiento de un cultivo; mientras más pilares, mayor la oportunidad de que la producción permanezca estable.

La resistencia de genes únicos puede, sin embargo durar a veces varias décadas. En el caso de la industria del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en Florida, por ejemplo, los mejoradores de la Universidad de Florida han logrado combatir el marchitamiento (*Fusarium oxysporum lycopersici*) usando un gen único; trece cultivares con resistencia monogénica a la enfermedad han sido liberados en Florida desde 1949 (Crill *et al.* 1982a). La raza 2 de la enfermedad apareció en 1960 pero no se generalizó en la Florida hasta finales de la década de los 60, dando a los mejoradores el tiempo suficiente para desarrollar una variedad nueva, Walter, resistente a la recientemente evolucionada cepa del hongo. Walter se liberó en 1969 y en tres años ocupaba virtualmente todos los acres sembrados con tomate en el estado (Crill *et al.* 1982b). Generalmente, sin embargo, la resistencia monogénica

desaparece en unos pocos años. En los Estados Unidos, por ejemplo, algunos cultivares de avena con el gen Bond, que confiere resistencia a la roya de la corona fueron entregados a los agricultores en 1943, y en 1948 ocupaban 90 por ciento de los acres sembrados con avena en el norte-centro de los Estados Unidos y tres cuartas partes del área dedicada al cultivo de ese cereal a nivel nacional. En 1949, nuevas razas de la roya de la corona atacaron los cultivares derivados de Bond (Frey *et al.* 1973). En Iowa, las pérdidas promedio de rendimiento causadas por las nuevas razas de roya de la corona aumentaron desde el 12 por ciento en 1949 al 30 por ciento en 1953.

Otra manera de mejorar la estabilidad del rendimiento consiste en sembrar mezclas de variedades que contienen un gran número de cepas que comparten calidades agronómicas y de mercadeo similares pero progenitores diferentes, y que son genéticamente distintas en cuanto a la resistencia a las enfermedades. Esta estrategia es similar a la de los agricultores tradicionales que cultivan mezclas varietales de plantas en el mismo campo. Se han usado modernas mezclas de variedades principalmente en el cultivo de los cereales. El programa nacional colombiano, por ejemplo, superó con éxito la roya de franja del trigo liberando a Miramar 63, una mezcla de diez líneas (Browning y Frey 1969). Miramar duplicaba la productividad de las variedades que reemplazó. Las mezclas de variedades se han usado con éxito para superar algunos problemas de enfermedades en Kentucky, (*Dichanthium* sp.) una gramínea muy utilizada para césped y canchas de golf en el nordeste de los Estados Unidos. Merion surgió como una de las más populares variedades de *Dichanthium* sp. por su crecimiento uniforme y hermoso color verde oscuro. Aunque Merion forma semilla, lo hace de un modo tal que la mayoría de las semillas son genéticamente idénticas. Los céspedes de Merion por lo tanto tienen muy poca diversidad genética y son altamente susceptibles al mildiú y a la roya (Adams *et al.* 1971). Para superar estas enfermedades fúngicas, los productores de semillas para céspedes están mezclando algunas variedades de *Dichanthium* sp. para obtener una mezcla heterogénea que resista eficazmente las epidemias y produzca un buen césped.

Las multilíneas constituyen un método más refinado para introducir diversidad genética en la agricultura moderna. En una variedad multilínea, se introducen diferentes fuentes de resistencia a un organismo patógeno específico en líneas que son esencialmente idénticas salvo en los genes que confieren resistencia. La proporción de semilla de cada línea se ajusta cada año en conformidad con las razas predominantes del organismo patógeno (Adams *et al.* 1971). Las multilíneas reducen la propagación de una enfermedad entre las líneas susceptibles, porque hay menos inoculación y por el efecto de disminución del material resistente (Johnson y Allen 1975). Las líneas resistentes atrapan las esporas fúngicas y retardan la propagación de las enfermedades (Frey *et al.* 1973; Luthra y Rao 1979). Las multilíneas estabilizan la estructura de la población del organismo patógeno ya que se mantienen varios biotipos y no hay fuerte exigencia para obtener la selección de nuevas razas virulentas. Las multilíneas se han usado en California para proteger los campos de trigo contra la roya desde la década de los 40 y son muy promisorias para el cultivo del trigo durum en India (Suneson 1960; Pandey 1984).

El cultivo de multilíneas evita el ciclo de auge y desaparición, evidente en algunos casos de monocultivo (siembra de un solo cultivar en el campo) con variedades modernas. Las plagas y los organismos patógenos siguen evolucionando cuando se siembran multilíneas, pero se establece un cierto equilibrio entre el hospedante, los organismos patógenos y las plagas. Y con las multilíneas y las mezclas de variedades, los agricultores que poseen un alto nivel de mecanización pueden sembrar cultivares genéticamente diferentes y aún evitar problemas como la maduración escalonada, las grandes diferencias en la altura de las plantas, o los frutos con diferentes características de empaque.

Aunque las multilíneas y las mezclas de variedades aumentan la diversidad genética del monocultivo comercial, no siempre lo que tiene sentido ecológico se traduce en prácticas agrícolas. Las multilíneas y las mezclas de variedades han hallado un lugar en la agricultura y se espera que tengan otros usos, especialmente en zonas donde las enfermedades fúngicas de los cereales son un problema importante, como en el caso del mildiu polvoso y la cebada en el Reino Unido (Wolf y Barrett 1980). También tienen un lugar en los cultivos perennes, como en las plantaciones de madera para combustible, ya que el reemplazo del material susceptible es más costoso que en las especies anuales, que se pueden reemplazar más frecuentemente. No obstante, han sido poco adoptadas. Una razón para su lento despegue es que son relativamente costosas y su desarrollo toma tiempo (Browning y Frey 1969; Crill *et al.* 1982c). Los mejoradores que trabajan con mezclas varietales deben ofrecer varias líneas "campesinas", en cuanto a rendimiento, características agronómicas y preferencia de mercado, todo a un mismo tiempo. En el caso del trigo, por ejemplo, se recomienda un espacio de 45 centímetros entre las líneas susceptibles a la misma raza de una enfermedad; se requieren aproximadamente quince genotipos diferentes para hacer una adecuada mezcla varietal o multilínea (Watson 1979).

Algunos mejoradores han rechazado las mezclas varietales y las multilíneas porque las consideran un enfoque tosco para enfrentar los problemas de enfermedades. Ellos consideran que con esta práctica se saca virtualmente todo el arsenal de genes de resistencia simultáneamente, sin reservar nada para uso futuro (Van der Plank 1968:142). Algunos mejoradores temen que al exponer todos los genes de resistencia conocidos a un organismo patógeno, pueda desarrollarse una "super" raza altamente virulenta y socavar la producción agrícola. Cuatro años de prueba con multilíneas de trigo en nueve localidades en la India han demostrado, sin embargo, que las multilíneas continúan siendo más resistentes que las variedades puras (Gill *et al.* 1984). Si bien las multilíneas de trigo mostraron algunos síntomas de enfermedad, el daño fue mínimo.

El reemplazo de variedades en relevo es el patrón predominante en la agricultura moderna y probablemente lo seguirá siendo en el futuro previsible. Las multilíneas y las mezclas de variedades, a pesar de su costoso desarrollo, tienen una función que desempeñar en la estabilización de los rendimientos y es probable que su uso aumente. Si se llega a usar un sistema similar a una correa transportadora para la producción de nuevas variedades o se producen multilíneas y mezclas de varia-

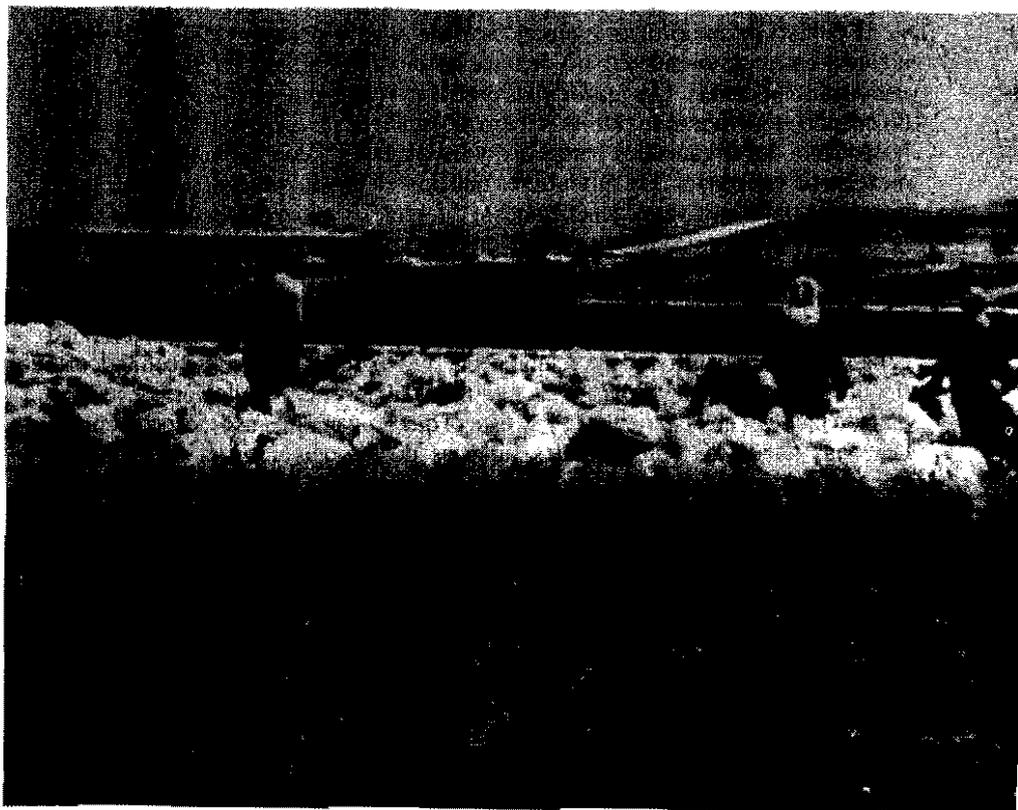


Figura 2.3 Cosecha de una prueba de garbanzo (*Cicer arietinum*) en International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, cerca de Aleppo, Siria, mayo 1984.

des, las tres estrategias de desarrollo y defensa de los rendimientos dependen de la existencia de bancos de germoplasma, bien surtidos, preservados y evaluados.

Viveros internacionales

Los viveros internacionales son parcelas experimentales especializadas para líneas mejoradas avanzadas y para servir como plataformas de lanzamiento para las variedades de especies cultivadas (Plucknett y Smith 1984). Los viveros que abarcan muchos ambientes diferentes en todo el mundo son el terreno de reclutamiento y de prueba para las líneas promisorias. Ya sea en las planicies cálidas del Punjab o en los polvorientos valles del Sudán, las introducciones pasan por numerosas pruebas para ayudar a los mejoradores a identificar los materiales deseables. Los viveros internacionales se han vuelto imprescindibles para el examen selectivo de material mejorado élite, por su amplia adaptabilidad y por su resistencia a enfermedades y plagas específicas.



Los viveros internacionales pueden dividirse en dos categorías principales: los viveros para pruebas de adaptabilidad amplia y rendimiento y los viveros situados en localidades donde los problemas están realmente presentes y el germoplasma se puede evaluar por su resistencia a enfermedades o plagas de insectos específicos o por su tolerancia a condiciones ambientales adversas. Los viveros que examinan el germoplasma por su adaptabilidad amplia a menudo contienen miles de introducciones provenientes de docenas de países. El International Rice Testing Program (Programa Internacional de Pruebas de Arroz) coordinado por el IRRI involucra a 800 científicos en setenta y cinco países de Asia, África, América Latina, Oceanía y Europa. Los viveros internacionales coordinados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) también involucran un gran número de participantes. En 1983 por ejemplo, científicos de 91 países solicitaron 2072 pruebas de trigo, triticale y cebada de este centro que tiene su sede en México (CIMMYT 1984:18). Los países que participan en viveros internacionales prueban sus propios materiales y tienen la oportunidad de observar el comportamiento de materiales extranjeros que pueden ser apropiados para condiciones locales. Los

mejoradores que buscan adaptabilidad amplia tienen oportunidad de evaluar el buen comportamiento de las líneas mejoradas en un amplio abanico de ambientes. Los viveros especializados tienen generalmente menos participantes y seleccionan el

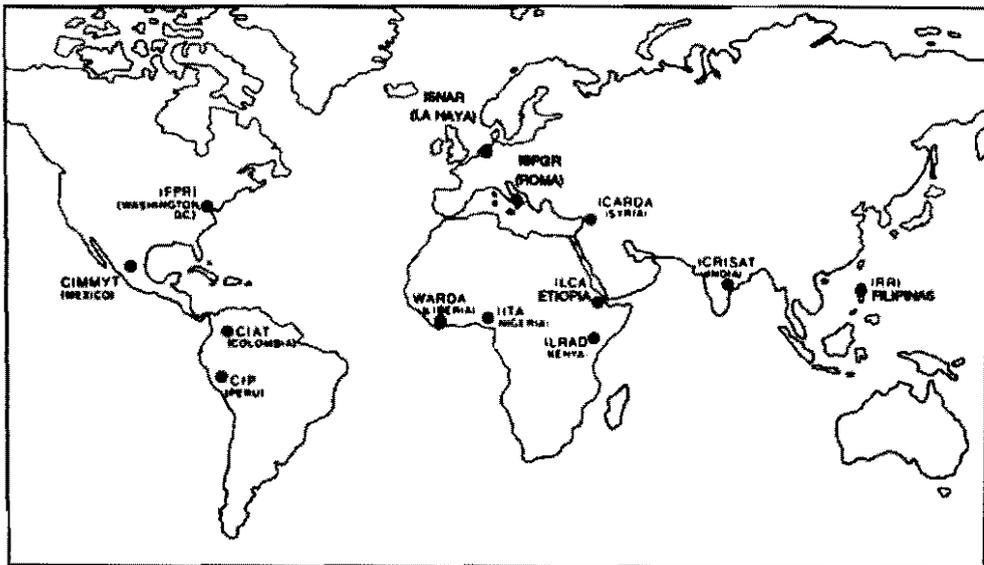


Figura 2.4. Centros internacionales de investigación agrícola del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional.

germoplasma por resistencia o tolerancia a una condición específica de enfermedad, plaga, suelo o clima. El IRRI coordina once de dichos viveros y el programa de trigo del CIMMYT opera varios viveros de exámenes de enfermedades. El *Regional Disease and Insect Screening Nursery* (RDISN) (Vivero Regional de Evaluación de Enfermedades e Insectos) del CIMMYT se administra desde Cairo, Egipto, en cooperación con el *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas* (ICARDA) (Centro Internacional de Investigación Agronómica para las Zonas Áridas), mientras que el Vivero Latinoamericano de Evaluación de Enfermedades e Insectos (VEOLA) se administra desde Quito, Ecuador (Dublin y Rajaram 1982). Las introducciones sembradas en los viveros RDISN y VEOLA se obtienen de los programas nacionales en sus respectivas regiones. Los viveros especializados diseñados para seleccionar por resistencia a las enfermedades contienen a menudo cultivares comerciales, además de material mejorado escogido, y proporcionan advertencia oportuna en el caso de surgir una raza patógena nueva.

Los viveros internacionales son plataformas de lanzamiento para el desarrollo de muchas variedades de plantas. El programa de maíz del CIMMYT y los programas nacionales colaboradores, por ejemplo, han usado los viveros internacionales para identificar material promisorio de maíz que ha conducido a la distribución de más de 150 variedades e híbridos que ahora crecen en aproximadamente 5 millones de

hectáreas en 39 países (Sprague y Paliwal 1984). Los cereales predominan en los viveros internacionales, pero también se prueba germoplasma de otras plantas en una amplia variedad de condiciones. El *International Bean Yield and Adaptation Nursery* (Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación del Frijol), coordinado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) cerca de Cali, Colombia por ejemplo, es responsable del lanzamiento de más de cincuenta variedades.

Muchos viveros internacionales están coordinados por centros internacionales de investigación agrícola del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAl). El GCIAl, con sede en el Banco Mundial en Washington, D.C., se estableció en 1971 para apoyar la investigación sobre plantas alimenticias y ciertos problemas pecuarios del Tercer Mundo (Plucknett y Smith 1982). Trece centros, incluyendo al *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR) (Junta Internacional para los Recursos Genéticos Vegetales), operan actualmente en América Latina, África, el Medio Oriente y Asia con el apoyo de cuarenta donantes, incluyendo gobiernos nacionales y algunas agencias multilaterales y bilaterales, así como fundaciones privadas. Asimismo, los centros del GCIAl mantienen muchos de los principales bancos de germoplasma de cultivos, usados intensivamente en programas de mejoramiento a nivel mundial.

Producción y certificación de semillas

Tradicionalmente los agricultores seleccionan semilla de las mejores plantas o guardan una pequeña muestra al azar del grano cosechado para el próximo ciclo de siembra. Ya sea que la semilla se seleccione al azar o deliberadamente, los cultivos normalmente cosechados en estados inmaduros, como *Phaseolus coccineus*, tienen que dejarse madurar para recoger la semilla. Guardar semilla de una cosecha a la siguiente es todavía una práctica generalizada entre los agricultores que siembran razas nativas, especialmente en las zonas marginales. Las cubas de almacenamiento y los mercados de los agricultores pueden ser ricos, aunque temporarias, acumulaciones de germoplasma.

Los agricultores siempre mantienen un ojo abierto para las plantas especialmente vigorosas o inusuales, y la progenie de tales plantas se aparta a menudo cuidadosamente. Guardar semilla de tipos de plantas superiores fue una práctica precursora del fitomejoramiento moderno en el cual las líneas superiores se seleccionan, con base en la variación creada por los cruzamientos controlados, con progenitores seleccionados.

A veces un agricultor tiene excedentes de semilla y los intercambios informales entre los agricultores de una localidad siguen siendo prácticas comunes en algunas regiones. Tales intercambios, que a menudo involucran especies más que dinero en efectivo, pueden dar como resultado que una variedad considerada "mejor" en una localidad, sea ampliamente adoptada dentro de la región. Este patrón todavía prevalece en gran parte del Tercer Mundo, en particular en zonas remotas. Y en las naciones industriales, algunos hortelanos participan en sistemas no estructurados de mercadeo para venta de semillas, por ejemplo mediante catálogos o ferias.

En este siglo, han surgido algunas empresas de semilla que se han organizado para satisfacer la necesidad de grandes cantidades de semilla de la más alta calidad de las variedades de mejores rendimientos. La producción organizada de semillas y las investigaciones en tecnología de semillas se iniciaron en firme a principios de 1900, aunque sus orígenes pueden hallarse en épocas anteriores, en Escandinavia y en los Estados Unidos. En los Estados Unidos, por ejemplo, la ley llamada Hatch Law se sancionó en 1875 para promover la industria de semillas, aunque la certificación de semillas fue algo posterior. Como sucede con cualquier actividad comercial, a veces surge desconfianza con la calidad del producto y la publicidad, pero con todo y ésto se han establecido algunas empresas legítimas de semillas en naciones industrializadas y en países en desarrollo, las cuales proporcionan sus productos a un mayor número de agricultores orientados hacia el mercado.

Las empresas de semillas han prosperado en general porque ellas responden a tres importantes inquietudes de los agricultores. En primer lugar, los agricultores desean tener varias opciones al buscar variedades de alto rendimiento para sembrar. En segundo lugar, los agricultores deben tener semilla en la cual puedan confiar. Una empresa de semilla no durará mucho tiempo en el negocio si no produce un producto digno de confianza. En la mayoría de los casos, una agencia del gobierno supervisa la calidad, certificando la semilla después de comprobar su idoneidad. En tercer lugar, han surgido numerosas empresas de semillas, por lo general pequeñas, que ofrecen productos a los cultivadores que se especializan en cultivos de relativamente menor importancia.

Las variedades nuevas deben llegar al agricultor antes que los cultivares corrientes fracasen debido a los cambios en las plagas u otros estreses ambientales y la semilla debe llegar a la finca en el tiempo adecuado para sembrar. Un abastecimiento de semilla de alta calidad es especialmente crucial para los agricultores modernos quienes dependen de menos variedades que los agricultores tradicionales.

Se ha desarrollado una gran industria de semillas en zonas a menudo remotas de los sitios donde la semilla se siembra, y las semillas pueden también ser multiplicadas y comercializadas en zonas muy extensas. Pioneer Hi-Bred, por ejemplo, una empresa de semilla de maíz con sede en Des Moines, Iowa, opera en docenas de países y vende anualmente más de 500 millones de dólares de semillas (Kahn 1985:68). Algunas empresas de semillas, públicas y privadas, de las naciones industrializadas aprovechan el tiempo seco durante la estación de cosecha para producir semilla y a menudo para incrementar la semilla en varias localidades muy distantes entre sí. En algunos casos, se usan estaciones tropicales y subtropicales para generar dos cultivos de semilla por año. En Hawaii, por ejemplo, existen sitios en el campo usados para este fin por casi dos décadas.

Muchas generaciones de selección y producción de semillas alejadas de la zona en la cual se establecerá la especie cultivada pueden originar cambios genéticos y una variedad mal adaptada. Algunas agencias independientes de certificación de semillas protegen al agricultor contra dichas pérdidas potenciales. En los casos donde la estrategia de mejoramiento se centra en la obtención de una amplia adaptabilidad

en lugar de ajustar las variedades a unos pocos ambientes específicos, este problema es menos agudo. Muchos de los centros internacionales de investigación están haciendo mejoramiento por adaptabilidad amplia, para que el material sea apropiado a zonas más extensas, o que los programas nacionales puedan adaptarlo fácilmente con algún cruzamiento adicional.

En algunos países en desarrollo, la disponibilidad de semilla de buena calidad de variedades mejoradas ha quedado a la zaga de los espectaculares logros obtenidos a través del fitomejoramiento durante las últimas tres o cuatro décadas. En algunos casos, en particular en países más pequeños y más pobres, el enlace vital entre el desarrollo de variedades de alto rendimiento y la multiplicación de suficiente semilla de buena calidad o nunca se hizo o se rompió. Para tratar de cerrar esta brecha, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) lanzó la Campaña de Semillas para el Mundo en 1957, en la cual participaron 79 países. Al culminar la campaña en 1961, los gobiernos estaban más conscientes de la necesidad de emprender la producción masiva, la multiplicación y la certificación de semillas de buena calidad.

Todavía están vigentes las principales limitaciones para el desarrollo de buenos sistemas de producción de semillas, pero se están logrando algunos progresos. Recientemente se han implementado más de 400 proyectos de producción de semillas en ochenta países y se ha capacitado a más de 2500 especialistas en semillas (FAO 1985). El *International Agricultural Development Service* (IADS) (Servicio Internacional de Desarrollo Agrícola) con sede en Washington, está ayudando a la Corporación de Insumos Agrícolas de Nepal a establecer un sistema de gran intensidad de mano de obra, para producir, probar, procesar, almacenar y distribuir semillas de los principales cultivos alimenticios, especialmente en las montañas, donde se dificulta el transporte. Con el apoyo de la FAO y del IADS, Turquía ha desarrollado un proyecto para producir, procesar y comercializar variedades sintéticas de maíz, forrajes y hortalizas. Varios centros internacionales de investigación agrícola del sistema GCIAI están muy interesados en la producción de semillas; la unidad de semillas del CIAT ha tenido tanto éxito, que su coordinador, J. E. Douglas (1980), ha producido una guía de planificación y manejo que se usa en todo el mundo.

Antes de llegar las semillas a manos de los agricultores, éstas son generalmente certificadas por una agencia gubernamental independiente. Las agencias de certificación de semillas controlan las semillas o clones en cuanto a pureza, calidad y sanidad. Para controlar la pureza, los técnicos eliminan las semillas de malezas y de variedades diferentes. Las operaciones de producción tratan de garantizar la pureza mediante un buen control de malezas y manteniendo los campos de producción de semillas lejos de las zonas sembradas para el consumo directo. Las pruebas de calidad controlan la viabilidad y, además, las semillas se inspeccionan para reducir las oportunidades de propagación de enfermedades y plagas. En el caso de los clones, la pureza es rara vez un problema, pero el control de la calidad y de la sanidad es más difícil. El proceso de certificación normalmente retarda la distribución de una variedad hasta por tres años.

Con respecto a las normas para certificación de semillas, la *International Seed Testing Association* (ISTA) (Asociación Internacional de Pruebas de Semillas) promulga procedimientos y métodos para realizar las pruebas y reconoce los laboratorios de prueba de semillas en todo el mundo. Cuando los países se tornan más eficientes para efectuar pruebas de calidad y certificación de semillas, la ISTA les aconseja sobre la apropiada legislación de semillas. Cuando están en la etapa de considerar dicha legislación, la mayoría de los países en desarrollo también buscan asesoramiento en naciones que poseen una larga historia de certificación de semillas.

Además de la ISTA, otras organizaciones regionales establecen normas de certificación de semillas. La *Organización for Economic Cooperation and Development* (OECD) (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) fija normas de certificación de semillas para los países miembros. La OECD reconoce las siguientes etapas en la producción de semillas: (1) prebásica, (2) básica (ambas etapas a cargo del mejorador) y (3) generaciones certificadas exitosas. En América del Norte, la *Association of Official Certifying Agencies* (AOSCA) (Asociación de Agencias Oficiales de Certificación de Semillas) sigue etapas similares (Feistritzer 1975).

A pesar de las medidas de control de calidad de la semilla, se ha expresado cierta preocupación de que las empresas multinacionales puedan ejercer demasiado control en la oferta de semillas a los países en desarrollo y que no siempre actúen a favor de los pequeños agricultores. Dichos argumentos no consideran el beneficioso impacto que han tenido las empresas multinacionales de semillas. Por ejemplo, veinte de tales empresas donaron 37.997 muestras de hortalizas a diecisiete países africanos para ayudar al programa de la FAO para rehabilitar la producción de alimentos en el continente (FAO 1985). Muchas de las muestras donadas fueron distribuidas a pequeños agricultores, a mujeres, a cooperativas y a campos de refugiados.

Algunas corporaciones multinacionales de semillas pertenecen a empresas petroleras y farmacéuticas, y los que critican las corporaciones multinacionales de semillas argumentan que ellas aprovechan la situación para promover con sus semillas costosos paquetes de herbicidas, plaguicidas, fertilizantes y fungicidas (Mooney 1979:86). Aunque es cierto que algunas empresas multinacionales de semillas pertenecen a corporaciones petroleras y farmacéuticas, ninguna empresa de semillas permanece en el negocio por mucho tiempo si sus productos no son los apropiados para los agricultores.

El asunto no está en determinar si los insumos de capital son necesarios para la agricultura moderna; la pregunta es si son eficientes con relación a los costos. Los agricultores no están interesados en el rendimiento más alto posible, independientemente de los costos de los insumos. Los agricultores sólo aplican fertilizantes y otros insumos químicos si con ésto aumentan suficientemente los rendimientos o por lo menos cubren sus costos. Además, las empresas de semillas privadas ofrecen variedades con diferentes grados de resistencia a las plagas y a las enfermedades; los agricultores no necesitan depender crónicamente de insumos innecesarios.

El problema no es tampoco que las empresas multinacionales de semillas dominen la escena agrícola en las naciones en desarrollo; el asunto consiste en hacer que ellas inviertan en los países del Tercer Mundo. En algunos casos, las empresas de semillas han explorado la posibilidad de emprender operaciones en ciertos países en desarrollo sólo para que se les diga que no pueden repatriar los beneficios obtenidos. Algunos países del Tercer Mundo prohíben el establecimiento de empresas privadas de semillas, en tanto que otras naciones no resultan atractivas para las multinacionales de semillas porque el mercado es demasiado pequeño, son escasas las áreas que poseen buenos suelos y un abastecimiento de agua asegurado, y la infraestructura es pobre. En 1984, por ejemplo, las empresas de semillas de los EE.UU. vendieron sólo EUAS328 millones de semillas en el extranjero, menos del 2 por ciento de sus ventas totales de semilla (Witt 1985:97). Donde las empresas de semillas privadas han conseguido permiso para operar, la productividad agrícola es generalmente mayor que en los países donde ellas se consideran ilegales. En México, Brasil, Zimbabue y Kenia, por ejemplo, se permitieron las operaciones de las empresas privadas de semillas y en estos países la agricultura se destaca por su dinamismo.

Con el peso de las crecientes importaciones de alimentos, los países en desarrollo se interesan cada vez más en las variedades híbridas. Sri Lanka, por ejemplo, está interesado en los híbridos de papas con semilla verdadera o botánica (CIP 1985:25). La producción de papa a base de semilla botánica, en contraposición a la papa para semilla, libera al agricultor de la obligación de apartar cerca del 12 por ciento de la cosecha para la próxima siembra. El interés en los híbridos es particularmente agudo con respecto a los cereales. En Nigeria, dos empresas privadas de semillas se establecieron en 1984, y una tercera inició operaciones en 1985, para producir y comercializar semilla de maíz híbrido (IITA 1985:58).

Los híbridos producen generalmente entre 10 y 30 por ciento más granos que las variedades de polinización abierta y, por otra parte, los consumidores se benefician de la mayor producción y los menores precios (Griliches 1958). Los híbridos se pueden producir por el cruzamiento de líneas endogámicas o de una línea endogámica con una variedad de alto rendimiento (topcross); el mayor crecimiento resultante se denomina heterosis o vigor híbrido. La semilla cosechada de híbridos no puede, sin embargo, usarse con éxito para la próxima siembra porque la progenie segrega una mezcla que contiene redrojos, plantas mediocres y sólo unos pocos especímenes superiores. Por lo tanto un agricultor debe comprar semilla fresca cada año para asegurar la continuidad del alto rendimiento.

A pesar de esta limitación, los híbridos han revolucionado un creciente número de regiones agrícolas, como el Corn Belt (franja de cultivo de maíz) en los Estados Unidos, las zonas productoras de maíz de Kenia y Zimbabue, algunas zonas que cultivan sorgo en India, y los arrozales de China continental. En la década de los 50, la FAO promovió la transferencia de híbridos de maíz a Europa meridional y oriental y al Mediterráneo, originando en promedio un aumento del 80 por ciento en los rendimientos en una década, pasando la producción de 1240 kilos por hectárea en 1953, a 2040 kilos por hectárea en 1962. En Hungría, la zona de maíz sem-

brada con híbridos aumentó de tres por ciento en 1957 a cien por ciento en 1964 (Kahn 1985:70). La República Popular de China es el único país que posee siembras extensas de arroz híbrido. Los chinos fueron pioneros en las investigaciones sobre arroz híbrido y la producción está firmemente controlada por las agencias del gobierno. Las variedades de arroz híbrido cubren actualmente un cuarto de la extensa zona arroceras del país. En los estados hindúes de Maharashtra y Karnataka, las variedades híbridas de sorgo ocupan dos tercios de la zona productora de sorgo (Hawkes 1985:33). Aunque no se puede negar el éxito obtenido por los híbridos en los países desarrollados y en partes del Tercer Mundo, las empresas de semilla privadas y el uso de híbridos siguen siendo todavía temas que suscitan controversia en los países en desarrollo. Algunos argumentan que los agricultores pobres de los países en desarrollo tienen derecho a la nueva tecnología, mientras que otros temen que los agricultores lleguen a depender demasiado de los costosos insumos y lleguen a ser objeto de explotación. Considerando los puntos de vista tan opuestos sobre el tema, se merece revisar brevemente la historia y el comportamiento de dos empresas independientes, en Kenia y Zimbabue.

La Empresa de Semillas de Kenia fue fundada en Kitale en 1956 para incentivar el uso de semilla mejorada de pastos, pero pronto extendió sus operaciones a la producción de semillas híbridas de maíz, cebada, trigo, girasol y cultivos hortícolas. La empresa se conoce más por su semilla de maíz híbrido de alta calidad, la cual empezó a producir en 1963. De 1963 a 1973, más del 80 por ciento de los agricultores de la principal región productora de maíz del occidente de Kenia estaban sembrando híbridos, una tasa de adopción más rápida que la que tuvo lugar en el Corn Belt de los Estados Unidos en la década de los 20 y en la década de los treinta.

La producción de semillas híbridas se contrata con agricultores individuales, la calidad la controlan el personal de la empresa y el Servicio de Inspección de Semillas operado por el gobierno. Las semillas certificadas producidas por la Empresa de Semillas de Kenia distribuyen a los agricultores a través de una red de más de seis mil pequeños tenderos seleccionados por su ubicación y reputación. La empresa también ha establecido dos o tres distribuidores para cada pueblo, con el objeto de evitar el monopolio local y promover la competición. La semilla de maíz híbrido producida por la Empresa de Semillas de Kenia es muy solicitada por los países vecinos y, después de satisfacer la demanda interna, especialmente la de los pequeños agricultores, el resto de la semilla se exporta. En 1980, la empresa exportó 3000 toneladas de semilla de maíz híbrido, principalmente a Uganda, Tanzania, Etiopía y Sudán. La empresa cuenta con trece extensionistas, cinco de los cuales trabajan con maíz, para asesorar a los agricultores y recibir retroinformación sobre los problemas que se presentan.

La Empresa de Semillas de Zimbabue, todavía en manos privadas, ha producido varios híbridos de maíz de mucho éxito. Uno de ellos, SR52, es especialmente popular y ha sido adoptado en la vecina Zambia. La agricultura de Zimbabue es relativamente fuerte y, con el retorno de la casi-normalidad en el régimen de lluvias, en 1985, la cosecha duplicará los requerimientos domésticos (Brown y Wolf 1985:39). Zimbabue es uno de los pocos países africanos que exportan alimentos.

El éxito de la Empresa de Semillas de Kenia y de la Empresa de Semillas de Zimbabue se puede atribuir a varios factores. En primer lugar, los programas nacionales alta prioridad al desarrollo agrícola. En segundo lugar, los programas nacionales de investigación respaldan a las empresas de semillas con material mejorado. En Kenia, por ejemplo, las primeras investigaciones sobre mejoramiento de germoplasma de maíz están a cargo del Programa de Investigación en Maíz de Kenia. En tercer lugar, la interferencia oficial en las operaciones de las empresas es mínima. En el caso de la Empresa de Semillas de Kenia, el 51 por ciento de las acciones de la empresa estaba en manos de una organización paraestatal en 1980, pero la empresa todavía está al frente de una empresa privada. La agenda socialista del gobierno de Mugabe no ha interferido con la Empresa de Semillas de Kenia, de naturaleza privada. En cuarto lugar, las empresas de semillas existen para satisfacer los deseos de los agricultores, y no los dictados de las burocracias centralizadas. En el caso de la Empresa de Semillas de Kenia, por ejemplo, sólo se comercializa el maíz híbrido y a los agricultores se ofrece una selección de híbridos. La empresa sabe que los agricultores renunciarán a una modesta ventaja en el rendimiento a favor de una variedad con un tipo de grano preferido. Finalmente, las empresas mantienen normas de alta calidad, vigilando constantemente a los agricultores involucrados en la multiplicación de semillas.

No deseamos implicar que las empresas de semillas en manos del estado sean incapaces de producir la semilla de calidad que los agricultores necesitan. La República Popular de China, India y algunos países de Europa, como Yugoslavia y Hungría, poseen esquemas de producción estatales que responden a las necesidades de los agricultores y son científicamente correctos (Jain y Banerjee 1982). Pero las operaciones manejadas por el gobierno no son generalmente tan contabilizables como lo son las compañías privadas; es dudoso que un empleado del gobierno pierda su puesto por haber entregado a los agricultores semilla de mala calidad o a destiempo para la siembra.

El control de calidad es especialmente difícil en los países en desarrollo con una inadecuada supervisión oficial y falta de personal calificado. En un proyecto piloto de producción de maíz híbrido, recientemente ensayado por uno de los gobiernos de Africa, por ejemplo, algunos de los agricultores contratados para producir la semilla híbrida adquirieron la semilla en los mercados para poder cumplir con sus cuotas.

Derechos sobre las variedades de plantas

De todos los temas relacionados con los recursos genéticos vegetales, los derechos sobre las plantas (también conocidos como derechos de los fitomejoradores) es uno de los que suscita más controversia. Los que apoyan los derechos de los fitomejoradores sostienen que sólo cuando se pueda aplicar patentes o derechos de autor a los productos finales de la investigación, habrá suficiente estímulo para la investigación y el desarrollo en la agricultura, o en cualquiera otra empresa científica. Otros sostienen que los genes son un patrimonio mundial y del dominio público y no deben patentarse. Mooney (1983), por ejemplo, afirma que no se debe per-

mitir a las empresas de semilla privadas explotar al Tercer Mundo, empleando el germoplasma de los países en desarrollo para revenderlo a ellos mismos. Además, los críticos de los derechos de los fitomejoradores sugieren que el establecer las patentes desencadenaría más celos y secretos profesionales en la investigación agrícola y podría obstaculizar el flujo de germoplasma (Jain 1982). También se expresan algunos temores de que la diversidad genética de las especies cultivadas se reducirá aún más por el interés que tienen los mejoradores privados en la uniformidad de los cultivos.

El germoplasma vegetal ha sido intercambiado entre regiones por milenios, y el pedigré de una variedad moderna generalmente procede de diversos países. La cantidad de germoplasma sometido a prueba e intercambio actualmente es impresionante y sirve para ilustrar lo que se puede lograr cuando los gobiernos y los científicos colaboran en una misión común. El germoplasma no mejorado, como razas nativas, material silvestre, y también cultivares obsoletos, se ha beneficiado siempre de un libre intercambio, y así debe ser. Esta política de libre disponibilidad del germoplasma relativamente no mejorado es comprobada para la mayoría de las especies, especialmente para las plantas alimenticias básicas.

Los programas de investigación agrícola con apoyo nacional, así como los centros internacionales, están activamente involucrados en el libre intercambio de materiales mejorados y los ponen a disposición de los programas de mejoramiento públicos y privados. Los centros internacionales de investigación agrícola se cuentan entre las principales operaciones de fitomejoramiento del mundo y sus productos son gratuitos. Los programas nacionales de investigación, los centros internacionales y otras entidades, pueden utilizar sin trabas los productos finales de las empresas privadas de mejoramiento para efectuar mayor mejoramientos.

Las líneas mejoradas avanzadas, tales como las líneas híbridas progenitoras y mutantes, así como las variedades finales, no siempre son disponibles en forma gratuita, ni debemos esperar que lo sean. Sin embargo, los materiales originales de los cuales se derivaron, sí están disponibles. Si una empresa ha hecho considerables inversiones financieras en el desarrollo de una línea mejorada avanzada, es comprensible su deseo de recuperar la inversión, más un lucro razonable, tras años de trabajo. Si se niega a las empresas el derecho de obtener beneficios por derechos de autor o de comercializar sus cultivares en forma exclusiva, desaparecerá el incentivo para los esfuerzos privados de fitomejoramiento.

Algunas personas no ven cómo las empresas privadas puedan desempeñar alguna función en el desarrollo agrícola del Tercer Mundo. Pero como Lester Brown observa en un incisivo editorial en la revista *Science* (12 de setiembre de 1980), Karl Marx fue un niño de la ciudad y rara vez prospera la agricultura bajo sus dictados. El tan denigrado lucro constituye un estímulo duradero y valioso para el desarrollo. Este no es el lugar para embarcarse en una prolongada discusión acerca de los méritos y desventajas de los enfoques capitalista y socialista para el desarrollo; nuestro punto de vista es que los sectores público y privado poseen funciones que son complementarias, no mutuamente excluyentes, en el incremento de la productividad agrícola, especialmente en lo que a conservación y uso del germoplasma vegetal se refiere.

La acusación que se le ha hecho a las empresas privadas de explotar el germoplasma del Tercer Mundo a costa de los países en desarrollo ha sido tachado por las ideologías políticas y la mala información. Se sostiene que las empresas de semillas privadas que trabajan con especies alimenticias se preocupan casi exclusivamente de los híbridos porque ésto obliga a los agricultores a dirigirse cada año a la empresa para obtener nueva semilla de calidad. En honor a la verdad, el maíz, el millo perla (*Pennisetum typhoides*) y últimamente el arroz en China son las únicas especies alimenticias importantes para los cuales se ha desarrollado híbridos a gran escala. En los países desarrollados, el sorgo híbrido para uso industrial o como forraje también se ha vuelto importante.

Gran parte de la inquietud acerca de los derechos sobre las variedades de plantas y sobre el monopolio de las semillas suministradas por las empresas multinacionales, se debe a un malentendido acerca de lo que es el proceso de erosión genética y lo que son los recursos genéticos. Los bancos genéticos no se establecieron para conservar las líneas mejoradas, aunque algunos materiales mejorados superiores a veces se mantienen en las colecciones de mediano plazo. Los bancos genéticos se establecieron principalmente para guardar los materiales relativamente primitivos que contienen todos los genes que los mejoradores necesitan para la investigación y la experimentación. Las colecciones de germoplasma son usadas por los mejoradores de los centros internacionales, regionales y nacionales para producir variedades finales, sin adjuntar derechos de fitomejoradores. Los bancos genéticos de cultivos son también empleados por los mejoradores que trabajan para empresas privadas; las variedades finales que provienen de sus investigaciones son protegidas generalmente por ley, pero el producto rara vez conserva su popularidad por mucho tiempo.

Más de veinte países han sancionado derechos de variedades de plantas. Aunque se justifica realizar más estudios acerca del impacto que pueden tener los derechos de los fitomejoradores en las naciones industrializadas, no existe ninguna evidencia de que esta tendencia esté estorbando el flujo de germoplasma no mejorado. Por el contrario, la falta de protección de las variedades de plantas puede obstaculizar el movimiento de germoplasma porque las empresas privadas no pueden demandar a otras empresas que se apoderan de su producto finalizado y lo multiplican para la venta. Las variedades de los mejoradores que están sujetas a los derechos de fitomejoradores en algunos países son solicitadas por otros mejoradores para emplearlas como progenitores en cruzamientos adicionales. En los países que han sancionado derechos de fitomejoradores, los mejoradores no necesitan apegarse a sus variedades, porque ellas están protegidas. Pero donde no existe ninguna protección, el intercambio de variedades depende de las garantías personales de que el material no se venderá directamente. Dichas promesas suelen ser difíciles de mantener ya que no existe ninguna garantía de que las variedades no serán utilizadas en forma abusiva por otros (Frankel 1981).

Cada país debe pesar los beneficios y posibles inconvenientes de aprobar leyes de protección de variedades de especies cultivadas en el contexto de su propia historia y condiciones socio-económicas. Pero uno de los principales beneficios de los derechos de los fitomejoradores es que aceleran el desarrollo de los sistemas de

suministro de semillas. Aquellos países que niegan los derechos de los mejoradores, o aplazan una decisión sobre el tema, pueden encontrar que, en un momento dado, se les niegue el acceso a ciertas variedades de alto rendimiento producidas por las empresas privadas (Godden 1984). La falta de decisión también puede ser costosa.

En los Estados Unidos, se han otorgado patentes para invenciones agrícolas, principalmente en ingeniería y química, desde el *Patent Act* (Ley sobre Patentes) de 1790 (Evenson 1983). No fue sino hasta que se sancionó una ley sobre patentes de plantas (*Plant Patent Act*), en 1930, que las plantas reproducidas a partir de clones, principalmente árboles, hortalizas y especies ornamentales, recibieron alguna protección. Las variedades de plantas reproducidas sexualmente lograron protección en 1970, con la aprobación del *Plant Variety Protection Act* (Ley de Protección de Variedades de Plantas), que fue enmendado en 1980. El acto de 1970, administrado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, protege al mejorador que ha producido una variedad nueva, estable y uniforme, de las acciones de otras personas que deseen reproducir la variedad para la venta. Los agricultores son libres de reproducir semilla de la variedad para su propio uso y pueden aún vender cantidades limitadas de semilla. No hay ninguna restricción sobre el uso de las variedades protegidas para fines de investigación.

Los derechos de variedades de plantas en los Estados Unidos y en la mayoría de otros países con economías avanzadas han estimulado la inversión privada en investigaciones sobre mejoramiento de cultivos (Duvick 1983). A partir de 1983, se han otorgado certificados o patentes para ochenta cultivares en los Estados Unidos, y la mayoría de los certificados se destinan al sector privado (Evenson 1983). El mejoramiento de soya (*Glycine max*) en los Estados Unidos ilustra el estímulo proporcionado por los derechos de variedades de plantas. Antes de 1970, sólo unas pocas docenas de programas de mejoramiento eran operativos, en los sectores público y privado. Después de la sanción de la ley de protección de variedades de plantas, se iniciaron 35 programas privados de mejoramiento de soya. De los 281 certificados para variedades de soya otorgados entre 1971 y 1983, el 87 por ciento correspondió a 35 compañías privadas independientes (Evenson 1983). Se calcula que dentro de pocos años más de la mitad de los acres de soya en los Estados Unidos serán sembrados con variedades privadas. Una decisión tomada en 1985 por la Junta de Apelaciones del *U.S. Patent and Trademark Office* (Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los EE.UU.) permite patentar plantas, semillas y cultivos de tejidos genéticamente diseñados; este paso significará un tremendo estímulo para la industria de la biotecnología (Beardsley 1985; Sun 1985).

Los derechos de variedades de plantas no significan negar la participación de instituciones públicas de fitomejoramiento. Más del 80 por ciento de las variedades de trigo, centeno, avena, cebada, o maní (*Arachis hypogaea*), frijol seco comestible y gramíneas forrajeras sembradas por agricultores de los Estados Unidos son variedades públicas (Pioneer 1982). Además muchas de las empresas de semilla más pequeñas, continúan dependiendo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, de estaciones experimentales agrícolas de Estado y de las universidades para obtener materiales mejorados.

El advenimiento de los derechos de variedades de plantas ha instado a las instituciones públicas de investigación agrícola de los Estados Unidos a ajustar algunos

de sus programas. Con respecto a algunas, como tomate, arveja, lechuga, tabaco y cebolla, el sector público se ha retirado virtualmente del desarrollo de variedades. A medida que el sector privado ha crecido y madurado en el desarrollo de la soya y los híbridos de maíz y sorgo, las agencias públicas han canalizado un mayor esfuerzo de investigación hacia la metodología de mejoramiento, los materiales de reservas para el mejoramiento y la genética.

Las instituciones públicas de investigación agrícola, especialmente en países con economías avanzadas, se inclinan a distribuir progenies segregantes (material que no ha alcanzado todavía el estado de línea pura) de los programas de cruzamiento en etapas tempranas a los mejoradores cada vez más experimentados de los programas nacionales. Además, están dirigiendo una mayor parte de sus esfuerzos futuros hacia la investigación básica.

No hay ninguna evidencia de que la protección de los derechos privados de variedades de plantas impida la conservación, el intercambio y la utilización del germoplasma de cultivos. Los derechos de variedades de plantas incentivan la innovación en el fitomejoramiento al proporcionar un incentivo financiero.

Permiten el uso de material patentado en investigaciones y limitan el uso de la variedad sólo en países con leyes para la protección de plantas. En naciones que no reconocen los derechos de los fitomejoradores, las variedades patentadas pueden usarse sin problemas legales. En la mayoría de los casos, las empresas de semilla privadas obtienen patentes para sus productos en los principales mercados; no se preocupan especialmente de su libre utilización en otros sitios.

Las bancos de germoplasma que están en manos privadas son pequeños; rara vez, si es que lo hacen, mantienen una diversidad de variedades que no esté disponible en otros sitios y, además, se ocupan principalmente del mejoramiento de líneas avanzadas. El germoplasma básico o no mejorado está disponible en numerosos bancos genéticos operados por instituciones nacionales, regionales o internacionales. Los bancos genéticos no se inclinan ante los intereses de las empresas privadas; en realidad, ellos respaldan los programas de mejoramiento operados por instituciones y empresas públicas.

NOTAS

- 1 Para facilitar la comprensión de los lectores que no son versados en biología, usamos el término "insectos" para referirnos a los artrópodos, aunque algunos artrópodos, como los ácaros, no se clasifican como insectos. Los artrópodos son criaturas provistas de extremidades articuladas; algunos, como los insectos tienen seis patas; otros, como las arañas, tienen más patas.

RECOLECTORES DE PLANTAS Y BANCOS GENETICOS

Durante la mayor parte de la historia de la tierra, la diversidad genética de las plantas se ha preservado en los hábitat silvestres o en los campos de los agricultores. Con excepción del sobrepastoreo por el ganado doméstico y de los caprinos en zonas del Medio Oriente y de América Central, nada había amenazado realmente a las formas silvestres de nuestras especies cultivadas hasta este siglo. La riqueza genética de las plantas ha sido mantenida por lo menos durante 10.000 años por los agricultores, quienes guardan la semilla o los clones para la próxima siembra, la que usualmente tiene lugar al año siguiente. Las semillas para la siguiente siembra han sido protegidas de insectos y de mamíferos, enterrándolas en canastas cubiertas con ceniza, sellándolas en estructuras amuralladas o empacándolas en chozas de paja en alto. Las plantas propagadas vegetativamente han sido mantenidas, históricamente, almacenando los tubérculos durante algunos meses en sitios frescos y secos, como es el caso de la papa (*Solanum* spp.) en los Andes; apilando las estacas caulescentes o cortes lejos de la humedad durante cortos períodos, como en el caso de la yuca; o sembrando inmediatamente las estacas frescas de plantas como la batata. De esta manera se mantuvieron los materiales genéticos en las parcelas de los agricultores, en tanto que los parientes de nuestros cultivos florecían en lugares marginales y en hábitat naturales.

En este capítulo exploramos las raíces históricas de la preservación de germoplasma. Examinamos los orígenes de los jardines botánicos y analizamos sus funciones, enfatizando los cultivos más que las plantas ornamentales. Aunque hay quienes prefieren definir los jardines botánicos como instituciones que poseen personal científico y flora, que se iniciaron aproximadamente en el siglo XVI, incluimos en nuestro estudio los jardines ornamentales, los jardines botánicos clásicos y los viveros que han existido durante miles de años. Después de discutir la función de los jardines botánicos en la aclimatación y diseminación del germoplasma exótico de plantas de interés económico, describimos la aparición de los

modernos bancos genéticos. Finalmente, examinamos las vidas y los logros de los exploradores de plantas, sin cuyo esfuerzo la colección de germoplasma no hubiera sido posible.

Jardines botánicos

La práctica de coleccionar plantas de tierras extranjeras y de mantenerlas en jardines botánicos es antigua. La religión y la mitología han servido de alicientes para la construcción de estos jardines. Los indios kayapó de la Amazonia brasilera, por ejemplo, mantienen colecciones de germoplasma en jardines de laderas (Kerr y Posey 1984; Posey 1984 1985). Los bancos genéticos kayapó, que contienen principalmente plantas tuberosas de familias como las *Zingiberaceae*, *Araceae* y *Marantaceae*, han sido diseñados para salvaguardar la diversidad genética de los cultivos en casos de desastre, especialmente de las inundaciones. Una preocupación mitológica acerca de una gran inundación es una de las razones que explican por qué los Kayapós se molestan en separar muestras representativas de algunos de sus cultivos importantes en tierras altas (Posey, com. pers.). Estos jardines especializados son cuidados exclusivamente por las mujeres más viejas, dirigidas por la jefa femenina de los Kayapós, la posición más alta que pueden alcanzar las mujeres en la aquella sociedad.

Las colecciones de germoplasma kayapó se forman de dos maneras. Se tala la vegetación arbustiva en campos de ocho a diez años de edad y se siembran materiales tuberosos; al momento de la cosecha, se dejan en el campo algunos representantes de las variedades para preservar la colección. En los jardines nuevos, se siembran unas dos docenas de tubérculos comestibles y numerosas plantas medicinales en el microambiente sombreado de las áreas sembradas con banano. Cuando finalmente se abandona el campo, los vástagos de banano se trasplantan a los nuevos campos y la colección de germoplasma acompañante se transfiere a un bananal maduro. Esta atención cuidadosa para preservar la diversidad genética de las plantas cultivadas ha sido practicada por los kayapós durante muchos años.

En la Edad Media, los jardines ornamentales de Europa y del Medio Oriente se concebían frecuentemente como simulaciones del Jardín del Edén; el cuidado de las plantas ornamentales y árboles frutales se consideraba como un revivir de la creación (Glacken 1976:347). En el Viejo Testamento, el Jardín del Edén se describe como el primer hogar del hombre y fue sembrado por Dios con árboles que continuamente producían flores y frutos¹. Cuando el Jardín del Edén no pudo ser descubierto por navegantes y viajeros, se pensó que había sucumbido bajo la gran inundación y surgió la idea de juntar las piezas sueltas de la creación en un nuevo jardín (Prest 1981:9). Los jardines monásticos fueron comunes en Europa en el siglo IX.

Una combinación de placer y sentimiento espiritual también sirvió para estimular la creación de jardines alrededor de las mezquitas y los palacios islámicos durante la Edad Media. Mientras la península ibérica estuvo gobernada por los moros en

los siglos X y XI, se sembraron varios hermosísimos jardines alrededor de los palacios. El inmenso jardín sembrado en Medina Azahara cerca de Córdoba, según las instrucciones de los califas musulmanes, contenía plantas ornamentales y huertas con riego. Frescos jardines proporcionaban numerosas oportunidades para el descanso y para contemplar las bendiciones de Alá. Según al-Maqqari, los jardines palaciegos de Murcia "estaban llenos de flores perfumadas, pájaros cantores y molinos de agua de sonido rumoroso" (Harvey 1981:43). Otros jardines ornamentales similares se construyeron alrededor de los palacios de Toledo y Sevilla. Los califas y sultanes no se detuvieron en gastos para enriquecer estos jardines; se despachaban recolectores hasta la India para recoger plantas y semillas raras.

Los jardines establecidos por los moros en España servían para el placer, la inspiración y el estudio. Se escrutaba celosamente el comportamiento de las plantas introducidas y también se hacían experimentos. Los jardines botánicos islámicos cumplieron una función fundamental en aumentar los conocimientos acerca de las propiedades de las plantas. Ibb al-Baitar, un importante botánico moro que vivió en Málaga, describió 1400 plantas en su farmacopía (Harvey 1981:43).

La difusión del Islam también influyó en los jardines asiáticos, donde se encuentra nuevamente el tema del paraíso, como también el tema del agua como fuente de vida. Los gobernantes mongoles de la India, por ejemplo, establecieron jardines con riego en sus palacios y alrededor de ciertas tumbas durante los siglos XVI y XVII (Crowe *et al.* 1972:76). Los mongoles trajeron cerezas y duraznos a la India, y sus extensos jardines forman parte de las más grandes tradiciones paisajísticas del mundo.

La medicina también sirvió de estímulo temprano para la colección y estudio científico de las plantas. Uno de los primeros jardines del mundo fue una colección de plantas medicinales de la China, sembrada por órdenes del Emperador Sheng Nong en el año 2800 a.C. (Sheng-ji 1984:7). Durante la dinastía Son (420-479 D.C.), todas las plantas del jardín medicinal conocido como Du-Lee estaban etiquetadas. Un físico judío llamado Salomón era el encargado de mantener el primer jardín privado de hierbas de Inglaterra, en Norwich, en 1266. Salomón obtenía plantas medicinales del continente (Harvey 1981:78). Venecia tenía un jardín físico en 1333, y el Papa Nicolás V ordenó establecer una parcela de plantas medicinales en el Vaticano, en 1447 (Hyams y MacQuitty 1969:16). Pisa y Padua también tenían jardines formales de plantas medicinales, que utilizaban para la enseñanza, en 1543 y 1545, respectivamente. La creación de jardines como el *Leyden Botanic Garden* (establecido en 1587), del *Jardin des Plantes* en París (1626) y los jardines botánicos de Oxford (1621), Edimburgo (1670) y Leningrado (1714) respondía también a la necesidad de acumular y estudiar plantas medicinales (M. Smith 1986).

A diferencia de la mayoría de sus contrapartes anteriores, el jardín botánico más conocido del mundo, el *Royal Botanic Gardens* en Kew, Londres, no se estableció sólo para propagar plantas medicinales. Esto probablemente se debió a su comienzo relativamente tardío en 1759; el primer director oficial de los jardines de Kew no

fue nombrado sino hasta 1841 (Hepper 1982:32). Durante dos siglos, el personal de Kew reunió un surtido de diversas plantas, las cuales numeran hoy día alrededor de cincuenta mil especies, de virtualmente todos los países. Los colectores continuaban siendo despachados por el mundo entero en búsqueda de plantas ornamentales y medicinales potencialmente útiles y parientes silvestres de las especies cultivadas.

Las autoridades coloniales establecieron numerosos jardines botánicos en sus posesiones en el extranjero, especialmente en las Indias Occidentales y en el sudeste asiático (Figura 3.1)². Los franceses fueron responsables del primer jardín botánico en zonas tropicales; éste se construyó en 1735 en Pamplemousses, Mauricio (MacPhail 1972:102). Pamplemousses, como sucedió con la mayoría de los jardines botánicos establecidos por autoridades coloniales, dio mayor importancia a las plantas de interés económico. Al principio, se sembró con hortalizas, yuca y especies de gramíneas para proporcionar alimento a la comunidad francesa. Se agregaron árboles frutales en un par de años y Pamplemousses, la palabra francesa para toronjas, adquirió la función adicional de un jardín de placer (Hart 1919).

Los cultivos de plantación se convirtieron en el foco de atención en Pamplemousses, en 1767, cuando algunas plantas de especias como la nuez moscada (*Myristica fragans*), pimienta (*Piper nigrum*) y canela (*Cinnamomum zeylanicum*) se trajeron de las Indias holandesas, como también diversos frutales, tintes y barnices (Hart 1919; Purseglove 1959). Antes de inventarse la refrigeración, los condimentos tenían mucha demanda para la preservación de carnes; además, los platos muy condimentados pueden ocultar el sabor del pescado o la carne a punto de pudrirse. A finales de 1770 y principios de 1780, Pamplemousses empezó a distribuir plántulas de pimienta, canela, clavo (*Eugenia caryophyllus*) y nuez moscada a los habitantes de Mauricio así como a los franceses del Caribe y de Guyana.

El personal de Pamplemousses no se contentaba sólo con introducir plantas a Mauricio y a otras posesiones francesas. Constantemente se buscaban materiales frescos para expandir la variabilidad de especies de interés económico. Por lo tanto en 1769 y 1771 el personal organizó algunas expediciones para traer más materiales de nuez moscada y clavo al jardín. Y durante 1860, las excursiones emprendidas por Pamplemousses dieron como resultado la adquisición de nuevos materiales de caña de azúcar de Nueva Caledonia y de Australia, lo que salvó la industria azucarera de Mauricio cuando la azotó la enfermedad.

Los holandeses también establecieron jardines botánicos en sus posesiones en el extranjero para introducir plantas y para aprovisionar a los barcos. Cuando se fundó la colonia de Cabo en 1652, de inmediato se estableció un jardín de frutales y hortalizas para ayudar a evitar el escorbuto entre las tripulaciones que viajaban a las Indias o que regresaban a Holanda (Prest 1981:48). El jardín Capetown, administrado por la *Dutch East India Company*, suministraba a las tripulaciones holandesas frutas y hortalizas frescas mientras permanecían en puerto y suficientes provisiones para dos semanas en el mar. En 1685, el sacerdote Guy Tachard (1686:72) observó limón, granada (*Punica granatum*), naranja, manzana, pera, albaricoque, banano,

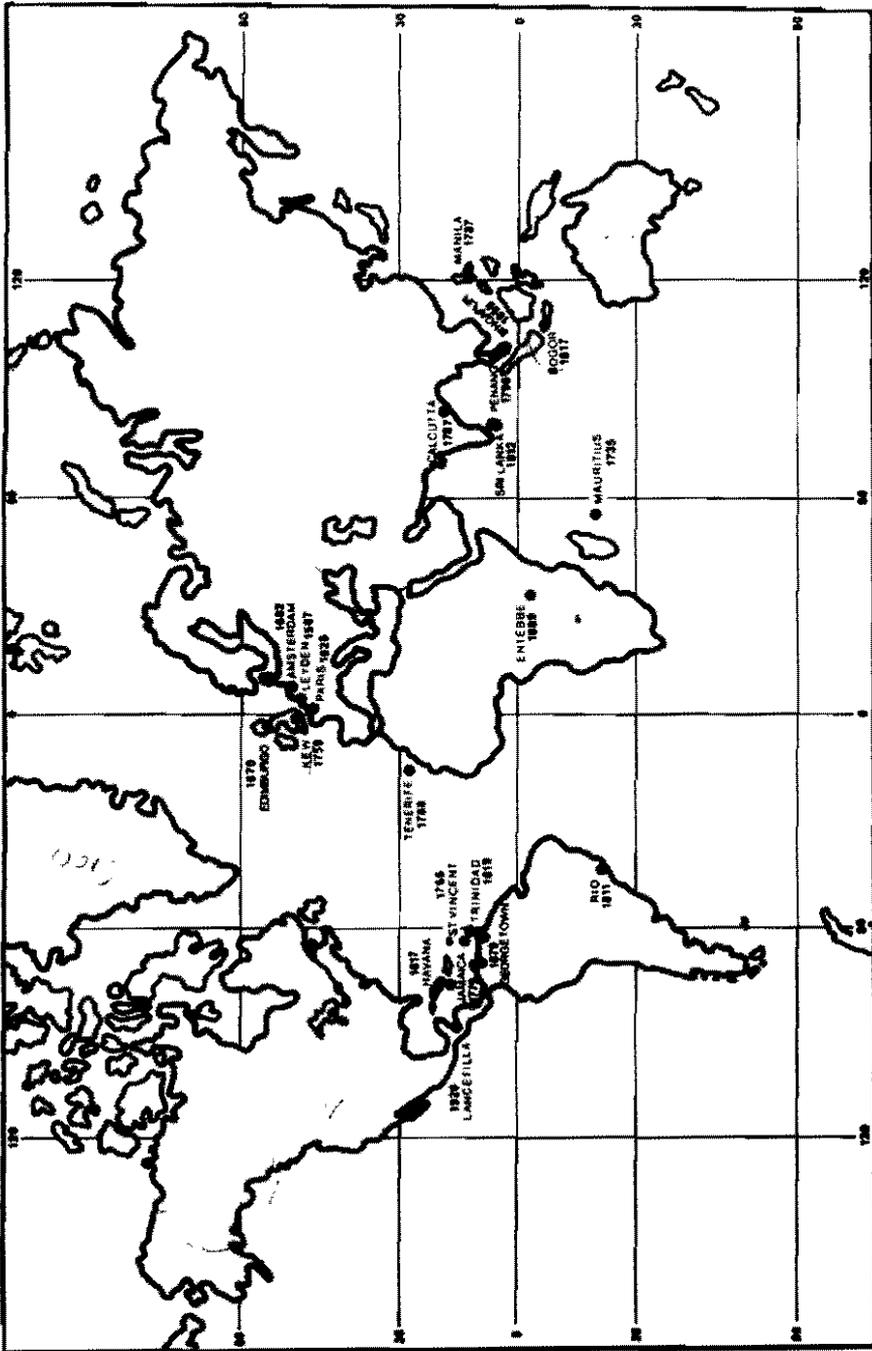


Figura 3.1. Distribución y fechas de fundación de los jardines botánicos involucrados en la diseminación de cultivos tropicales (Ver también la nota 2).

piña (*Ananas comosus*) y algunos frutales raros en el jardín. El jesuita francés expresó su admiración por las precauciones con que las plantas se habían traído de tierras distantes y por el cuidado con el cual se atendían en Capetown.

Los holandeses establecieron un importante jardín de aclimatación en Bogor (entonces Buitenzorg) en Java en 1817. Fue instalado para examinar el germoplasma exótico destinado a las plantaciones en Indonesia y para estudiar la flora nativa. Bogor, un jardín de 87 hectáreas en el centro de la ciudad y a una hora de Jakarta, desempeñó un papel importante en la introducción de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis*) al sudeste asiático; esta palma proporciona un buen aceite con sus frutos y granos del tamaño de una aceituna; con este aceite se fabrica margarina y jabón. En 1848, Bogor recibió cuatro especímenes de palma del occidente africano: dos de La Réunion (entonces llamada Bourbon) y dos del *Amsterdam Botanic Garden* (Purseglove 1975:482). Dos de las cuatro introducciones originales todavía prosperan en Bogor, donde han merecido placas especiales y son señaladas con entusiasmo por las guías de turismo.

Las semillas de las cuatro palmas de aceite africanas se sembraron en algunos experimentos y como adorno por toda Indonesia. Extensos surcos de palma de aceite africana bordearon los caminos que recorrían las haciendas de tabaco en Deli, Sumatra, y suministraron las semillas para las primeras plantaciones de palma forestal en esa región, alrededor de 1911 (Hardon 1976). Los *Singapore Botanic Gardens* obtuvieron semillas de palma de aceite africana de Java en 1870 y multiplicaron la palma para distribuirla en toda Malasia, inicialmente como una especie ornamental. Algunas de las palmas de aceite africanas originales introducidas en los *Singapore Botanic Gardens* viven todavía en el lindero norte del jardín³. Las introducciones originales de palma oleaginosa africana en los jardines de Bogor y Singapur provenían de reservas no mejoradas y son mucho más altas que las modernas variedades cultivadas, que son relativamente bajas para facilitar la cosecha de los frutos.

Bogor y sus jardines botánicos satélites trabajaron también con otras especies. En 1826, Bogor fue el primer sitio de siembra de té (*Camellia sinensis*) en Java, que posteriormente se convirtió en un cultivo importante en las partes montañosas de la isla. Actualmente es el té jazmín, y no el café, la bebida de mayor consumo en Indonesia. Bogor sembró también caucho (*Hevea brasiliensis*) y otros árboles de látex, así como nuevo material de café mejorado para combatir la roya. A finales de 1800, el personal de Bogor estaba investigando las enfermedades del arroz, la caña de azúcar, el tabaco y el café (*Coffea arabica*). Para satisfacer la creciente necesidad de espacio para sembrar y multiplicar las plantas cultivadas, Bogor adquirió un jardín satélite de 75 hectáreas, Tjikeumeuth, a cuatro kilómetros del jardín principal en 1875 (Massart 1945). Este espacio está hoy en día ocupado por algunos proyectos de desarrollo urbano y por el *Institute of Industrial Crops Research*.

Bajo el liderazgo energético de Melchior Treub, quien asumió el mando de los *Bogor Botanic Gardens* en 1883, logró extender el espacio dedicado a jardines experimentales entrando en convenios con los dueños de haciendas de caña de azúcar,



Figura 3.2. Palma de aceite africana de Java, en Singapore Botanic Gardens. Estas palmas son descendientes de las cuatro introducciones de palma de Bogor.

tabaco, caucho, quina (*Cinchona* spp.), cacao (*Theobroma cacao*) té y café, a quienes convenció que renunciaran a parte de sus posesiones para la realización de estos experimentos. Las parcelas experimentales quedaron bajo la propiedad de las haciendas, pero el trabajo de investigación fue dirigido por los *Bogor Botanic Gardens* (Bernard 1945). El Dr. Treub insistió en que el jardín debía servir directamente a la agricultura y a la industria, así como a la realización de investigaciones básicas; el museo zoológico dentro del jardín por ejemplo estudiaba las plagas agrícolas, entre otros.

Los portugueses, a semejanza de los españoles, fueron muy activos en el traslado de plantas entre los continentes, pero, a diferencia de los holandeses, hicieron por lo general introducciones directas en lugar de crear jardines botánicos como zonas de transición. Fueron, sin embargo, responsables del establecimiento de uno de los primeros jardines botánicos de América, el *Jardim Botânico de Rio*, el cual ha atraído multitudes desde 1811 y es especialmente admirado por su avenida principal bordeada de majestuosas palmas reales (Souza 1945).

El *Jardim Botánico de Río* se estableció como un jardín de aclimatación para plantas extranjeras de interés económico. Pronto tuvo colecciones considerables de té, alcanfor (*Cinnamomum camphora*), canela, nuez moscada, árbol del pan (*Artocarpus altilis*), jaca (*A. heterophyllus*), lichi (*Nephelium litchi*), mango y carambola (*Averrhoa carambola*). Los visitantes brasileños y extranjeros del jardín solían criticar la falta de flora nativa (Gardner 1846:34; Riberyrolles 1941:157; Cruis 1949:257). A partir del año 1890 el Jardín Botánico ha contado con numerosas plantas brasileñas (Porto 1936). El té fue una de las primeras plantas cultivadas en este jardín, el cual fue el responsable de la introducción del cultivo a América del Sur.



Figura 3.3. Trabajadores chinos sembrando té en el Jardim Botánico, Río de Janeiro, a principios del siglo XIX. (Tomado de Rugendas, 1941).

Los portugueses tenían la esperanza de que Brasil pudiera llegar un día a rivalizar con China como principal productor de té. El Conde de Linhares⁴ fue el encargado de introducir plántulas de té de Macau al *Jardim Botánico* (entonces conocido como *Horto Botánico* y rebautizado *Real Jardim Botánico* en 1819); 200 trabajadores chinos vinieron a cuidar las jóvenes plantas de té (Cruis 1949:257). En 1825, seis

mil plantas de té prosperaban en el *Jardim Botanico* y se distribuían plántulas a Sao Paulo, Minas Gerais y Teresopolis (Ferrez y Mouillot 1965:106). En 1836, en una plantación en Sao Paulo había más de 20.000 arbustos de té, pero el cultivo nunca despegó porque se comprobó que era inferior al té chino importado y que los costos de producción eran mayores debido al alto costo de la mano de obra (Gardner 1846:35). A pesar de ser el té un cultivo lucrativo en ciertas partes de América del Sur, como por ejemplo en el altiplano de Ecuador, este continente nunca ha podido rivalizar con China, India o Sri Lanka, principales exportadores de este producto.

Los españoles establecieron varios jardines botánicos en las zonas tórridas y subtórridas, pero pocos han sobrevivido hasta este día. Una excepción notable es el Jardín de Aclimatación en el puerto de Orotava en Tenerife, en las Islas Canarias. El bien mantenido jardín fue fundado por orden real en 1788 y recibió su primera remesa de semillas y plantas exóticas el mismo año (J. J. Parsons, com. pers.). Uno de los principales objetivos del Jardín de Aclimatación de Orotava fue el de adaptar plantas tropicales a las condiciones climáticas europeas (Humboldt 1818:137).

Los británicos participaron en forma especialmente activa en el establecimiento de jardines botánicos en zonas tropicales. La *Royal Society of London*, por ejemplo, promovió el primer jardín del Nuevo Mundo para la aclimatación de germoplasma de cultivos tropicales en St. Vincent, en las Islas de Barlovento, en 1766 (Howard 1954; Watkins 1976). El *Saint Vincent Botanic Garden* fue la puerta de entrada para la introducción del árbol del pan en el neotrópico; el Capitán William Bligh trajo seis variedades de este árbol de frutos harinosos, nativo del sudeste asiático y del Pacífico, al jardín desde Tahití en 1793. Un primer intento, en 1789, había fracasado cuando la tripulación del *Bounty*, que transportaba el árbol del pan, se amotinó, en parte porque la tan necesitada agua fresca se utilizaba para mantener vivos los aproximadamente mil arbolitos que se encontraban a bordo (Oster y Oster 1985). Los retoños de árbol del pan se propagaron en el *Saint Vincent Botanic Garden* para ser distribuidos en la isla y a otros jardines botánicos del Caribe. El árbol del pan se trajo al Nuevo Mundo para proporcionar alimento barato para los esclavos que trabajaban en las plantaciones de caña de azúcar, café, cacao y añil. Al principio el nuevo fruto fue recibido con cierto rechazo, pero se convirtió en un apreciado alimento de la región.

El *Saint Vincent Botanic Garden* también desempeñó una importante función en la multiplicación y difusión de otro cultivo arbóreo asiático, la nuez moscada. El jardín botánico obtuvo semillas de esta especie en Guyana Francesa en 1791 (Howard 1954). En 1793 el jardín probablemente mantenía algunas muestras de una variedad importante de caña de azúcar, Otaheiti, originaria de Tahití, y junto con otras introducciones de la misma variedad, ayudó a mejorar la producción de caña de azúcar en las Américas durante el siglo XIX (Galloway 1985). Durante la mayor parte de su historia, el *Saint Vincent Botanic Garden* se ha involucrado considerablemente en investigaciones agrícolas. El personal del jardín, por ejemplo, desarrolló uno de los mejores cultivares de algodón del mundo, *Saint Vicent Superfine Sea Island*, así como algunas variedades de arruzuz (*Maranta arundinacea*) muy productivas.

Los británicos establecieron varios jardines botánicos en Jamaica en los siglos XVIII y XIX para probar y propagar los cultivos tropicales apropiados de Asia, el Pacífico y Africa. El Gobernador Señor Basil Keith, por ejemplo, autorizó la construcción del *Bath Botanic Garden* cerca de Pueblo Gordon en 1779, donde fue introducido a Jamaica, el muy exitoso banano Cavendish. El *Carleton Botanic Garden*, creado en 1862 sobre un terreno de seis hectáreas, liberó el mango Bombay y la naranja ombligona en Jamaica en 1868 y 1870, respectivamente (Eyre 1966:22, 29).

La empresa privada también respaldó el establecimiento de varios jardines botánicos en las posesiones británicas en el extranjero. La *British East India Company*, por ejemplo, comenzó un jardín de especias poco después de la colonización de Penang en 1786. El principal objetivo del extenso jardín, inaugurado oficialmente en 1796, fue romper el monopolio holandés en el cultivo de especias. Con este fin, un botánico, Cristóbal Smith, fue enviado a las Molucas en 1796 para recoger plántulas de nuez moscada y clavo. Smith envió 71.266 plantas vivas de nuez moscada, 55.264 plántulas de clavo y varias otras plantas de interés económico al jardín de Penang (Ridley 1910). La misma empresa apoyó también el establecimiento del *Calcutta Botanic Garden* en 1787. El jardín de 112 hectáreas, en suelo aluvial bajo, se sembró inicialmente con árboles maderables, como teca (*Tectona grandis*) y caoba, para la construcción de barcos (Holtum 1984). Pronto siguieron las investigaciones en mejoramiento de yute (*Corchorus* sp.), algodón indio, té, quina, café, cacao, lino (*Linum usitatissimum*), cáñamo (*Cannabis sativa*) y yuca (Sharma 1984).

Los *Royal Botanic Garden* en Kew ayudaban a menudo a otros jardines botánicos del Imperio británico, proporcionando personal, asesoramiento y materiales (Ashton 1981). Kew fue un catalizador en la instalación de los jardines botánicos de Sri Lanka en 1812 y ayudó a establecer los jardines botánicos de Singapur, que se abrieron en 1859. Los directores y el personal de los jardines botánicos del extranjero a veces provenían de Kew o habían recibido capacitación allí.

Los jardines de Singapur y Sri Lanka daban un fuerte énfasis a las plantas de interés económico. El jardín Peradeniya de 58 hectáreas, en Sri Lanka, por ejemplo, proporcionó plántulas de café y caucho a las haciendas, y un jardín satélite, Hakgala, abierto en 1861, propagó la quina (*Cinchona succiruba*, *C. calysaya*). En 1876 solamente, el jardín Hakgala distribuyó 1.2 millones de plantas de quina (Rajapakse 1984). En 1877, los jardines de Sri Lanka habían distribuido 5.5 millones de plantas de quina a los cultivadores que abastecían el mercado de Londres (Brockway 1979:122). Peradeniya dejó de trabajar con café cuando la roya (*Hemileia vastatrix*) devastó las plantaciones de Sri Lanka, y Hakgala dejó de propagar la quina cuando la competencia de las plantaciones a gran escala de India e Indonesia socavó la producción local. Peradeniya y los jardines botánicos asociados introdujeron varios otros cultivos a Sri Lanka, incluyendo tomate (1814), cacao proveniente de Trinidad (1834), durián (*Durio zibethinus*) (1850), alcanfor (1852), vainilla (*Vainilla planifolia*) (1853), chirimoya (*Annona cherimolia*) (1882), y diversas especies forestales (Rajapakse 1984).

Desde el principio, Kew ha favorecido un sistema de redes para hacer el germoplasma más disponible. La importancia que se le daba a la colaboración con otros jardines botánicos se hace particularmente evidente con la historia de dos plantas comercialmente importantes, la quina y el caucho. En 1860, Richard Spruce y Robert Cross recogieron semillas del árbol de quina de corteza roja (*Cinchona succiruba*) en los bosques que cubren las laderas orientales de los Andes ecuatorianos. La corteza de los árboles de quina contiene un alcaloide, la quinina, que es tóxico para los parásitos de malaria y en esa época era el único tratamiento efectivo para esta debilitante y a veces fatal enfermedad. Se despachó semilla seca, cortes y plántulas a Kew; parte de este material logró sobrevivir a los viajes en mula y canoa, al clima caliente y húmedo, y al prolongado viaje en barco a vapor hasta Inglaterra.

Entretanto más al sur, Kew tenía dos otros colectores, Clements Markham y Prichett, quienes recogían semillas de otras especies de quina para hacer germinar en Kew (Brockway, 1979:114). Robert Cross hizo viajes adicionales a Ecuador en 1861 y a Colombia en 1863 y 1868. Se enviaron numerosas plántulas y cortes de Kew a India, Sri Lanka y las Indias Occidentales, donde pronto se establecieron plantaciones del árbol de la quinina. En India, hubo consecuentemente amplia disponibilidad de quinina, a bajo costo, para salvar vidas (Hepper 1982:131).

La historia del caucho se ha convertido, para algunas personas por lo menos, en uno de los capítulos más infames de la historia de Kew. Hay quienes consideran a los jardines botánicos, como Kew, como meros instrumentos del poder colonial para obtener recursos naturales de los países tropicales. Aunque es cierto que los jardines botánicos a menudo se instalaron para asegurar la siembra de plantas importantes desde el punto de vista comercial en las posesiones coloniales, este esfuerzo ha beneficiado claramente a los ciudadanos del Tercer Mundo. La manera en que el caucho se obtuvo de su hábitat nativo, la selva tropical amazónica, ha suscitado controversias; algunos colectores han acusado a Kew de haber sacado ilegalmente de Brasil semillas del árbol de látex (Brockway 1979:32; Weinstein 1983:219). Y como se evidencia en una publicación anterior (Smith 1984), uno de los autores de este libro fue también culpable de tan erróneo y común concepto.

Las circunstancias que rodean el éxodo de las semillas de *Hevea brasiliensis* de la Amazonía no apoyan la noción popular de un comportamiento ilícito. En 1876, Wickham Henry y Robert Cross obtuvieron 70.000 semillas de caucho en la Amazonia; las actividades involucradas en la organización de tan vasta consignación no habrían escapado a la atención de las autoridades brasileñas. Además, la exportación de semillas de caucho de Brasil no era cosa prohibida en esa época (Wycherley 1959; Purseglove 1974:149; Voon 1976:3). Y, además, Wickham tuvo la prudencia de obtener la aprobación de las autoridades aduaneras de Santarem antes de enviar las semillas a Inglaterra (Majid y Hendranata 1975; Hepper 1982:131). Las semillas de caucho no permanecen viables por muy largo tiempo y sólo 2397 de las semillas enviadas por Wickham germinaron en Kew. En 1876-1879 de aquellas plántulas fueron enviadas a Sri Lanka y sembradas en Heneratgoda, un jardín satélite de Peradeniya, situado en terrenos bajos. En el mismo año,

Kew envió cincuenta plántulas de caucho a los *Singapore Botanic Gardens*, pero ellas perecieron en el puerto por un retraso en el pago de los fletes (Purseglove 1959). Un año después Kew envió 22 plántulas de caucho adicionales a los *Singapore Botanic Gardens* donde llegaron en buenas condiciones y prosperaron. En 1897, 1310 árboles de *Hevea*, portadores de semillas, se establecieron en los jardines (Voon 1976:9). Dos descendientes del envío original todavía estaban vivos en el jardín en 1985 (Figura 3.4).



Figura 3.4. Uno de los dos descendientes del embarque original de caucho (*Hevea brasiliensis*) a *Singapore Botanic Gardens*.

Espoleado por una creciente demanda de neumáticos para bicicletas en 1880, y posteriormente para automóviles, los *Singapore Botanic Gardens* sirvieron de vivero para el desarrollo a gran escala de plantaciones de caucho a principios de 1900 y finalmente despacharon siete millones de semillas y una cantidad más pequeña de plántulas (Purseglove 1974:150). La mayoría de las plántulas se distribuyó inicialmente en el Sudeste Asiático; ya en 1905, los árboles de caucho crecían en 5.3 millones de hectáreas en los protectorados asiáticos de Gran Bretaña



Figura 3.5. Cibodas, un jardín satélite de Bogor, en las faldas del volcán Gede, Java, 1985.

y en 1915 la zona sembrada había crecido hasta cubrir casi 102 millones de hectáreas (Weinstein 1983:219). En 1902, las plantaciones en Malasia eran virtualmente auto-suficientes en material de siembra, así que los *Singapore Botanic Gardens* proporcionaban semillas a otras regiones (Ridley 1903:5). En 1910, por ejemplo, las semillas de caucho producidas por los jardines tenían fuerte demanda en las colonias africanas, especialmente Uganda, Nigeria y Liberia (Ridley 1911:5). Las semillas de caucho se enviaron hasta Honduras y Guyana británica, cerca del hogar nativo de este árbol de corteza gris veteada, y en 1906, 900 semillas de caucho fueron enviadas a México y 500 a las Filipinas (Ridley 1907:6).

Kew desempeñó una función clave en la propagación de las plantaciones de caucho en las zonas tórridas, pero los jardines botánicos en los territorios patrios de otros poderes coloniales también han servido frecuentemente como piedras angulares para la dispersión de cultivos tropicales. Una planta de café de Java, por ejemplo, fue llevada al *Amsterdam Botanic Garden* en 1706; luego el material se envió a Suriname (entonces Guyana holandesa) en 1718 (Purseglove, 1974:460). En 1713, el burgomaestre de Amsterdam envió a Luis XIV una progenie de la planta

de café de Java que fue posteriormente cuidada en el *Jardin des Plantes*. La progenie de esta introducción en París se envió a Martinica en 1720, pero sólo una plántula sobrevivió el viaje a esta isla del Caribe. Sin embargo, sirvió para dar comienzo a la industria del café en Martinica y para proporcionar material para Jamaica, lo que condujo al desarrollo de la variedad de alta calidad, Blue Mountain, considerada por algunos aficionados como el mejor café del mundo. El *Edinburg Botanic Garden* también obtuvo progenies del árbol de café de Java del *Amsterdam Garden Botanic* y envió material a Malau (entonces Niaselandia) en 1878.

La vainilla y la quina también ilustran la función de estación temporal que desempeñaron los jardines botánicos en los territorios patrios coloniales. El *Leyden Botanic Garden*, por ejemplo, proporcionó una etapa de transición para la transferencia de especímenes de vainilla de América del Sur a Java (Hyams y MacQuitty 1969:43). La primera quinta (*Cinchona calisaya*) traída a Java fue inicialmente cultivada en una caseta térmica en el *Leyden Botanical Garden*. En 1851, en el *Bogor Botanic Garden* se recibió una sola plántula de *Cinchona calisaya* en condiciones deplorables. Antes de que la plántula sucumbiera, el Dr. Teijsmann tomó un corte que posteriormente enraizó en el jardín de fresas del gobernador general, en las laderas del volcán Gedeh (Van Gorkom 1945), el cual se convirtió en el jardín botánico de Cibodas, un jardín satélite de Bogor, en 1874 (Figura 3.5). Por su localidad tropical montañosa, Cibodas fue ideal para propagar la quina, una especie nativa de los bosques andinos. En 1854, otras 500 plantas de quina se despacharon a Bogor desde Leyden, pero sólo 75 estaban todavía vivas cuando llegaron al jardín (Van Leersum 1945). Las sobrevivientes se enviaron a multiplicarse a Cibodas, y este jardín en consecuencia proporcionó los materiales de siembra iniciales para las plantaciones de quina en Java, aunque pronto esta función de reproducción de plantas pasó a cargo de las mismas plantaciones. Java abasteció finalmente un 80 por ciento del mercado mundial de corteza de quina (Brockway 1979:120), y en 1985 todavía crecían en el jardín oscuro y húmedo varios especímenes de quina madura.

Los jardines botánicos de los Estados Unidos de América son en general más jóvenes que los del Viejo Mundo, del Caribe y de América Latina. Unos pocos jardines botánicos particulares, que se ocuparon principalmente de plantas medicinales, se establecieron en Pennsylvania a principios de 1700 (Earnest 1940:17); pero los grandes jardines botánicos, con personal de investigación, no fueron establecidos en los Estados Unidos sino hasta la última mitad del siglo XIX. Por ejemplo, el *Missouri Botanic Garden*, en San Luis, en *Arnold Arboretum*, en Boston, y los *Botanic Gardens*, de Nueva York, fueron fundados en 1859, 1872, y 1894, respectivamente (Fairchild 1938:36). Tradicionalmente, estos jardines se han concentrado en especies silvestres y ornamentales en lugar de plantas cultivadas. No fue sino hasta 1898 que el Departamento de Agricultura de Estados Unidos sancionó un sistema de introducción para plantas de interés económico y para plantas ornamentales (Cunningham 1984:268). Conocido como *Office of Foreign Seed and Plant Introductions* (Oficina de Introducciones de Semillas y Plantas Extranjeras), con

sede en Washington, D.C., este servicio usó los invernaderos situados en terrenos del Capitolio así como los jardines o estaciones de introducción de plantas de todo el territorio de los Estados Unidos. En 1910, cinco estaciones de introducción de plantas estaban operando, incluyendo una en Chico, California, otra en Miami que se especializó en plantas tropicales y una tercera en Brooksville, Florida, que se usó para probar y mantener bambú y taro (*Colocasia esculenta*). Dos eventos importantes condujeron al establecimiento de la Oficina de Introducción de Semillas y Plantas Extranjeras. La derrota política de los ganaderos en las planicies del noroeste a finales de 1800 abrió la región a la agricultura y creó la necesidad de sembrar plantas tolerantes al frío (Fairchild 1938:114). Y en el sudoeste, los agricultores acudían numerosos al Departamento de Agricultura con urgentes solicitudes para obtener plantas tolerantes a la sequía. Aunque la Oficina de Introducción de Semillas y Plantas Extranjeras fue instalada para atender las necesidades de los agricultores americanos, cooperaba también con otros gobiernos e instituciones; en efecto, esta oficina promovió el libre intercambio de germoplasma entre las estaciones de introducción de plantas de Estados Unidos y los jardines botánicos y viveros extranjeros.

Las empresas privadas también han instalado jardines botánicos y han desempeñado funciones clave en la recolección e introducción de plantas útiles. Los viveros comerciales en Inglaterra ya vendían plántulas de árboles, césped, y plantas de flores en el siglo XIV (Harvery 1981:17). Por ejemplo, en 1787, la *British East India Company* fundó el jardín botánico de Calcuta para la aclimatación de cultivos tropicales (Hyams y MacQuitty 1969:220). Los *West India Gardens*, propiedad de Sir F. O. Popenoe en Altadena, California, financiaba viajes de recolección a América Central al finalizar el siglo; este vivero participó activamente en la introducción del aguacate (*Persea americana*), un fruto neotropical, a las mesas californianas con la distribución de la variedad Fuerte, tolerante al frío, en 1911 (Schoerer 1967). En 1926 otra empresa americana, la *United Fruit*, estableció un jardín de introducción de plantas y una estación experimental en Lancetilla, cerca de Tela, en la costa norte de Honduras. Wilson Popenoe, hijo del dueño del *West India Gardens*, fue escogido para administrar la estación, que se encargó de examinar las especies elegidas para reemplazar las plantaciones de banano azotadas por el marchitamiento de Panamá. La estación de Lancetilla probó los clones de banano buscando resistencia a la enfermedad de Panamá y buscó otros cultivos que pudieran ser lucrativos en las zonas tórridas americanas.

Lancetilla, administrada por diversas agencias del gobierno hondureño desde 1974, ha hecho varias contribuciones sobresalientes a la agricultura en zonas tórridas americanas. En 1925, se hallaron plantas de banano resistentes a la enfermedad del marchitamiento de Panamá, en el Jardín Botánico de Saigón, y los retoños se enviaron primeramente a una estación cuarentenaria en una isla del noroeste de Panamá y luego en 1928 a Lancetilla, para someterlos a pruebas adicionales (Dunlap 1967). Estos clones se usaron para desarrollar Valery, una variedad que ayudó a restablecer la industria del banano en América Central. En 1926, Lancetilla obtuvo semillas de palma de aceite africana de la *United States Rubber Company* en Sumatra, y de otras fuentes en Java y Malasia (Permar

1945: 15). La estación posteriormente liberó cultivares comerciales de la palma en América Central, a principios de la década de los 40. Lancetilla introdujo algunas variedades de cítricos de alto rendimiento a América Central y posee la colección más grande de árboles frutales asiáticos del Nuevo Mundo.

Los jardines botánicos desempeñaron durante muchos años una función crucial en la introducción de cultivos a nuevas regiones y en la conservación de germoplasma vegetal, pero estas importantes funciones han disminuido recientemente. Lancetilla, por ejemplo, como muchos jardines botánicos y estaciones de introducción de plantas, se acercan a su fin. En 1965, había 1300 especies en la estación de 435 hectáreas, pero unas 300 especies se perdieron entre 1965 y 1978 por la inadecuada atención. Muchos jardines botánicos tropicales están mal cuidados y son poco más que parques públicos (Ashton 1981; J. Sauer, pers. com.). Otros jardines botánicos han sucumbido al desarrollo urbano o han cerrado debido a falta de apoyo del gobierno. Los gobiernos de países en desarrollo a menudo consideran que los jardines botánicos ya no son vitales para la agricultura y para la introducción de plantas y, en consecuencia, han reducido gravemente sus presupuestos operativos.

Las actividades involucradas en la adquisición de germoplasma de cultivos y en la selección de variedades para distribución a los agricultores, actualmente y en su mayor parte, han pasado a manos de organizaciones agrícolas operadas por los gobiernos, las agencias internacionales y las empresas privadas. El Jardín Peradeniya en Sri Lanka, por ejemplo, detuvo sus investigaciones sobre plantas alimenticias e industriales en 1912 cuando el ministerio de agricultura asumió dicha tarea (Rajapakse 1984). Pamplemousses fue absorbido por el departamento de agricultura de la isla Mauricio, en 1913 (Purseglove 1959). Los *Singapore Botanic Gardens* dejaron de trabajar con plantas de interés económico en 1925, al mismo tiempo que cedía casi la mitad de su tierra a *Raffles College* (Purseglove 1959). El personal del jardín dedica actualmente la mayor parte de su investigación al cultivo de tejidos de orquídeas.

La mayoría de los jardines botánicos restantes en el Tercer Mundo sirve como sitios populares de recreación para el público. Los jardines Bogor y Cibodas, por ejemplo, son apreciados enormemente por el público; aproximadamente medio millón de indonesios y turistas extranjeros visitaron el jardín Bogor en 1979 (Sastrapradja y Prana 1980) y el número de visitantes aumenta cada año. Los bien mantenidos *Singapore Botanic Gardens* (Figura 3.6) son también populares entre el público en general, especialmente para meriendas campestres, trote y prácticas matutinas de tai chi.

Cazadores de plantas

Ninguna discusión acerca del movimiento de especies cultivadas y de la conservación de germoplasma estaría completa sin examinar el trabajo de aquellos individuos que arriesgaron su salud y su vida en búsqueda de nuevas especies. Los



Figura 3.6. Un bien mantenido conjunto de palmas en Singapore Botanic Gardens, 1985.

cazadores de plantas han desempeñado funciones cruciales en la historia de la recolección de germoplasma vegetal y de su preservación. Los equipos de colectores de plantas, durante siglos, han incluido botánicos profesionalmente adiestrados, geneticistas, médicos, jardineros, exploradores, misioneros y funcionarios consulares. A menudo se pasa por alto o se olvida la importancia de estos colectores, sin embargo, algunas especies y muchas variedades estarían ahora extintas sin sus esfuerzos (Kingdon Ward 1924:19). Pocos colectores dejaron relatos impresos de sus viajes y muchos eran sólo naturalistas aficionados, con poca oportunidad de publicar en revistas científicas. Además, el seguimiento del destino de las introducciones de plantas individuales es esporádico, lo que hace que los logros de los exploradores de plantas se pierda en la oscuridad.

Durante más de cuatro mil años se han organizado expediciones de recolección de plantas. Alrededor de 2500 a. C., por ejemplo, los sumerios despachaban colectores de plantas al corazón de Asia Menor en búsqueda de vides, higos y rosas (Woolley 1930:79; Klose 1950:3). Mil años después, al retornar de una expedición en la cual se habían recogido árboles de incienso en Africa Oriental, Hatshepsut, la Reina de Egipto hizo pintar este acontecimiento en las paredes de un templo en Tebas (Ryerson 1933). Otras civilizaciones antiguas seguramente organizaron expediciones similares pero de ellas se dejó poca información detallada acerca del tamaño de los equipos de recolección, los sitios visitados y las plantas recogidas.

No fue sino hasta la edad del descubrimiento en el siglo XVI, que los cazadores de plantas comenzaron una tendencia que revolucionaría al mundo. Al finalizar 1500, las expediciones de recolección de plantas se enviaban a más lugares y abarcaban más territorios que nunca antes. Entre 1570 y 1577, por ejemplo, Francisco Hernández, un médico español, envió semillas y plantas vivas desde México a los Jardines Botánicos Reales de Aranjuez cerca de Madrid (Steele 1964:6). John Tradescant, quien murió en 1638, fue una de las primeras personas que organizaron viajes de recolección de plantas, en forma sistemática. El llegó a ser jardinero de Sir Robert Cecil, quien fuera posteriormente Duque de Buckingham, hasta que fue nombrado curador del jardín del rey Carlos I. Tradescant recogió plantas en Francia, Holanda, Rusia y Argelia. Llevó el alerce de Rusia a Inglaterra, y la lila, el azafrán y el jazmín del Mediterráneo a Gran Bretaña. Su hijo pronto siguió sus pasos, viajando a Virginia y a las Indias Occidentales.

Otro de los primeros recolectores de plantas, que hizo viajes exhaustivos al extranjero, fue Sir Joseph Banks. En nombre de la Armada y de la Sociedad Real, Joseph Banks se unió al Capitán James Coope en un viaje a Tahití para seguir el tránsito de Venus. Además de Tahití, Banks y Cook visitaron Australia (donde Banks dio su nombre a Botany Bay), Nueva Zelanda, Nueva Guinea y las Indias Orientales, regresando a su país a través del Cabo de Buena Esperanza. Banks llegó a ser el director no oficial de los Jardines Botánicos Reales de Kew, que se convirtieron en una importante instalación para el traslado de plantas alrededor del mundo. Los botánicos británicos, muchos de los cuales se hicieron famosos por su coraje y sus logros, fueron despachados a todo el mundo. Richard Spruce, George Forest y Frank Kingdon Ward surgieron como gigantes del mundo de recolección de plantas en los siglos XIX y XX.

En Estados Unidos no se emprendió la introducción de plantas patrocinada por el gobierno sino hasta después de la Guerra de 1812, si bien Benjamin Franklin envió semillas y plantas a los Estados Unidos durante sus visitas a Europa en la última mitad del siglo XVIII (Hyland 1977 1984). Pero no fue sino hasta 1854 que el primer explorador de plantas empleado por el gobierno de EE.UU., D. J. Brown, fue enviado fuera del país, en este caso a Europa para obtener semillas (USDA 1971:10). En 1858, el Comisionado de Patentes contrató a Robert Fortune para ir a China y recoger semillas de té con el objetivo de eventualmente establecer plantaciones de té en el sur de los Estados Unidos (Hyland 1977). Después del establecimiento del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, en 1862, la exploración de plantas recibió un nuevo impulso. En 1864, por ejemplo, un explorador americano, fue enviado a China para estudiar y recoger variedades de sorgo y, hasta el año 1898, las misiones de recolección patrocinadas por el gobierno de Estados Unidos en todo el mundo trajeron numerosas accesiones de naranja ombligona, lino, aceituna (*Olea europaea*), caqui (*Diospyros kaki*), cereales como el trigo y el sorgo y árboles frutales.

Uno de los exploradores de plantas más sobresalientes del mundo fue llamado al servicio del gobierno de EE.UU. a principios del siglo XX. Frank Meyer, un

personaje inquieto, con una insaciable sed de conocimientos acerca de las plantas, comenzó a trabajar como jardinero en Amsterdam donde nació en 1875. Gracias al trabajo meticuloso de Isabel Shipley Cunningham (1984), la contribución de Meyer a la agricultura y a la jardinería ha sido cuidadosamente documentada. Una incesante curiosidad por las maravillas de la naturaleza llevó a Meyer a emigrar a los Estados Unidos en 1901, donde fue finalmente contratado como explorador agrícola por David Fairchild, primer director de la Oficina de Introducciones de Semillas y Plantas Extranjeras. Fue enviado a China tres veces, así como a Europa, Rusia y Tibet. A diferencia de algunos de sus contemporáneos británicos, como E. H. Wilson, Meyer buscó cultivos toscos y sus parientes silvestres, así como especies ornamentales. Meyer estaba especialmente interesado en los cultivos tolerantes al frío, la sequía y los suelos alcalinos.

Durante su carrera de trece años con la Oficina de Introducciones de Semillas y Plantas Extranjeras, se le acreditaron 2500 introducciones de plantas a los Estados Unidos. La contribución del intrépido explorador sin duda alguna hubiera sido aún mayor si no hubiese encontrado una muerte repentina mientras trabajaba en China en 1918. La progenie de sus introducciones siguen creciendo no sólo en jardines botánicos y arboretos, sino también en jardines privados y los campos de los agricultores. En Manchuria, por ejemplo, Meyer recogió semillas de una espinaca de hoja grande (*Spinacia oleracea*) que permitió el desarrollo de una variedad llamada Virginia Savoy resistente al añublo y al marchitamiento, enfermedades que amenazaba la industria enlatadora de espinacas en los Estados Unidos. De la China del Norte, el intrépido cazador de plantas obtuvo semillas de un durazno silvestre (*Prunus davidiana*), que era resistente a los nematodos del nudo radical y que ha sido ampliamente utilizado como patrón para injertos de albaricoques, ciruelas y duraznos (Cunningham 1984:50, 263).

Otras introducciones de Meyer fueron utilizadas como rompevientos y como cobertura del suelo. Entre 1935 y 1942, por ejemplo, alrededor de 17.000 millas de olmos siberianos y chinos (*Ulmus pumila* y *U. parvifolia*), especies recogidas por Meyer en sus viajes, fueron sembradas en los Great Plains para controlar la erosión causada por el viento. En 1911, Meyer recogió semillas de *Coronilla varia* cerca de Saratov, en la Unión Soviética, las que posteriormente fueron usadas por el servicio de conservación de suelos y por la estación experimental de agricultura para desarrollar *Coronilla varia* de color esmeralda. Esta leguminosa tolerante a la sequía y al frío se ha sembrado ampliamente a lo largo de los taludes de las carreteras interestatales en el norte de los Estados Unidos para controlar la erosión del suelo (Cunningham 1984:261, 142). Una de las mejores gramíneas de cespitosas de Florida, el ciempiés (*Eremochloa ophiuroides*), fue recogida por Meyer durante su último viaje a China (Fairchild 1938:456).

Otros dos exploradores agrícolas empleados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, David Fairchild y Wilson Popenoe (Figura 3.7), también se encargaron de recoger plantas de interés económico al finalizar el siglo diecinueve y a principios de éste. David Fairchild, jefe de Meyer, viajó por el mundo recogiendo

plantas, a pie y a caballo. Fairchild, en cuyo honor se nombraron los jardines Fairchild Gardens en Miami, envió cultivares deseables de mango de Asia a Florida y una variedad de alfalfa del Perú, la que fue adoptada por los agricultores del sur de California (Fairchild 1938:128). Entre 1916 y 1917, Popenoe envió 24 variedades de aguacate guatemalteco a los Estados Unidos, muchos de los cuales resultaron útiles en California y Florida⁵, dónde se establecieron numerosas plantaciones (Fairchild 1938:453). La libre, amplia y continua distribución de mango y germoplasma de aguacate por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos es un legado duradero a los esfuerzos de Fairchild y Popenoe. Una credencial expedida a Wilson Popenoe en 1916 por Carl Vrooman, Secretario Interino de Agricultura, ilustra perfectamente el espíritu con que se hicieron las expediciones:

“Sébase que el Sr. Wilson Popenoe, Explorador Agrícola de la Oficina de Introducciones de Semillas y Plantas Extranjeras, Oficina de Industrias Vegetales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, ciudadano del Estado de California y de los Estados Unidos de América, ha sido autorizado por mí para hacer un estudio de las plantas silvestres y cultivadas de las Repúblicas de Guatemala, Honduras, Nicaragua, El Salvador y Costa Rica, para determinar de que manera se pudiera efectuar un intercambio mutuamente beneficioso de semillas y plantas entre aquellas Repúblicas y este país” (Sola 1967).

Otro recolector de plantas sobresaliente y valeroso, Nikolai I. Vavilov (Figura 3.8), tuvo quizás la más amplia experiencia de cualquier otro recolector hasta ese tiempo. Vavilov realizó extensos viajes recolectando plantas en la URSS y en más de cincuenta países de Asia, de las Américas, del norte de Africa, de Europa y del Mediterráneo durante las décadas de los 20 y 30 (Popovsky 1984:2). Fue un genetista de profesión y son bien conocidas sus ideas sobre centros de diversidad vegetal y domesticación de plantas. Organizó expediciones e intercambios con otras instituciones, que conjuntamente lograron reunir más de 50.000 muestras de semillas de trigo, centeno, avena, arvejas, lentejas, frijol, garbanzos y maíz (Vavilov 1957:2). Esta gran colección de plantas cultivadas y formas relacionadas venidas de regiones lejanas fue la base que permitió el establecimiento de los modernos bancos de genes en la Unión Soviética.

La preocupación de Vavilov por preservar los parientes silvestres de las plantas de interés económico fue de gran visión, ya que las especies silvestres están generalmente mal representadas en los modernos bancos genéticos, a pesar de su comprobada utilidad en el fitomejoramiento. Este científico insistió sobre la necesidad de tomar muestras de todas las formas de una especie para recoger la mayor diversidad genética posible. Vavilov hizo resaltar el potencial económico de las colecciones de germoplasma, especialmente con respecto a la adaptación y a la resistencia a las enfermedades (Hawkes 1978). Como naturalista de campo, reconoció también la importancia de los estudios taxonómicos. Durante sus viajes a América Central y del Sur en 1925 y 1932, el científico ruso obtuvo numerosas muestras de maíz y de papa tanto en sus formas cultivadas como silvestres. Recogió personalmente más de 60.000 muestras vegetales, incluyendo 2800 especímenes de maíz (Wilkes 1972; Popovsky 1984:161).



Figura 3.7. Wilson Popenoe en Guatemala, c. 1920. (Cortesía de Hunt Institute for Botanical Documentation, Carnegie-Mellon University, Petesburgo).

Si aún persiste la duda sobre la manera (suicidio o víctima de una mala jugada) en que concluyó la inquieta vida de Frank Meyer en 1918 (su cuerpo fue hallado flotando en el Río Amarillo en China), se sabe que la política fue la que puso fin a la productiva carrera de Vavilov. Primer director del Instituto de Botánica Aplicada y de Nuevos Cultivos en Leningrado, sus frecuentes viajes al exterior suscitaron sospechas. El gobierno soviético procedió a suprimir las expediciones científicas de recolección de plantas a tierras extranjeras y, a consecuencia de esa interdicción, Vavilov no volvió a salir de la Unión Soviética, después de la primavera de 1933. Sus relaciones con los oficiales gubernamentales continuaron deteriorándose hasta el punto que su trabajo se vio severamente obstaculizado. En 1940, se le arrestó y se le acusó de espionaje y de tratar de socabar la agricultura socialista. Murió en la prisión de Saratov en enero de 1943, en condiciones deplorables (Popovsky 1984:191; Kahn 1985:108).

Vavilov había perdido la estimación de los funcionarios soviéticos, pero muchos científicos rusos protegieron sus colecciones de germoplasma; a tal punto que



Figura 3.8 Nikolai Vavilov (derecha) con Roger P.V. de Vilmorin, c. 1925. (Cortesía de Hunt Institute for Botanical Documentation, Carnegie-Mellon University, Petesburgo).

durante la Segunda Guerra Mundial, el científico a cargo de las accesiones del banco genético de Leningrado prefirió morir de inanición antes que tocar una sola de las muestras de Vavilov (Evans 1975). Posteriormente, Vavilov fue revindicado y el gobierno soviético le concedió honores póstumos, dando su nombre a una institución científica, la *Nicolai I Vavilov All-Union Institute of Plant Industry* en Leningrado. Conocido mundialmente por la abreviatura VIR, el instituto sigue siendo, gracias al trabajo de Vavilov, uno de los principales vínculos en la red internacional de investigación sobre germoplasma de especies cultivadas.

Los misioneros han ayudado durante mucho tiempo a los recolectores y ellos también han adquirido germoplasma de plantas. Los exploradores de plantas en países extranjeros acostumbraban consultar el clero para obtener información sobre los sitios de recolección más fructíferos. Los misioneros también a veces recogían o remitían materiales promisorios a sus países de origen. A comienzo del siglo XVIII, por ejemplo, los Jesuitas en China comenzaron a enviar semillas y especímenes botánicos vivos a Europa. El material enviado por los padres católicos era por lo

general llevado por los comerciantes que viajaban en caravanas a través de Rusia (Bretschneider 1935:45). El sacerdote Jean Pierre Armand David, miembro de la Orden de San Vicente de Paul, fue a Peking en 1863 a enseñar ciencia en una escuela de niños. Avido naturalista, el Padre David pronto inició viajes al campo para recoger especímenes de plantas y para observar la naturaleza. Además de semillas para la siembra, el Padre David envió especímenes botánicos de aproximadamente 2000 especies a Francia. Al escribir en 1866 la introducción de una revista, conciliaba sus responsabilidades sacerdotales y su pasión por la historia natural así: "Todas las especies relacionadas con los trabajos de la creación aumentan la gloria de su Creador, por que conocer la verdad es conocer a Dios" (Healey 1975:105).

En Chile, los sacerdotes católicos obtuvieron semillas de alfalfa, las cuales enviaron a California donde fueron ampliamente sembradas a finales de 1800 (Fairchild 1938:128). Un misionero fue responsable de la introducción de la naranja Rey de Siam en Florida (Fairchild 1938:89). El reverendo F. Schneider, un misionero presbiteriano en Bahía, Brasil, envió doce árboles de naranja con nuevos brotes de una variedad sin semillas al Comisionado de Agricultura de los Estados Unidos, en 1869. Pronto se enviaron muestras a Riverside, California, donde fueron propagadas a gran escala y se convirtieron en la muy exitosa variedad Washington Navel. En 1921, Washington Navel representaba la mayor parte de las plantaciones de naranjales en California (Klose 1950:78).

Los servicios diplomáticos de países extranjeros que buscaban germoplasma de plantas también han favorecido el trabajo de los recolectores de plantas y ocasionalmente han conseguido algunos materiales prometedores. Mientras Thomas Jefferson era Ministro en Francia entre 1784 y 1789, por ejemplo, envió semillas de gramíneas, cereales, hortalizas y estacas de aceituna y árboles frutales a los correspondientes y organizaciones no gubernamentales en los Estados Unidos (Ryerson 1967). En 1819, el Secretario de Tesorería de los Estados Unidos expidió una circular señalando la importancia de las plantas cultivadas y solicitando a los cónsules y oficiales navales que enviaran a casa plantas útiles. Ocho años después, el Presidente John Quincy Adams hacía imprimir otra circular reiterando la declaración de 1819, pero esta vez dando instrucciones explícitas sobre etiquetado y envasado para el material vegetal. No fue sino hasta 1839, sin embargo, que el gobierno de Estados Unidos proporcionó apoyo financiero directo para la adquisición de germoplasma de plantas extranjeras. El modesto programa para la introducción de plantas se alojaba en la oficina de patentes del Departamento de Estado. Antes de la Guerra Civil, el programa de introducción de plantas de los Estados Unidos se centraba en té, cereales, hortalizas, quina, palma datilera (*Phoenix dactylifera*), aceituna, roble de corcho, alcanfor, algodón (*Gossypium* spp.) y alfalfa (Ryerson 1967). Paradójicamente, los Estados Unidos tienen la colección de palmas datileras más completa del mundo, y el germoplasma de la palma se sigue proporcionando en forma rutinaria a países que ya debían haber establecido sus propias colecciones.

Los servicios diplomáticos de otros países también se han involucrado directamente en la introducción de plantas. El Dr. Augustine Henry, un funcionario

consular irlandés en China, envió muestras vegetales a su patria a finales del siglo XIX y Frank Meyer envió varios especímenes a los Estados Unidos vía valija diplomática (Cunningham 1984:44).

Las condiciones bajo las cuales los cazadores de plantas operan son a menudo difíciles. Las dificultades eran especialmente graves antes de la era de los viajes aéreos y de la refrigeración. Los recolectores de plantas frecuentemente trabajaban bajo condiciones climáticas muy duras pasando largo tiempo a la intemperie; Meyer, por ejemplo, caminaba todo el día bajo la lluvia con el termómetro cerca del punto de congelación. Frecuentemente se hallaba en camino antes del alba y no le importaba dormir a la intemperie a temperaturas bajo cero. En una época anterior a las vacunas, los exploradores agrícolas tenían que trabajar en zonas donde había poca higiene y donde las epidemias de enfermedades potencialmente fatales como el cólera eran comunes; ocasionalmente eran también amenazados por ladrones o por soldados. Las comunicaciones eran lentas y muchos materiales perecieron en largos viajes de regreso al territorio patrio. Algunos recolectores de la talla de Meyer y Kingdon Ward fueron capaces de enfrentar numerosas dificultades durante sus expediciones porque estaban motivados por una curiosidad insaciable acerca de las plantas y las tierras extranjeras y porque anhelaban ver los frutos de su labor sembrados a lo largo de los caminos y en los huertos frutales, los jardines de las casas y los campos de los agricultores.

Aunque los modernos recolectores de plantas siguen confrontando algunas dificultades, por lo general las condiciones de trabajo son más fáciles. Las comunicaciones son generalmente más rápidas y los recolectores a menudo trabajan en equipos y no como individuos. Los grupos están compuestos típicamente de varias nacionalidades y el país en el cual se hacen las recolecciones está casi siempre representado para que las expediciones sean de beneficio mutuo. Cuando los países huéspedes participan en viajes de recolección de plantas aprenden más acerca de sus recursos en germoplasma y pueden agilizar los trámites para obtener licencias de exportación. Además, actualmente más materiales sobreviven los riesgos de transporte, gracias al automóvil, la refrigeración, las bolsas plásticas y los aviones a propulsión.

Bancos genéticos modernos

La necesidad de conservar los bosques y los recursos animales fue objeto de decretos y enseñanzas en ciertas regiones de China e India, en épocas muy tempranas, a partir del año 700 a.C., pero la conservación genética, tal como actualmente se practica, es una ciencia relativamente joven. La moderna conservación genética deriva sus raíces de los estudios pioneros de Alphonse de Candolle (1855 1902) y de Vavilov (1940 1957). Con base en estos estudios, se establecieron colecciones de germoplasma para explotación en la Unión Soviética, en los Estados Unidos y en otros pocos países. Estas colecciones eran principalmente para el uso de los fitomejoradores y de científicos de disciplinas asociadas. Muchas colecciones,

como la de Vavilov en Leningrado, han servido como material de investigación para dilucidar procesos evolutivos y relaciones taxonómicas, para identificar centros de diversidad y de origen, para descubrir patrones de distribución de variabilidad significativa o de características específicas, y para relacionar las variaciones de las plantas con los ambientes que ayudaron a configurarlas.

La evolución en el manejo y el mantenimiento de germoplasma de los cultivos ha sido gradual durante la mayor parte de la historia de la agricultura. Pero recientemente la actividad de los bancos de genes ha cambiado notoriamente. Si se considerara que la agricultura, desde sus albores hasta ahora, hubiera existido sólo durante una hora, la conservación de germoplasma vegetal en jardines botánicos e invernaderos sólo ocuparía el último minuto de esta hora y los bancos genéticos con capacidad de congelación profunda no aparecerían en escena sino hasta los últimos segundos. Además, la conservación del germoplasma vegetal, que antes era un esfuerzo de países individuales, ha pasado a manos de una amalgama internacional de científicos, gobiernos, empresas comerciales y fundaciones privadas.

Enfrentados con la pérdida concreta o inminente de los materiales vegetales en el campo, los científicos espolearon el desarrollo de modernos bancos genéticos porque necesitaban una fuente constante, confiable y disponible de germoplasma. Era demasiado costoso organizar viajes de recolección cada vez que se deseaban genes frescos para enriquecer los acervos disponibles para el mejoramiento. Los mejoradores se dieron cuenta de que las colecciones de trabajo ya no eran suficientes, porque no se podía contar con el reemplazo del germoplasma en caso de que se perdiera el material (Mengesha 1984). Con demasiada frecuencia, fracasaban expediciones de recolección de plantas cuando al retornar a los sitios en busca de material adicional, hallaban en su lugar, un poblado, una carretera o una reserva.

La tecnología necesaria para la preservación a largo plazo de las semillas existía mucho tiempo antes de la aparición de los modernos bancos genéticos. Las máquinas para hacer hielo y para congelar carne ya estaban en uso a mediados de 1800; esta tecnología impulsó la industria de carne de res en Argentina y permitió el envío de canales de res congelados a Europa. En la década de los 20, se desarrollaron equipos de refrigeración a base de freón, proporcionando una forma más eficiente y menos peligrosa de almacenar productos; los sistemas anteriores dependían principalmente del amoníaco, que podía ocasionar fugas de gases tóxicos. Los fitomejoradores y el comercio de semilla incentivaron el almacenamiento de germoplasma vegetal a largo plazo; afortunadamente, la tecnología ya estaba disponible cuando surgió la necesidad.

Actualmente existen tres tipos principales de bancos de germoplasma en institutos de investigación agrícola. Las colecciones de trabajo, cultivadas anualmente por los mejoradores, se mantienen a temperatura ambiente o en habitaciones provistas de acondicionadores de aire. En almacenamiento a mediano plazo, las semillas se secan y se mantienen a 0-5 C; en tales condiciones la mayoría de las accesiones puede permanecer viable durante aproximadamente diez a treinta años.

En almacenamiento a largo plazo, las muestras se secan y se sellan en contenedores herméticos a -20 C. Las colecciones en almacenamiento a largo plazo rara vez se perturban y estas podrían durar varias décadas y, en algunos casos, más de cien años. Periódicamente se hacen pruebas para garantizar que las muestras sean todavía capaces de germinar. Algunos institutos agrícolas mantienen su germoplasma con los tres métodos de almacenamiento, pero son más comunes las colecciones a corto y a mediano plazos.

El germoplasma de plantas de tubérculos se almacena en parcelas de campo o en cultivo de tejidos. En el caso de la papa, los clones deben sembrarse en el campo cada año si no se mantienen *in vitro* (Smith 1983a). Es un procedimiento fastidioso y costoso que aumenta las posibilidades de etiquetar erróneamente las muestras cada vez que se regenera el material. Con la tecnología actual, las plántulas se pueden mantener en tubos de prueba hasta por dos años sin necesidad de renovarlas. El almacenamiento a largo plazo de plantitas *in vitro* en nitrógeno líquido (criopreservación) está en la etapa experimental y dentro de una década será probablemente aplicable a algunas especies. La Unión Soviética logró un temprano liderazgo en el almacenamiento de recursos genéticos vegetales, aunque no en condiciones ideales para la época, gracias a la previsión de Nikolai Vavilov, quien instaló el *All-Union Institute of Plant Industry* en Leningrado en la década de los 20. Las accesiones del instituto se mantenían a temperatura ambiental en cajas metálicas y tenían que cultivarse en el campo cada año (M. Popovsky, com. pers.). Muchas de las colecciones de Vavilov todavía se mantienen en este instituto, el cual adquirió la capacidad para el almacenamiento de semillas a largo plazo en la década de los 70.

Desde el siglo pasado se ha venido recogiendo y evaluando germoplasma vegetal en los Estados Unidos, pero no fue sino hasta la década de los 40 que se establecieron centros para almacenar germoplasma vegetal en condiciones de medio y largo plazo. Se crearon cuatro estaciones regionales de introducción de plantas en la década de los 40 para mantener el germoplasma como colecciones vivientes y en almacenamiento en frío; estos centros, que tenían mandatos para introducir, multiplicar, evaluar, distribuir y preservar germoplasma vegetal, estaban ubicados en Ames, Iowa (1947), Ginebra, Nueva York (1948), Experimento, Georgia (1949) y Pullman, Washington (1949). Un factor importante en la decisión de incluir instalaciones de almacenamiento en frío en las estaciones regionales de introducción fue el hecho de que sólo 5 a 10 por ciento de las 160.000 accesiones registradas desde 1898 podía encontrarse en las colecciones vivientes (Hyland 1977).

Otro importante centro para el almacenamiento de germoplasma vegetal, la *Inter-Regional Plant Introduction Station for Potatoes*, fue establecido en Sturgeon Bay, Wisconsin, en 1949. La primera instalación nacional para la preservación de semillas, *National Seed Storage Laboratory* (NSSL) operada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, se construyó en Fort Collins, Colorado, en 1958 (Simmonds 1979:334). El NSSL almacenaba colecciones de los principales cultivos del mundo, incluyendo trigo, avena, cebada, maíz, sorgo, arroz, soya, lino, tabaco y algodón a 2 °C hasta que, como en el caso del Instituto Vavilov, las

instalaciones fueron ampliadas para incluir el almacenamiento a largo plazo, a principios de la década de los 70. La *American Seed Trade Association*, asociación del gremio de semillistas americanos, apoyó firmemente el mejoramiento de las instalaciones del NSSL para almacenamiento a largo plazo (Q. Jones, com. pers.).

Aparte del banco internacional de germoplasma en Gatersleben en la República Democrática Alemana, los bancos genéticos de Europa, Canadá, Japón y Australia, formados en su mayor parte por introducciones de plantas, son en general más pequeños y menos completos que los de Estados Unidos y la Unión Soviética (Williams 1984a). Los países, comprensiblemente, conceden prioridad al germoplasma que es útil para sus propios agricultores. Por lo mismo, Australia concentra sus esfuerzos en colecciones de plantas silvestres para sus programas de investigación en especies forrajeras.

Aunque los bancos genéticos de los países industrializados han ayudado siempre a los fitomejoradores del Tercer Mundo, en la década de los 60 empezó a surgir la conciencia de que hacía falta más recolección y preservación de los recursos genéticos de las especies tropicales y subtropicales. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) sirvió de punta de lanza para llevar a la atención de la comunidad mundial el problema de la conservación de germoplasma. En 1959, la FAO publicó la revista *Plant Introducción Newsletter* No. 6, que contenía una lista de los bancos de germoplasma que entonces existían en el mundo, así como de sus custodios, lo que facilitaba el intercambio de semillas y la introducción de plantas (Wilkes 1983). En 1961, la FAO organizó la primera reunión técnica internacional sobre exploración e introducción de plantas y se estableció un panel de expertos en el tema cuatro años después. Dos conferencias técnicas internacionales adicionales sobre recursos genéticos, en 1968 y 1973, adelantaron propuestas para la exploración, recolección, conservación, documentación y evaluación de los recursos genéticos de las especies cultivadas y recomendaron establecer una red global de bancos genéticos (Frankel y Bennett 1970; Frankel y Hawkes 1975). Haciéndose eco de esta inquietud, la Conferencia de las Naciones Unidas de 1972 sobre Ambiente Humano adoptó una resolución pidiendo un programa internacional para preservar el germoplasma de las especies tropicales y subtropicales. Sir Otto Frankel, presidente del panel de la FAO, fue un catalizador del primer movimiento internacional para adelantar el trabajo en germoplasma.

En el mismo año, el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI), financiado por cuarenta donantes, incluyendo gobiernos, operaciones crediticias multilaterales, agencias y fundaciones privadas que apoya una red de centros internacionales de investigación agrícola (Figura 2.4), convocó un grupo de trabajo en Beltsville, Maryland. Allí con mucha insistencia exhortó a sus agentes crear una red de nueve centros regionales de recursos genéticos y una serie de instituciones dedicadas a cultivos específicos en los países en desarrollo (Frankel 1975). La Junta Internacional para Recursos Fitogenéticos (IBPGR), establecida en 1974, en la sede de la FAO en Roma, fue uno de los centros internacionales autónomos de investigación agrícola lanzados por el GCAI.

Cuando se creó el IBPGR, ésta adquirió una responsabilidad intimidante: la de desarrollar una red mundial de actividades sobre recursos fitogenéticos, en la cual todos los programas permanentes estarían articulados entre sí (Williams 1984b). Pocos eran los programas que tenían una organización adecuada y las prioridades se habían definido únicamente en términos generales. La IBPGR rápidamente asumió una función central al estimular el desarrollo de instalaciones para el almacenamiento de germoplasma vegetal en el Tercer Mundo, a pesar de gozar de un personal relativamente escaso y de un presupuesto modesto. En 1985, la IBPGR tenía sólo veinticinco funcionarios profesionales y un presupuesto anual de EUA\$4.6 millones. La IBPGR proporciona dinero para la iniciación de trabajos en germoplasma, principalmente para especies de importancia mundial o regional, pero no posee instalaciones propias (Wilkes 1983). La Junta ha establecido comités consultivos de articulación para los cultivos que son atendidos por centros hermanos dentro del GCIAI y cuenta con la colaboración y los conocimientos de docenas de destacados científicos en el mundo. La IBPGR define prioridades para los viajes de recolección y controla el progreso logrado en la conservación de los recursos genéticos de las plantas alimentarias (IBPGR 1980, 1984a). Una de las tareas más importantes de la IBPGR es la financiación de la exploración de plantas y durante su primera década de existencia la Junta participó en 300 misiones de recolección en 88 países. Estas colecciones abarcaron 138 especies que fueron puestas en los bancos genéticos de 450 organizaciones en 91 países (CTC 1985:31). La Junta ha proporcionado equipos a los bancos genéticos de más de veinte países y apoya los trabajos para desarrollar colecciones de germoplasma de especies propagadas vegetativamente. Cerca de la mitad de los bancos genéticos que recibieron apoyo destinaron esos recursos a la conservación a largo plazo, y éstos han sido incorporados en una red de colecciones de base⁶.

La información acerca de los bancos de germoplasma es esencial si se desea que los mejoradores conozcan los recursos potencialmente valiosos para sus programas de mejoramiento (S. Smith 1984). La IBPGR por lo tanto apoya los esfuerzos para mejorar la documentación sobre las accesiones de los bancos genéticos. La Junta cumple esta meta en varias formas: definiendo descriptores estandarizados cultivo por cultivo, imprimiendo catálogos de los bancos genéticos y ayudando a los bancos genéticos a sistematizar sus posesiones. La IBPGR también ha publicado trece guías de bancos de germoplasma que contienen información sobre el tamaño y la localización de las colecciones, las condiciones de almacenamiento y el grado de evaluación de los principales especies. También ha contribuido con equipo y programas de sistematización para los bancos genéticos, proporcionando 22 microcomputadores y equipos relacionados con veinte centros.

Otra de las tareas importantes de la IBPGR es el apoyo y la planificación para la capacitación de especialistas en germoplasma, así como las conferencias y los talleres sobre recursos fitogenéticos (Hawkes 1983:137). Para reforzar los esfuerzos de conservación de germoplasma en los países en desarrollo, la Junta ha apoyado la capacitación al nivel de Maestro en Ciencias de muchos científicos del Tercer Mundo y apoya un curso internacional, diseñado específicamente, de

capacitación sobre conservación genética en la Universidad de Birmingham en el Reino Unido. La Universidad capacitó a 182 personas, principalmente de países en desarrollo, en la recolección y manejo de los recursos fitogenéticos, entre 1977 y 1983. Además, más de 600 capacitados han asistido a cursos técnicos cortos en muchas partes del mundo. La Junta ha patrocinado cursos de capacitación sobre documentación de germoplasma para más de cien personas. Recientemente se ha iniciado un esquema de internado a los niveles pre y posdoctorales. Las actividades patrocinadas por la IBPGR abarcan más de 50 plantas cultivadas y cientos de especies silvestres e involucran científicos de cerca de 110 países.

Durante los primeros pocos años de su existencia, la IBPGR no apoyó la investigación, excepto en el desarrollo de métodos de conservación. Ahora, habiendo establecido una red viable de bancos genéticos y científicos colaboradores, la IBPGR contempla la posibilidad de dar mayor énfasis a las áreas de investigación relacionadas con el almacenamiento y la evaluación del germoplasma.

NOTAS

- 1 La versión del Génesis 2 del Rey Jaime, versos 8-10, dice: "Y el Señor sembró un jardín al este del Edén; y ahí puso al hombre que El había formado. Y de la tierra El Señor hizo brotar todo árbol agradable a la vista, y plantas alimenticias; el árbol de la vida también El puso en medio del jardín y el árbol del conocimiento del bien y del mal. Y salía un río del Edén para regar el jardín; y de ahí volvía a salir y se dividía en cuatro."
- 2 Se usaron las siguientes fuentes para establecer las fechas de fundación de los jardines botánicos que se presentan en orden cronológico y se muestran en la Figura 3.1: 1587, Leyden (MacPhail 1972:9); 1626, Jardin des Plantes, París (Bretschneider 1935:123); 1670, Edinburgo (Hepper 1982:32); 1682, Amsterdam (MacPhail 1972:13); 1735, Pamplemousses, Mauricio (Hart 1919); 1759, Kew, Londres (MacPhail 1972:118); 1766, St. Vincent (Howard 1954); 1779, Bath Botanical Garden, Jamaica (Eyre 1966:15); 1787, Calcutta (MacPhail 1972:105); 1787, Manila (MacPhail, 1972:118); 1796, Penang (Purseglove 1959); 1811, Jardim Botánico, Rio (Souza 1945); 1812, Peradeniya, Sri Lanka (Hepper 1982:128); 1817, Bogor, Indonesia (MacPhail 1972:103); 1817, Havana (MacPhail 1972:119); 1819, Trinidad (Hyams and MacQuitty 1969:67); 1859, Singapur (Burkill, 1918); 1879, Georgetown, Guyana (Howard 1954); 1898, Entebbe, Uganda (Hyams and MacQuitty 1969:229); 1926, Lancetilla, Honduras (Permar 1945).
- 3 La extensión norte de los jardines pertenecía originalmente a los jardines pero fueron tomadas para construir Raffles College a principios de este siglo. Después de la independencia, Raffles College pasó a formar parte de la Universidad de Singapur y

Singapore Botanic Gardens recuperó la tierra en 1984 cuando la universidad cambió de sede. La extensión norte de los jardines, a la cual se llega por un pasillo subterráneo que comienza en la sección principal, se destinó a muchas de las introducciones vegetales de interés económico que provenían de Singapur, ahí, por ejemplo, se multiplicaron los árboles de caucho a principios del siglo. Una recién adquirida extensión de 15 hectáreas se dedicará a presentar plantas cultivadas.

- 4 Rodrigo de Souza Coutinho, Ministro de Guerra y del Exterior.
- 5 Plant Immigrants, No. 197, p. 1802, septiembre 1922 (Office of Foreign Seed and Plant Introduction, Washington, D.C.).
- 6 En el Capítulo 6 se presenta información sobre la extensión y las especies involucradas en la red de colecciones básicas del IBPGR.

BANCOS GENETICOS

¿Cómo opera un banco genético? ¿Cuáles son los procedimientos seguidos para la colección y almacenamiento de germoplasma? ¿Y cuáles son los riesgos? En este capítulo se responden a estos interrogantes, subrayando los principios que guían la adquisición de muestras vegetales para la preservación, describiendo el funcionamiento de un banco genético típico y analizando los problemas del almacenamiento de germoplasma. Luego se analiza algunas posibles soluciones para las dificultades halladas en el almacenamiento de germoplasma y se describe los tipos de bancos de germoplasma, incluyendo los que almacenan semillas tradicionales. A continuación, se trata de las funciones complementarias de los bancos genéticos de campo y de los jardines botánicos para el mantenimiento de plantas de interés económico que producen semillas recalcitrantes, las cuales no pueden almacenarse por medios convencionales. Finalmente, tratamos el tema de si el germoplasma de plantas cultivadas debe almacenarse *in situ*, en los mismos campos de los agricultores y las especies silvestres en reservas, o si debe almacenarse *ex situ* en bancos genéticos o en el campo.

Principios y operaciones de los bancos genéticos

Tres principios guían generalmente la recolección, conservación e intercambio de germoplasma. Primero, cuando se reúne una accesión, se deja una muestra en el país de origen para uso nacional. Si no existe ninguna instalación adecuada en ese país, se almacena un duplicado del material en otro sitio, hasta que se pueda devolver con seguridad al país de origen. Segundo, el germoplasma se pone a disposición, en forma gratuita, de todos los investigadores que sepan utilizarlo eficazmente,

incluyendo especialistas de germoplasma, fitomejoradores y otros científicos. Finalmente, todas las colecciones a largo plazo se duplican y se mantienen en otras localidades por razones de seguridad.

Para que sea útil a los fitomejoradores, un banco genético debe poseer información fácilmente recuperable y comprensible sobre las semillas o plantas que tiene almacenadas. El primer paso en el trabajo de conservación de germoplasma, entonces, es hacer una lista de las características de la planta en el campo, describir su ambiente de crecimiento y anotar la localización. Se anotan características tales como el color de la semilla o la forma del fruto, así como la latitud y la longitud del sitio de recolección. Si la lista de características de la planta y del sitio se hace muy larga, sin embargo, el proceso de recolección y registro de datos se vuelve muy lento. Las anotaciones de campo sobre una muestra de germoplasma, que frecuentemente consisten sólo en el nombre local, la fecha y los datos sobre el sitio de recolección, se llaman "datos de pasaporte". Antes del tratamiento para almacenar, la accesión se numera (Chang 1976b:14).

El número de semillas suficiente para preservar la variabilidad del germoplasma es todavía un tema de disputas, pero mientras más grande sea la muestra, mayor es la posibilidad de incluir genes raros y potencialmente útiles. Frankel y Soulé (1981:34) sugieren que cien semillas son suficientes para abarcar 99.5 por ciento de la varianza genética de una población, en tanto que Yngaard (1983) afirma que se necesita un mínimo de 250 semillas para representar una población. Un número mucho mayor es necesario según Hawkes (1982), quien indica que se requieren por lo menos 2500 semillas para capturar la diversidad genética de una población.

Para mayor seguridad, la mayoría de las accesiones contienen varios miles de semillas. El *National Seed Storage Laboratory* (NSSL) en Fort Collins, Colorado, mantiene, cuando es posible, por lo menos 10.000 semillas de cada accesión de especies de semilla pequeña y 5000 semillas de cada accesión de especies de semilla grande (Bass 1984). En el banco genético de Gatersleben en la República Democrática de Alemania, los técnicos tratan de mantener aproximadamente 10.000 semillas por cada accesión, lo que en el caso de un cereal de grano significa un peso de aproximadamente medio kilogramo (Lehman 1979). En el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), las accesiones de maíz en almacenamiento a largo plazo contienen entre 5000 y 17.000 semillas, dependiendo de la variedad. En el banco genético a mediano plazo de CIMMYT, un paquete de un kilogramo de semillas contiene unas 20.000 semillas. Las accesiones en almacenamiento a largo plazo en el *International Rice Research Institute* (IRRI) en Filipinas contienen entre 5000 y 8000 semillas. Las muestras de arroz en almacenamiento a medio plazo en IRRI contienen entre 20.000 y 17.000 semillas, dependiendo del cultivar y de la especie. Las accesiones en almacenamiento a medio plazo en las colecciones de CIMMYT e IRRI son más grandes para facilitar el intercambio, la

evaluación, y la utilización por fitomejoradores. Las accesiones deben ser todavía mayores en el caso de especies silvestres y de variedades tradicionales porque ellas son más heterogéneas que los cultivares modernos. Para el almacenamiento a largo plazo, el *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR) recomienda un mínimo de 3000 semillas para poblaciones vegetales genéticamente uniformes y por lo menos 4000 para los materiales heterogéneos (Hanson *et al.* 1984:3).

El material vegetal destinado al almacenamiento de germoplasma se debe multiplicar si se ha recogido sólo una pequeña muestra. Este proceso es costoso y algunas muestras especialmente pequeñas requieren hasta cinco ciclos de regeneración para producir bastante semilla para el almacenamiento. Las accesiones deben además multiplicarse para poder enviar duplicados a otros bancos genéticos y proporcionar

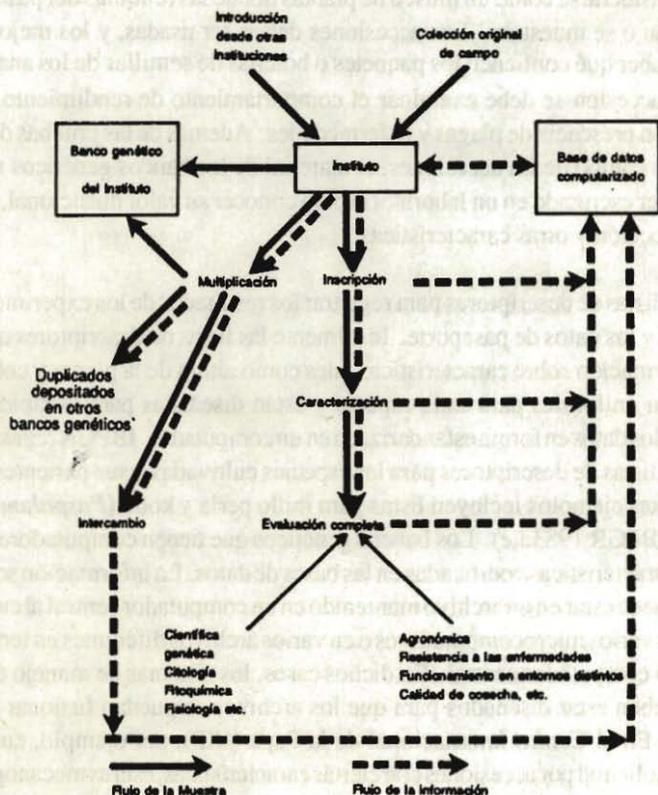


Figura 4.1. Procedimientos seguidos para el procesamiento de una accesión de banco genético.

muestras a los fitomejoradores (Figura 4.1). El material también se multiplica antes del almacenamiento si llega en malas condiciones, ya que las semillas para el almacenamiento deben tener una alta calidad y una máxima viabilidad. Para el control de insectos, en el almacenamiento a corto plazo, se fumiga las accesiones o se les agrega bolas de diazinon o carbofuran (Chang 1983b). Para el almacenamiento a largo plazo, por otra parte, se dejan las semillas sin tratar ya que no es probable que los insectos sobrevivan temperaturas a -20°C .

Una vez que el germoplasma destinado al almacenamiento ha sido catalogado, y multiplicado si fuera necesario, debe ser prontamente caracterizado y evaluado. La evaluación de una accesión por características deseables debe ser efectuada por un equipo de científicos. Este paso es especialmente importante desde el punto de vista de los fitomejoradores (Frankel 1977; W. L. Brown 1982). Un banco genético no debe considerarse como un museo de plantas donde las reliquias del pasado sólo se preservan o se muestran. Las accesiones deben ser usadas, y los mejoradores necesitan saber qué contienen los paquetes o botellas de semillas de los anaqueles. Para cada accesión se debe examinar el comportamiento de rendimiento y otros caracteres en presencia de plagas y enfermedades. Además de las pruebas de invernadero y de campo de las accesiones, el material de los bancos genéticos necesita a menudo ser escrutado en un laboratorio para conocer su valor nutricional, propiedades de cocción y otras características.

Se usan listas de descriptores para registrar los resultados de los experimentos de evaluación y los datos de pasaporte. Idealmente las listas de descriptores que contienen información sobre características tales como altura de la planta y color de la semilla, son uniformes para cada especie y están diseñadas para la rápida introducción de los datos en forma estandarizada en un computador. IBPGR regularmente publica las listas de descriptores para las especies cultivadas y sus parientes silvestres; recientes ejemplos incluyen listas para millo perla y kodo (*Paspalum scrobiculatum*) (IBPGR 1983d,e). Los bancos genéticos que tienen computadores incorporan las características codificadas en las bases de datos. La información sobre una accesión puede estar en un archivo mantenido en un computador central al cual están conectados varios microcomputadores o en varios archivos diferentes en terminales unidos a un computador central. En dichos casos, los sistemas de manejo de bases de datos deben estar diseñados para que los archivos se puedan fusionar si fuera necesario. En el Centro Internacional de la Papa (CIP), por ejemplo, cuando se recibe una solicitud por accesiones con ciertas características, ésta es mecanografiada en un teclado terminal y el computador examina los registros de accesiones con las características deseadas; entonces el listado impreso se desprende y se toma muestras de las accesiones apropiadas. Como otro ejemplo, el computador del banco genético del IRRI puede buscar hasta 38 rasgos morfológicos y agronómicos para cada accesión (Chang 1980).

El germoplasma de cultivos de semilla se almacena en tres principales tipos de colecciones: a corto, a medio y a largo plazo. En las colecciones de trabajo o a corto plazo, las semillas se mantienen a temperatura ambiente, o si el clima es caliente y húmedo, en habitaciones con aire acondicionado. Los materiales de las colecciones de trabajo tienen un interés actual para los mejoradores y se usan por lo menos una vez al año. Las colecciones de trabajo no están comprendidas en el marco de la conservación genética y se mantienen generalmente en habitaciones asignadas a los programas de mejoramiento de plantas, y no en un banco genético central. Las muestras de las colecciones a corto plazo son a veces finalmente incorporadas en bancos generalmente más grandes, a medio y a largo plazo, en la unidad de conservación de recursos genéticos de un instituto apropiado. Muchas de las accesiones del banco genético operado por el *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas* (ICARDA) cerca de Aleppo, Siria, por ejemplo, se originaron de esta manera¹.

El IBPGR ha apoyado las investigaciones para ayudar a predecir el comportamiento de semillas de numerosas especies en condiciones de poca humedad y baja temperatura. La clave real para un exitoso almacenamiento de semillas consiste en secar la semilla y mantenerla con un bajo contenido de humedad; estos procedimientos son frecuentemente más importantes que las condiciones de temperatura. Una vez que el contenido de humedad se ha reducido, se puede esperar que se



Figura 4.2. El Dr. T.T. Chang, director del banco genético del International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas, 1985, con accesiones de arroz empacadas al vacío en latas de aluminio.

duplique la duración de las semillas por cada 5°C de reducción de la temperatura, entre 50 y 0°C (Harrington 1970). En el almacenamiento a mediano plazo, donde se almacena el material de interés potencial para los mejoradores, las semillas se mantienen cerca al punto de congelación en vasos o botellas plásticas. Los mejoradores regularmente aprovechan las accesiones de este tipo de almacenamiento. La mayoría de los bancos genéticos han sido diseñados para almacenamiento a corto y mediano plazo para servir las necesidades inmediatas de los mejoradores, y porque los costos de electricidad son menores que en las colecciones a largo plazo.

Para el almacenamiento a largo plazo, las semillas se secan y sellan en botellas, o se empacan al vacío en latas (Figura 4.2) o en envolturas laminadas con aluminio, y se colocan en anaqueles en una habitación o congelador bien aislado donde la temperatura permanece en el rango de -10 a 120°C; en tales condiciones gélidas las semillas pueden permanecer viables por períodos prolongados, quizás hasta por un siglo. El banco genético nórdico prefiere usar botellas de vidrio por la posibilidad de que el plástico pueda emitir gases mutagénicos; aunque la cantidad de material volátil puede ser pequeña, con el transcurso del tiempo los reactivos podrían dañar el germoplasma almacenado (Yngaard 1983). Otra ventaja del uso de botellas de vidrio es que se puede usar gelatina de sílice, que a veces se empaca con las muestras para mantenerlas secas, permitiendo que se vean; un cambio de color en los paquetes de gelatina de sílice señala que la humedad ha penetrado en la muestra. Sin embargo, las botellas de vidrio se rompen más fácilmente, con el peligro de mezclarse las accesiones si varias botellas cayeran juntas.

Las muestras en almacenamiento a largo plazo a menudo se denominan "colecciones de base" y no se usan normalmente para la distribución o el intercambio de rutina; son colecciones de seguridad (Hanson *et al.* 1984:1). Las colecciones de base son a menudo similares o idénticas al material de las colecciones a mediano plazo que proporcionan muestras a los fitomejoradores y a otros científicos para realizar evaluaciones. Las semillas destinadas al almacenamiento a medio o a largo plazo se secan suavemente hasta alcanzar un contenido de humedad entre 4 y 7 por ciento antes de congelar. Muchos bancos genéticos poseen un área anterior o zona de amortiguación equipada con un equipo de aire acondicionado y un deshumidificador para reducir las fluctuaciones de humedad y temperatura del aire en la habitación de almacenamiento de las semillas. Algunos institutos, como el IRRY y el sitio de colección de maíz en el CIMMYT, poseen instalaciones para almacenamiento a mediano y a largo plazo, mientras que otros, como el NSSL en Fort Collins, Colorado, poseen sólo las colecciones en almacenamiento a largo plazo.

Una vez aceptadas en un banco genético, las accesiones son periódicamente controladas para asegurar que estén todavía viables. Tres factores principales gobiernan la viabilidad de la semilla almacenada: la temperatura, el contenido de humedad de la semilla y la viabilidad inicial. Por lo menos el 90 por ciento de las semillas en una muestra destinada al almacenamiento debe germinar (Roberts 1983). Para examinar la viabilidad, se toma una submuestra de la accesión y se deja

germinar, a menudo en papel filtro. Si la germinación disminuye a menos del 85 por ciento, la accesión se regenera para evitar pérdida de genes raros y porque se empiezan a presentar cambios genéticos cuando se reduce la viabilidad de la semilla. Algunos operadores de bancos genéticos fijan límites más altos, ya que algunos genes son extremadamente raros en una población, y aún un ligero deterioro de la viabilidad de una accesión podría significar la pérdida de genes potencialmente valiosos. Una tasa inferior de germinación es aceptable para las variedades relativamente modernas porque ellas son genéticamente más homogéneas que las razas nativas o especies silvestres. Los operadores de bancos genéticos establecen normas de regeneración para cada especie cultivada y tienen la responsabilidad de equilibrar el riesgo de pérdida de genes valiosos con el alto costo de la regeneración.

El germoplasma de plantas de raíces comestibles y de algunas plantas de semilla (Figura 4.3) se mantiene como una colección de trabajo en siembras de campo o en cultivos de tejido. Si el germoplasma de papa se mantiene en forma de tubérculos, el material se debe sembrar anualmente y los tubérculos se deben almacenar en un lugar fresco y seco (Figura 4.4). La yuca, por otra parte, puede permanecer en el campo por varios años antes de tomar las estacas caulinares y propagar las plantas. En el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) cerca de Cali, Colombia, sin embargo, las accesiones de yuca del banco genético en el campo se resiembran anualmente para reducir los daños causados por enfermedades y plagas. Algunas especies cultivadas por sus raíces echan semilla, la cual es excelente para la conservación de genes, pero no se puede usar semilla verdadera para preservar la identidad genética de un clon individual.

Desde el punto de vista de la conservación genética, el almacenamiento de semillas de plantas de raíces y de otros materiales clonales, como la caña de azúcar, es ideal. Se podría mantener un número limitado de clones en un banco genético de campo o en cultivo de tejidos cuando ellos tengan una especial importancia para el mejoramiento, sean estériles, o sean bien conocidos genéticamente. Naturalmente los mejoradores necesitan mantener muchos clones; sin embargo, los clones no son siempre necesarios para la conservación genética a largo plazo (IBPGR 1985a). Los genes de otros cultivos de clones, como los frutos de clima templado y las vides, podrían conservarse también en forma de semilla.

Por los requerimientos de espacio relativamente grandes y por los altos costos laborales del mantenimiento de los campos, el germoplasma de plantas de raíces se almacena más frecuentemente *in vitro*². En la subestación Huancayo, de CIP, en los Andes peruanos, por ejemplo, se requiere un campo de cuatro hectáreas para sembrar 6000 clones de papa cada año. En la sede del CIP en Lima, en contraposición, se han construido instalaciones para alojar una colección duplicada en cultivo de tejidos que requerirá sólo el 0.1% de este espacio (Smith 1983a). Las 3700 accesiones de yuca del banco genético de campo del CIAT ocupan ocho hectáreas. Desde agosto de 1985, aproximadamente dos tercios de la colección también han sido almacenados *in vitro*, y se espera duplicar toda la colección en forma de cultivo de tejidos para 1987 (W. Roca, com. pers.). El banco genético de



Figura 4.3. Banco genético de campo para varias especies de *Tripsacum*, parientes silvestres del maíz que se utilizan en el mejoramiento por resistencia a las enfermedades, plagas de insectos y tallos resilientes. Subestación de Tlaltizapan del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México, junio 1985.

cultivo de tejidos de yuca, que puede contener 6000 accesiones, tiene sólo siete metros de largo, seis metros de ancho y dos y medio metros de alto.

El *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA) en Ibadan, Nigeria, también mantiene germoplasma de plantas tuberosas en cultivo de tejidos y en parcelas de campo. El germoplasma contenido en tubos de ensayo se mantiene generalmente en habitaciones sin ventanas, equipadas con acondicionadores de aire y luces fluorescentes. Las temperaturas relativamente frescas retardan el crecimiento y la duración del fotoperíodo se puede controlar con luz artificial. Con las técnicas corrientes, los cultivos de tubo de ensayo de ciertas especies, como la batata y la yuca, pueden permanecer saludables hasta por dos años; posteriormente es necesario subcultivar para regenerar los cultivos.

Todas las colecciones de cultivo de tejidos son, sin embargo, sólo almacenes temporales de germoplasma. Debido a que algunos materiales presentan inestabilidad genética en cultivo de tejidos, se están buscando métodos de almacenamiento más

seguros y a largo plazo para los materiales clonales. Con este fin, se están realizando experimentos para el almacenamiento a largo plazo de cultivos de tejidos en nitrógeno líquido a -196°C (criopreservación). A la temperatura extremadamente baja del nitrógeno líquido, se suspenden la animación y el cambio genético.

Problemas y medidas preventivas

En la misma forma en que los eruditos dependen de las bibliotecas para realizar su trabajo, los mejoradores de cultivos necesitan tener acceso a bancos de germoplasma para desarrollar variedades. Pero han surgido dificultades en esta área; algunas de estas dificultades se pueden superar con previsión y planificación, mientras que otras requieren estudios a largo plazo, capacitación y educación. Algunas son comunes a todos los bancos genéticos, mientras que otras ocurren con poca frecuencia.

Con relación a los principios de operación de los bancos genéticos, algunos institutos agrícolas nacionales no siempre se adhieren al principio de libre intercambio de germoplasma. En tanto que los bancos genéticos de los centros internacionales del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAI) respetan este principio, algunos bancos genéticos nacionales ocasionalmente rehusan liberar algunas accesiones. Tales embargos de exportación pueden ser impuestos por políticos que consideran que está en contra del interés nacional proveer material genético a ciertos países u organizaciones.

Hasta ahora, no hay evidencia documentada sobre la no disponibilidad de germoplasma de los principales cultivos alimentarios, y en los pocos casos donde el germoplasma ha sido retenido involucran cultivos comerciales de exportación. Los mejoradores de café encuentran imposible obtener material de Etiopía (MacFadyen 1985), tierra de origen del café. Las variedades silvestres y cultivadas de café contienen grados variables de resistencia a la roya del café (Sylvain 1955), y los mejoradores del café, especialmente en América Latina, necesitan obtener germoplasma fresco con resistencia a esta difundida enfermedad. El gobierno jamaicano no permite que el germoplasma de calicanto (*Pimenta dioica*) salga del país, en un evidente intento de monopolizar la producción. Otras decisiones políticas de prohibición de la exportación de germoplasma de cultivos incluyen la pimienta negra y la cúrcuma (*Curcuma longa*) en India, el cacao en Ecuador, la caña de azúcar en Taiwán, la palma datilera en Iraq, el caucho en Brasil, la palma de aceite africana en Malasia, y el pistacho (*Pistacia vera*) en Irán (Witt 1985:103). Después de la presión ejercida por la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), Sudán levantó un embargo en la exportación de germoplasma de goma arábiga (*Acacia senegal*) (Prescott-Allen y Prescott-Allen 1983:69).

En la mayoría de los casos, sin embargo, no son consideraciones políticas las que hacen rechazar una solicitud de germoplasma. Más a menudo es la necesidad de multiplicar la accesión antes de tener suficientes semillas disponibles para el

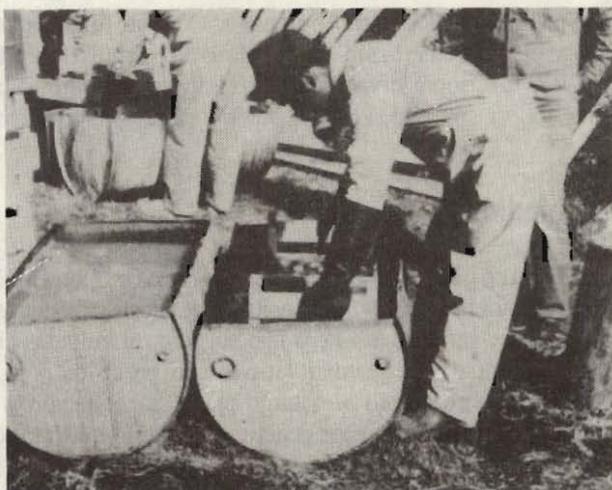


Figura 4.4. Lavado de papas (*Solanum* spp.) destinadas al almacenamiento de germoplasma en baños con fungicidas, plaguicidas y bactericidas en la subestación del Centro Internacional de la Papa, cerca de Huancayo, Perú, junio 1982.

intercambio, o porque hay que aplicar restricciones cuarentenarias o porque la accesión se encuentra en una colección básica cuyo material no se envía fuera. Quienes aspiran a obtener muestras de germoplasma a veces envían sus solicitudes a las colecciones básicas cuando deberían enviarlas a los bancos genéticos activos. Para ayudar a superar este problema, el IBPGR ha expedido guías de bancos para que los aspirantes puedan escribir a las instituciones correctas. También se debe recordar que una muestra es rara vez única; generalmente puede hallarse en varios bancos genéticos. Por ejemplo, las accesiones de trigo de la *Small Grains Collection* (Colección de Granos Pequeños) del Departamento de Agricultura de los EE.UU., que es el proveedor más grande del mundo de este material, también se mantienen total o parcialmente en el ICARDA, en la Unión Soviética, Italia, Brasil, Etiopía, Turquía, y muchos otros países.

La posibilidad de que ocurran restricciones periódicas en el intercambio de germoplasma fue un potente argumento para el establecimiento de una red de bancos genéticos internacionales y nacionales que se subscriben al principio de que todos los investigadores de buena fe, de cualquier nacionalidad, que pueden usar el material para beneficio del género humano, deben tener acceso al germoplasma. Afortunadamente, la cooperación ha sido la regla general en el intercambio de germoplasma, porque es difícil predecir donde uno tendrá que pedir ayuda para resolver un problema de mejoramiento de cultivos. Casi todas las instituciones de investigación agrícola por lo tanto acatan el principio de libre intercambio de germoplasma.

Las colecciones duplicadas que se mantienen en diferentes localidades ayudan a evitar los problemas de acceso al germoplasma y evitan una pérdida total de germoplasma único en caso de fallas de energía eléctrica, incendios o riesgos naturales. El abastecimiento de electricidad en los países del Tercer Mundo es a menudo errático, especialmente lejos de las ciudades capitales. Es improbable que una corta interrupción de la energía eléctrica a un banco genético amenace las colecciones, pero una interrupción prolongada puede causar descomposición. Las grandes fluctuaciones de voltaje son muy comunes en los países en desarrollo y a veces hacen fallar los equipos de refrigeración. Un banco genético a mediano plazo instalado en 1978 por el *Research Institute of Food Crops* en Bogor, Indonesia, por ejemplo, nunca funcionó adecuadamente por problemas de voltaje; la instalación en consecuencia tuvo que ser desconectada y actualmente se usa para almacenar suministros de oficina.

La atención de los equipos descompuestos es a menudo difícil en los países en desarrollo. Irán, por ejemplo, ha perdido valioso germoplasma almacenado por fallas del equipo de refrigeración. Las agencias bilaterales tienen en parte la culpa por las fallas de los equipos cuando insisten que los países del Tercer Mundo adquieran maquinaria del país donante, independientemente de si hay instalaciones de mantenimiento en el país beneficiario. En el caso de un banco genético a largo plazo para leguminosas, operado por el *National Institute of Biology* en Bogor, por ejemplo, se recibieron veinte congeladores con termostatos externos y medidores de temperatura del Reino Unido en 1981. Sólo la mitad de ellos funcionaba al llegar, aparentemente debido a daños durante el despacho. En enero de 1985, estaban funcionando, o no habían tenido que ser reparados, sólo cinco congeladores del envío original. Para almacenar adecuadamente las semillas a largo plazo, también pueden usarse congeladores sencillos, diseñados para el uso doméstico; dichos congeladores se venden en la mayoría de los países en desarrollo y pueden repararse localmente (Figura 4.5).

El comité de expertos en almacenamiento de semillas del IBPGR ha condenado el desperdicio de dinero en edificios y equipos para bancos genéticos, cuando este dinero se puede emplear más eficazmente en instalaciones más modestas y en científicos más capacitados para operarlos adecuadamente (IBPGR 1985b). Pocos bancos genéticos, por ejemplo, han atendido las advertencias acerca de la necesidad de contar con un fisiólogo de semillas competente entre su personal. El IBPGR está actualmente estableciendo un registro de los bancos genéticos que satisfacen las normas científicas preferidas, lo cual debe ayudar a afinar la red mundial con respecto al cumplimiento de las normas científicas internacionales mínimas. La simple construcción de un banco genético no es ya garantía suficiente para obtener la inclusión automática en esta red.

Para ayudar a superar la vulnerabilidad de las colecciones de germoplasma a los problemas de voltaje y de equipos, se recomienda usar reguladores de voltaje, así como equipos enfriadores y generadores de emergencia. Un banco genético debe contener por lo menos dos unidades enfriadoras de aire que se puedan operar en

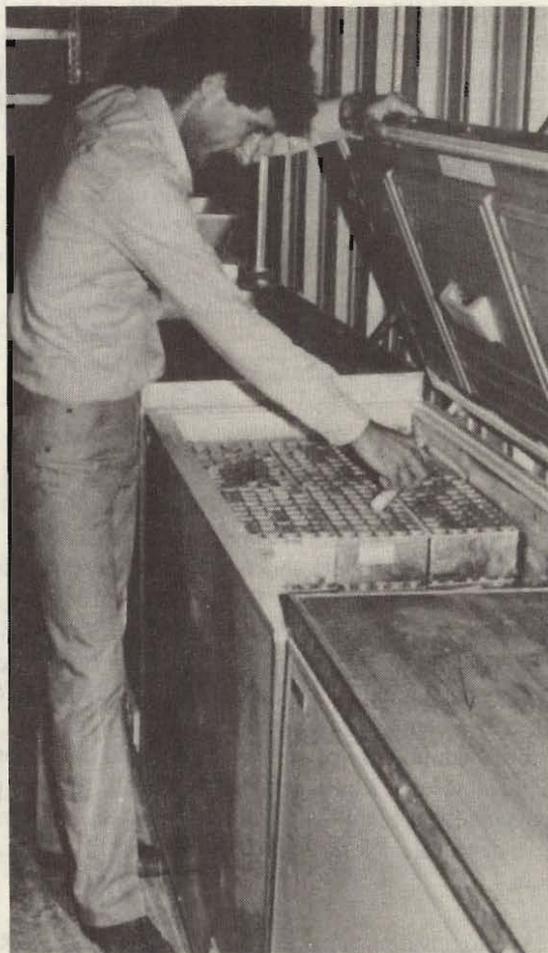


Figura 4.5. Gabinetes congeladores de fácil mantenimiento usados para el almacenamiento a largo plazo de germoplasma de cebada y trigo durum en el International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, cerca de Aleppo, Siria, 1984.

relevio; en esta forma, se puede realizar el mantenimiento sin poner en peligro las colecciones. Aún con equipos de emergencia, un alambrado indebido puede arruinar el germoplasma; en la Universidad de Vicosa en Brasil, por ejemplo, un incendio causado por un corto circuito destruyó la mayor parte de una colección de frijol lima (*Phaseolus lunatus*).

Algunos países pueden ahorrar costos de energía almacenando el germoplasma en localidades naturalmente frías y secas. Argentina, por ejemplo, está experimentando con el almacenamiento de accesiones de cereales en el hielo de la Antártica

(A. Von der Pahlen, com. pers.). Desde 1984, el banco genético nórdico ha usado una mina abandonada en la Isla Spitsbergen para almacenar una colección inicial de 180 accesiones. Spitsbergen, a 78 grados latitud norte, está bien adentro del Círculo Ártico y las muestras se almacenan en una mina a setenta metros debajo de la superficie (A. Wold, com. pers.). Las muestras, por lo tanto, se mantienen a una temperatura constante de -3.7°C . Las semillas se secan al 5 por ciento de humedad y se colocan quinientas semillas por accesión, en ampollas de vidrio selladas. El número de la accesión se graba en el exterior de las ampollas y las muestras son enviadas por aire a los contenedores interiormente aislados de Spitsbergen.

También se considera el uso de bancos genéticos que funcionan con energía solar; éstos parecen promisorios para algunos países de clima templado y tropical. Una configuración pasiva para las localidades montañosas frescas y secas, como ciertas partes de los Andes, no requiere electricidad para el mantenimiento de muestras a -4°C . Dentro del banco genético solar pasivo, las temperaturas se mantienen por debajo del punto de congelación, el cual se encuentra bien aislado por una mezcla de agua y alcohol. El hielo se genera durante el invierno y por las noches, a través del enfriamiento rápido de la radiación; no se necesitan ventiladores ya que el aire circula por convección termal. Para temperaturas hasta de -15°C , se crea una segunda cámara, equipada con refrigeradores accionados por células fotovoltaicas, dentro de la unidad solar pasiva (Saravia y Lesino 1983).

Aun los bancos genéticos que operan con una fuente de energía constante y con maquinaria atendida regularmente tienen algunas dificultades con el mantenimiento de muestras, por escasez de personal, falta de espacio de almacenamiento y limitadas instalaciones para regenerar los materiales. Esto puede resultar en un control sólo esporádico de la viabilidad y en un inventario infrecuente de las reservas a mano. Las accesiones populares se agotan rápidamente y en el resto pueden disminuir seriamente la calidad y la viabilidad, necesitando una urgente regeneración. En el *National Seed Storage Laboratory* en Fort Collins, Colorado, por ejemplo, la viabilidad de algunas accesiones ha descendido hasta en un 60 por ciento por los problemas indicados anteriormente (Murata *et al.* 1981).

Aun cuando las accesiones se controlen regularmente con respecto a la viabilidad y a la presencia de suficientes reservas, las semillas que son todavía viables después de muchos años de almacenamiento quizás no siempre produzcan plántulas vigorosas. Además, pueden presentarse cambios indeseados durante la regeneración debidos a factores genéticos (cambios en la constitución genética), hibridación accidental y nuevas presiones de selección durante el cultivo (Allard 1970; Frankel y Soule 1981:237). Para reducir las presiones de selección mientras se regeneran las accesiones de maíz en el CIMMYT, las muestras se cultivan en un ambiente neutral en cuanto a la duración del fotoperíodo y los científicos tratan de crear un ambiente seguro al aplicar fungicidas y plaguicidas a las parcelas de regeneración.

Idealmente, las accesiones que requieren regeneración deben regresar a sus zonas de origen para ser sembradas. Para un banco genético que tiene una cobertura

geográfica relativamente pequeña es más fácil aproximarse a la regeneración ideal de germoplasma. El programa nacional húngaro, por ejemplo, ha dividido el país en grandes zonas agro-ecológicas y se han identificado organizaciones colaborativas dentro de cada zona para cultivar las accesiones. El programa de investigación agrícola mexicano, del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) emplea una estrategia similar cuando regenera muestras mantenidas en el banco genético a mediano plazo de Chapingo. Las accesiones en este banco genético, principalmente de maíz y frijol, se regeneran en la red de estaciones del INIA en todo el país, la cual abarca un amplio rango de climas y tipos de suelo. Y en el vecino CIMMYT, las accesiones de maíz del altiplano se regeneran en la sede de El Batán a 2240 metros, mientras que el germoplasma de maíz de tierras bajas se renueva en la subestación de Tlaltizapan, a 940 metros sobre el nivel del mar. Para regenerar muestras de maíz sensibles a la duración del fotoperíodo, el CIMMYT ha hecho recientemente arreglos con el programa nacional de Ecuador para el cultivo de dichas accesiones en Santa Catalina y un acuerdo similar se está perfeccionando con el programa nacional peruano. Otros bancos genéticos necesitan formalizar arreglos cooperativos similares para regenerar los materiales adecuadamente.

En el caso de cultivos cruzados, donde se cruzan plantas individuales, como maíz, centeno, remolacha, frijol faba (*Vicia faba*) y muchos cultivos forrajeros, en las accesiones de siembras para la renovación, éstas deben separarse considerablemente en espacio o tiempo para evitar en lo posible que el polen pase entre una accesión y otras. Ocasionalmente se han sembrado demasiado cerca algunas adquisiciones forrajeras debido a instalaciones inadecuadas y escasez de personal (Timothy y Goodman 1979). Una separación de por lo menos 3 kilómetros entre las accesiones polinizadas por insectos es deseable, aunque las barreras físicas de tamaño considerable como, por ejemplo, los bosques, pueden servir para reducir algo la distancia (Oka 1983). En el banco genético de Gatersleben en la República Democrática Alemana, los cultivos polinizados por insectos se cubren con jaulas de mallas que contienen abejorros para evitar el cruzamiento (Lehman 1979). En el caso del maíz, un cultivo polinizado por el viento, una separación de 300 a 500 metros entre las accesiones que se regeneran se considera generalmente adecuada. Los cultivadores de maíz en América Central mantienen la integridad de sus diferentes razas nativas escalonando las épocas de floración de sus cultivos de maíz; los operadores de bancos genéticos usan a veces un enfoque similar. Otra manera de mantener la integridad genética de las accesiones de maíz es mediante cruzamiento de las plantas por polinización manual, en espigas protegidas de la polinización abierta, usando un surco como progenitor femenino mientras que el otro proporciona el polen, un procedimiento seguido por el CIMMYT y por el programa nacional de México. En institutos de investigación que poseen bastante suelo y personal, como el ICARDA, que tiene colecciones de haba, las accesiones se mantienen bien separadas durante la regeneración.

También puede suceder que se etiqueten incorrectamente las accesiones durante la regeneración y mientras más se renuevan los materiales, mayores son las oportunidades de que la muestra se identifique incorrectamente. El IRRRI es uno de

los pocos bancos genéticos que mantiene un archivo de semillas de referencia que contiene paquetes de las accesiones originales para ayudar a clasificar las muestras que han sido incorrectamente identificadas durante la regeneración (Chang 1976a: 16). En el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) también se mantiene una muestra de referencia de cada accesión de germoplasma, en ampollas de vidrio, para calabaza (*Cucurbita* spp.), pimienta (*Capsicum* spp.) y orellana (*Bixa orellana*). El CATIE es un centro regional de investigación agrícola y de germoplasma en los suburbios de Turrialba, Costa Rica.

Las especies silvestres plantean problemas adicionales para los curadores de los bancos de germoplasma. Las semillas de los parientes silvestres de cultivos de cereales y leguminosas tienen tendencia a romperse al madurar, derramándose en el suelo. En consecuencia, unas de las primeras características seleccionadas al domesticar cereales y leguminosas de granos fue una semilla o vaina que no se rompiera. Las especies silvestres necesitan esparcir las semillas para poder sobrevivir; las plantas domesticadas han perdido generalmente esta capacidad y dependen del hombre para su propagación. La latencia de la semilla, un mecanismo de supervivencia para las especies silvestres, es otro problema que a veces se encuentra en el germoplasma de parientes de especies cultivadas. A menos que se realicen pruebas especiales, una semilla latente puede parecer no viable. Los seres humanos han seleccionado contra la latencia durante la domesticación de las plantas para asegurar poblaciones uniformes de cultivo, con buenos rendimientos.

Los datos acerca de las accesiones de germoplasma son casi tan valiosos como el material vegetal mismo. La información, en papel o en cinta o en disco de computador, es vulnerable al fuego y a la inundación, por lo cual es necesario mantener conjuntos duplicados de los registros de accesión en otras localidades. Los formatos vencidos de los registros de bancos genéticos son a menudo otro problema, y la información de algunos bancos genéticos todavía se mantiene en engorrosas tarjetas de archivo o en gruesos libros, una práctica que no sólo hace más lenta la recuperación de información pero que requiere el uso de máquinas copiadoras para hacer registros duplicados. A veces las copias no son ni siquiera legibles, especialmente en el caso de las notas de campo escritas a lápiz.

Los bancos genéticos computarizados no están libres de problemas, sin embargo. Uno encuentra dificultades cuando trata de formar una red de bancos genéticos computarizados o de compilar una lista maestra de todas las accesiones de una especie. Los bancos genéticos usan diferentes marcas de equipos y programas de computación, a menudo incompatibles. En una encuesta reciente de catorce bancos genéticos en Europa y el Medio Oriente, por ejemplo, se estaban usando ocho marcas diferentes de macrocomputadores y cuatro marcas diferentes de microcomputadores (PNUD/IBPGR 1984:19). El número de modelos diferentes era aún mayor y ni siquiera todos los modelos hechos por el mismo fabricante son plenamente compatibles.

Los resultados de pruebas diseñadas para evaluar el comportamiento de las muestras bajo diferentes estreses ambientales, como ataques de enfermedades e insectos, son de primordial importancia para los registros de accesión. Pero la evaluación de las accesiones a veces se descuida o aplaza porque es uno de los aspectos más costosos y lentos de la actividad de los bancos de genes. En algunos bancos genéticos, virtualmente todas las accesiones se han evaluado. En el ICRISAT, por ejemplo, 84 por ciento de las accesiones de sorgo, 89 por ciento de las de maní, 94 por ciento de las de garbanzo, 96 por ciento de las de millo perla y virtualmente todas las de gandum (*Cajanus cajan*) han sido evaluadas (Mengesha 1984). La mayoría de las 3700 accesiones de yuca del CIAT se han evaluado en seis zonas edafoclimáticas (suelo y clima), cinco de las cuales se encuentran en Colombia, un país de gran variedad ecológica. En otros bancos genéticos, sin embargo, sólo se dispone de datos limitados de pasaporte. De los bancos de germoplasma del mundo, aproximadamente un 65 por ciento no poseen información de pasaporte y entre un 80 y 95 por ciento carece de datos de caracterización o evaluación (CTC 1985:37). Aún en bancos genéticos bien administrados, muchos genes potencialmente útiles permanecen sin usar porque la evaluación se ha quedado a la zaga de la colección. Tres cuartos de la colección de arroz de IRRI han sido evaluados, pero sólo 10 por ciento de las accesiones de papa del CIP han sido completamente evaluadas con respecto a sus características (IRRI 1984:9; CIP 1984:6).

Una razón importante para la inadecuada evaluación es que se requiere un equipo de especialistas altamente adiestrado - capacidad que sólo se halla en pocos bancos genéticos e instituciones asociadas de investigación agrícola (Wilkes 1984). Se necesitan fitopatólogos, entomólogos, fisiólogos y agrónomos para realizar una evaluación inicial, que por lo general incluye también observaciones de las accesiones sembradas en invernaderos y parcelas de campo. Otra razón para el retraso en la evaluación de las accesiones es que los mejoradores están generalmente ocupados con los materiales de interés actual en la preparación de variedades nuevas; esto explica indudablemente el hecho de que solo menos de la mitad de la colección de maíz mantenida por CIMMYT en México haya sido evaluada. En consecuencia, en lugar de tener que depender de los fitomejoradores quienes tienen a su cargo otras tareas, las instituciones necesitan personal especial para evaluar rápidamente las accesiones.

Otra limitación para la regeneración y evaluación adecuadas de las accesiones es el grado alto de redundancia de algunas colecciones (IBPGR 1984a:2). Las colecciones duplicadas son necesarias, pero los intercambios excesivos producen material redundante que ocupa un espacio valioso y desacelera la regeneración y el trabajo de evaluación (Holden 1984). La electroforesis, la cual es esencialmente una manera de tomar una dactiloscopia proteínica a las accesiones, puede diferenciar el germoplasma vegetal. Con este método, se puede determinar la variabilidad genética y las accesiones se pueden separar. (Esquinas-Alcazar 1981:15; N. Smith 1983a). El CIP ha usado la electroforesis para reducir el número de accesiones en su colección de accesiones de papa, desde 13.000 a 6500 (CIP 1984:58)

Los procedimientos cuarentenarios para plantas a veces interrumpen el funcionamiento de un banco genético. Generalmente, se inspecciona el material vegetal para determinar la presencia de organismos potencialmente patógenos o plagas de insectos y luego se libera prontamente; sin embargo, a veces se presentan retrasos, los cuales constituyen una amenaza para los materiales. También, los gobiernos pueden imponer prohibiciones temporales o permanentes sobre la importación de material vegetal para mantener lejos ciertas enfermedades y plagas de insectos. CIAT, por ejemplo, mantiene una colección básica de frijol *Phaseolus* para cumplir sus responsabilidades globales, pero los funcionarios cuarentenarios colombianos son estrictos en cuanto a las importaciones de germoplasma de frijol, especialmente de África. Y cerca de Hyderabad, India, el *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics* (ICRISAT) se encarga de un banco genético a largo plazo con cobertura mundial para el sorgo, entre otros cultivos; desgraciadamente, la colección de sorgo contiene pocas especies silvestre o de maleza, en parte debido a las estrictas medidas cuarentenarias impuestas por el gobierno indio. El ICRISAT opera una colección de base para maní pero tiene problemas para la adquisición de material silvestre y clones vegetativos de maní por causa de las restricciones cuarentenarias.

Para reducir las oportunidades de difundir plagas y organismos patógenos, se debe prestar especial atención al embarcar las accesiones. Los oficiales cuarentenarios detienen las accesiones si hay evidencia de materias extrañas, como tierra o materia vegetal extranjera (IBPGR 1983a:4). Los bancos genéticos, especialmente en los centros internacionales, controlan completamente los materiales entrantes y salientes con respecto a insectos, nematodos, bacterias, hongos y virus. Una de las peores pesadillas para un operador de banco genético es ser acusado de dejar pasar una enfermedad destructora o plaga a un país. En el CIP, los especialistas en recursos genéticos escrutan todo material destinado a la exportación y en colaboración con las autoridades peruanas, expiden una declaración fitosanitaria que certifica que las normas de saneamiento exceden aquellas requeridas para la aceptación cuarentenaria comercial por los países importadores (CIP 1984:6). El CIP usa varias pruebas de control de enfermedades en muestras de germoplasma destinadas para el embarque y examina comúnmente muestras por más de veinte virus diferentes. Un método serológico utiliza partículas de látex sensibles a los anticuerpos mientras otro usa pruebas de inmunosorbencia con conjugados enzimáticos (ELISA). Aunque estas pruebas son altamente técnicas, no son necesariamente costosas. Al momento de esta impresión, el equipo ELISA cuesta sólo EUAS\$250 y las sondas de ADN se están tornando más baratas. A pesar de las precauciones, sin embargo, los agentes aduaneros a veces detienen el material destinado a los bancos genéticos. El paso de material valioso a través de los controles cuarentenarios puede ser más rápido si las instituciones importadoras han asegurado las aprobaciones necesarias. Una vez que el material consigue llegar a su destino, muchos bancos genéticos lo cultivan en invernaderos o casas de mallas para controlar los síntomas de enfermedad antes de incorporarlo a sus colecciones.

Inevitablemente surgen interrogantes acerca de la idoneidad de los oficiales de cuarentena vegetal encargados de la expedición de los certificados fitosanitarios para la exportación y la importación. En el caso de la papa, por ejemplo, se conocen 266 plagas y organismos patógenos que atacan esta planta, en más de cien naciones. Sólo el seguimiento de la distribución y de los cambios evolutivos de las enfermedades y plagas de la papa es una tarea monumental. Claramente el tema de los procedimientos cuarentenarios para materiales vegetales merece estudios adicionales. Por lo menos, se necesitan más oficiales adiestrados que tengan acceso a la última información sobre brotes de plagas.

Plantas con semillas recalcitrantes

Varias plantas producen semillas que no se pueden secar o almacenar a bajas temperaturas y en consecuencia plantean problemas especiales para el almacenamiento de germoplasma. Dichas plantas incluyen caucho, cacao, palmas, numerosas especies forestales tropicales y muchos frutos tropicales (Withers 1980:1; Van der Maesen 1984; R.D., Smith 1984). El durián (*Durio zibethinus*; Figura 4.6), por este

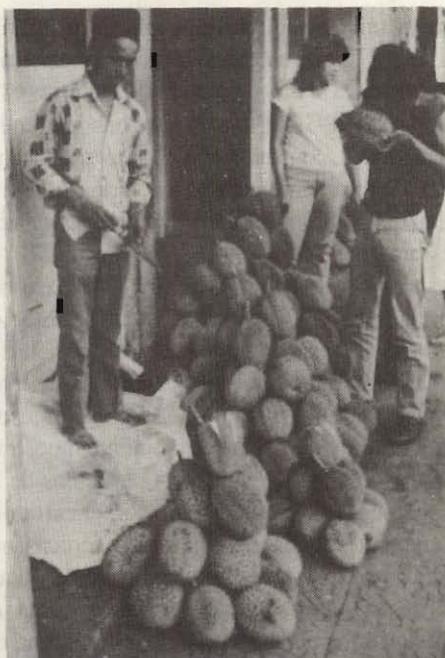


Figura 4.6. Durián (*Durio zibethinus*) para la venta de Bogor, Java, enero 1985. La pegajosa pulpa de color crema del durián es muy apreciada en el sudeste de Asia.

ejemplo, es un manjar en el sudeste asiático, pero sus semillas no pueden resistir el secamiento ni la congelación. La pulpa cremosa que rodea las semillas grandes y ovals de durián tiene un fuerte sabor a queso y el fruto emite un potente aroma, que probablemente le servía para atraer agentes de dispersión animal en su selva ancestral.

El germoplasma de especies con semillas recalcitrantes puede mantenerse de varias maneras. El método más común es el almacenamiento en bancos genéticos de campo *ex situ*. Sin embargo, tales siembras son dañadas por las plagas, enfermedades y tormentas además encarecen los costos de mano de obra. Si se perfeccionan las técnicas de criopreservación y se elaboran métodos de cultivo de tejidos para plantas cuyo germoplasma merece ser almacenado, los bancos genéticos *in vitro* desempeñarán una función importante en el futuro. Las especies silvestres también se deben proteger en bancos *in situ*. Los jardines botánicos, aunque no desempeñan actualmente una función significativa en el almacenamiento de germoplasma a escala mundial, podrían desempeñar una función más importante como bancos genéticos *ex situ* para las especies de semilla recalcitrante (N. Smith, en prensa). Varios jardines botánicos ya han tomado la iniciativa de conservar la diversidad genética *ex situ* para las especies arbóreas. El *Calcutta Botanic Garden*, por ejemplo, mantiene una colección de germoplasma de *Citrus* (Sharma 1984). El jardín satélite de 40 hectáreas de Bogor, en Cibinong, mantiene una pequeña colección de clones de banano local (*Musa* spp.), guayaba (*Psidium guayava*; Figura 4.7) y *Annona* spp. Cibinong, que abrió sus puertas en 1980, proyecta ampliarse hasta ocupar 150 hectáreas para acomodar colecciones más grandes de germoplasma de especies frutales. El Jardín Kahanu de 47 hectáreas en Maui, que forma parte de una red de jardines hawaianos operados por el *Pacific Tropical Botanical Garden*, mantiene 45 cultivares de árbol del pan y una colección más pequeña de coco (Theobald 1982). La sede del *Pacific Tropical Botanical Garden* en Lawai, Kauai, también tiene colecciones de árboles frutales de importancia para la subsistencia y el comercio en muchos países tropicales; el rico y sinuoso jardín de 177 hectáreas tiene aproximadamente cien cultivares de banano y quinientas especies de palma. *Lyon arboretum*, de 48 hectáreas, de la Universidad de Hawaii, Honolulu, mantiene doscientas accesiones de taro, con ocho plantas por accesión.

Los jardines botánicos con jardines satélites que cubren gran diversidad de ambientes son candidatos especialmente buenos para la conservación de germoplasma de plantas de interés económico con semilla recalcitrante. Bogor, por ejemplo, tiene cinco jardines satélites que ocupan 866 hectáreas, con una amplia diversidad de climas y tipos de suelo, en tanto que *Foster Garden* en Honolulu tiene cuatro jardines asociados en Oahu, los que ocupan 315 hectáreas (Sastrapradja y Davis 1983 1984; Sastrapradja *et al.*, n.d.; Weissich 1982). En cuanto a los jardines botánicos con un sitio único, se podría ampliar su trabajo con germoplasma con solo establecer redes de investigación. India, por ejemplo, tiene 55 jardines botánicos administrados por diversas agencias del gobierno, universidades y organizaciones autónomas que se beneficiarían al coordinar sus programas (Sharma 1984). Una red de jardines



Figura 4.7. Colección de germoplasma de guayaba, Cibinong Garden, cerca de Bogor, Indonesia, 1985.

botánicos podría repartirse la responsabilidad para conservar ciertas especies según las condiciones climáticas y la capacidad de investigación de cada uno.

Los jardines botánicos también adelantan la causa de la preservación del germoplasma vegetal mediante asesoramiento a los programas de conservación acerca de los sitios prioritarios para proteger los hábitats naturales. El personal de *Bogor Botanic Garden*, por ejemplo, ayuda al gobierno indonesio en la selección de reservas naturales (Sastrapradja 1982). El personal de los jardines botánicos, quizás en colaboración con científicos de otras instituciones, está capacitado para ayudar a dilucidar las complejas interacciones entre las especies en los ambientes tropicales, especialmente en lo que se refiere a los mecanismos de polinización de árboles frutales y maderables. Dicha información resultará vital para los esfuerzos de almacenamiento y para el trabajo de mejoramiento futuros.

Los herbarios existentes en muchos jardines botánicos también pueden proporcionar un servicio de apoyo valioso en el esfuerzo para conservar y utilizar las especies silvestres, ayudando a identificar y a ubicar parientes de las especies cultivadas. El herbario de *Singapore Botanic Gardens*, por ejemplo, contiene más de 600.000 especímenes. Hace tres décadas, Vavilov (1949) recalcó la importancia de los factores sistemáticos para el fitomejoramiento. Se necesitan más encuestas botánicas en las zonas tropicales para identificar las especies y proyectar su pre-

sencia (Raven 1976). Armados con un idea más clara de la distribución de las especies y su variabilidad, los científicos podrán obtener una mejor idea del tamaño de los acervos genéticos y decidir dónde deben hacerse bancos de germoplasma.

Hawkes (1983:127) sugiere mantener algunas especies de semilla recalcitrante como plántulas de crecimiento lento en condiciones de poca luz. Esta técnica podría usarse para especies tropicales forestales que se habitúan a la sombra, especialmente durante los estados iniciales de crecimiento. En las selvas, algunas plántulas de árboles crecen con extrema lentitud hasta que se abra una brecha de luz, que permita un desarrollo más rápido. Vale la pena hacer investigación de seguimiento sobre esta idea.

También se necesita más investigación sobre cultivos *in vitro*. El énfasis en la investigación en cultivo de tejidos está dirigido en la actualidad hacia la propagación masal y la detección de virus y viroides en los cultivos. No se ha efectuado suficiente investigación sobre el crecimiento lento y el mantenimiento de la estabilidad durante el almacenamiento. El almacenamiento a corto plazo de la papa y la yuca en cultivo de tejidos es confiable, no obstante dichas técnicas deben perfeccionarse si han de servir para las plantas con semillas recalcitrantes.

Para los cultivos con semillas recalcitrantes es necesario hallar maneras prácticas de conservar suficientes accesiones que puedan representar la variabilidad genética de los acervos genéticos. El banco genético de cacao y caucho, por ejemplo, ocupa vastas zonas de la Amazonia y en el caso del cacao, llega muy al norte, hasta México. La conservación de germoplasma por lo tanto requiere métodos de almacenamiento diferentes y complementarios. Para algunas especies cultivadas, la conservación *in situ* es necesaria para complementar los bancos genéticos de campo.

La controversia *in situ/ex situ*

En vista de los riesgos potenciales asociados con el almacenamiento de germoplasma en bancos genéticos, algunos científicos opinan firmemente que la diversidad genética de las especies y de sus parientes silvestres se preserva mejor *in situ*, esto es, en los campos de los agricultores y en los hábitats naturales (Pardo 1982; Myers 1983:25). Ellos argumentan que los bancos genéticos detienen la evolución de las plantas y de ese modo excluyen la posibilidad de que se desarrollen especies y variedades nuevas; las colecciones *ex situ* de germoplasma se han descrito como "ghettos genéticos" (Myers 1983:123). Es cierto que las semillas congeladas ya no interactúan con su ambiente y pueden hasta experimentar cambios inesperados e indeseados durante la regeneración, pero son sin embargo recursos valiosos convenientemente accesibles a los mejoradores.

Existe cierta analogía con los jardines zoológicos. Los parques zoológicos, como los bancos genéticos, son ambientes artificiales donde una parte del repertorio

natural del comportamiento animal y otras características se pierden inevitablemente. Pero a diferencia de los jardines zoológicos, los bancos genéticos tratan de asegurar una gran parte de la variabilidad genética de una especie, algo que es difícil efectuar con animales en encierros artificiales. Algunos jardines zoológicos, como el de San Diego, California, están congelando esperma de ciertos animales salvajes para preservar los genes que se pueden perder en las poblaciones salvajes amenazadas. El semen y los embriones congelados son por lo tanto una estrategia para proteger al menos algo de la diversidad genética de los animales salvajes. Los bancos genéticos realizan una función similar con los recursos genéticos de las plantas.

La preservación de las razas nativas en los lugares donde ellas se han originado tiene un considerable mérito. De esta manera las razas nativas se mantendrían en las condiciones para las cuales están adaptadas y podrían continuar evolucionando. Sin embargo, surgen varias consideraciones prácticas. Ya sea que las razas nativas se mantengan *in situ* o en bancos genéticos, su supervivencia depende enteramente de las personas involucradas. Los partidarios de la conservación *in situ* de los recursos genéticos no dan detalles acerca de cómo se cuidarían los miles de razas nativas de plantas cultivadas. Diversos escritores han sugerido ofrecer subsidios a los agricultores para mantener las viejas variedades amenazadas con el abandono (Myers 1983:25). ¿Pero cómo administrar dicho programa? La tarea de controlar a los agricultores que participarían en los programas de conservación *in situ* acobarda a cualquiera, especialmente en regiones aisladas. El personal de extensión es prácticamente inexistente o ya soporta una sobrecarga de trabajo y su disponibilidad es escasa; por otra parte, el riesgo de corrupción es enorme (Frankel 1970). Además, se ofrece una receta segura para la alienación cuando se pide a los agentes de extensión que vigilen las actividades de los agricultores. No está nada claro qué parte del subsidio iría a parar en los bolsillos de los agricultores que mantienen las razas nativas. Nadie tiene el derecho moral de obligar a los agricultores a cultivar razas nativas de bajo rendimiento mientras otros adoptan cultivares de alto rendimiento (Hawkes 1977a). Es también incierto cuánta atención recibirían las razas nativas de cultivadores que si no fuese el caso o no las sembrarían. Las malezas y los insectos podrían proliferar y dañar gravemente las viejas razas nativas, con o sin subsidios, mientras que los agricultores cuidarían sus cultivos preferidos.

Otro serio inconveniente de la conservación de viejas razas nativas en los campos de los agricultores es la escasez de tierra cultivable en muchos países (Arnold *et al.* 1986). En Bangladesh, por ejemplo, 100 millones de personas se apretujan en una zona del tamaño de Wisconsin. El tamaño promedio de una finca de Bangladesh es de menos de una hectárea. No resulta claro cómo los agricultores de países como éste podrían apartar una tierra para el mantenimiento de cultivos no destinados al consumo doméstico ni a la venta. El subsidio para seguir sembrando razas nativas que no se usan tendría que ser bastante considerable para competir con los cultivos de subsistencia y los cultivos para la venta; pocos países del Tercer Mundo podrían darse el lujo de pagar dicho programa. Myers (1983:24) propone un impuesto sobre las empresas comerciales de semilla para suscribir los costos de mantenimiento del germoplasma de razas nativas y de especies silvestres en los campos de los agricul-

tores y en reservas naturales. Es dudoso que dicha medida sea operativamente posible y deja sin respuesta el interrogante de ¿por qué las empresas públicas de semilla no tienen ellas también la obligación de apoyar la conservación de germoplasma?

También se ha sugerido la idea de que las razas nativas podrían cultivarse en parcelas mantenidas por los programas nacionales, en zonas donde fueron anteriormente cultivadas. Nuevamente, los costos y las prioridades socavan esta propuesta. La tierra tendría que ser adquirida o arrendada para dicho programa y el escaso personal desviado de los institutos agrícolas para vigilar estas viñetas del pasado. Además, la conservación *in situ* tampoco es cosa algo garantizada; las razas nativas y las especies silvestres pueden desaparecer tanto fuera de los edificios de los bancos genéticos como dentro de ellos (Prescott-Allen y Prescott-Allen 1982a).

Los bancos genéticos han salvado en algunos casos de la extinción razas nativas y poblaciones de especies silvestres. Una accesión de *Oryza perennis* de Taiwán con resistencia al virus del retardo del crecimiento harapiento está ahora extinta allí; afortunadamente, se habían hecho colecciones de esta especie cosmopolita en Taiwán y se habían depositado en el banco genético del IRRI antes de que desapareciera la raza de la isla. En 1971, después de un grave terremoto, Nicaragua perdió todo su banco de germoplasma. Ese mismo año, el CIMMYT envió 84 accesiones de maíz, originales de Nicaragua, para ayudar a renovar el destruido banco genético de la nación. En 1975, se presentó un extenso daño en los bancos de germoplasma reensamblados de Nicaragua, a causa de interrupciones en el suministro de electricidad; el CIMMYT respondió positivamente a una solicitud de 52 accesiones. En 1977, el CIMMYT envió a Managua 28 accesiones adicionales de maíz de Nicaragua.

En Kampuchea, muchas variedades únicas de arroz se perdieron en la década de los 70 cuando la guerra interrumpió la producción agrícola. Las semillas de numerosas razas nativas fueron consumidas o se pudrieron, de manera que las diferentes variedades murieron. Afortunadamente, el banco genético del IRRI contiene variedades de arroz recogidas en Kampuchea antes de estallar la lucha política y algunas de éstas han sido reintroducidas con éxito al país. En 1981, por ejemplo, IRRI envió 36 variedades Khmer a Kampuchea a través de las oficinas del OXFAM y 103 variedades autóctonas adicionales fueron recibidas por el programa nacional en 1982. Estas reintroducciones se han multiplicado localmente para ser distribuidas a los agricultores kampucheanos (Swaminathan 1984a). Algunas de las variedades de cebada silvestre recogidas por Vavilov en Etiopía y depositadas en el banco genético del Instituto Vavilov en Leningrado se extinguieron en Africa, si bien estas especies han sido reintroducidas a Etiopía (Evans 1975).

Quizás el inconveniente más serio de la conservación de germoplasma de cultivos *in situ* como único método para preservar la diversidad genética de los cultígenos es que el material no estaría fácilmente disponible para los mejoradores. Si el germoplasma estuviera disponible sólo en los campos de los agricultores, los mejoradores tendrían que recurrir a costosas expediciones cada vez que necesiten

materiales frescos. Además, a menos de realizar encuestas regulares, las razas nativas permanecerían esencialmente sin evaluar y serían inútiles para el mejoramiento. La idea de duplicar las colecciones de los bancos genéticos en los campos de los agricultores puede parecer atractiva, pero los recursos financieros para los bancos genéticos ya son inadecuados. Los agricultores siempre tienen la opción de mantener variedades viejas por sus atributos especiales, como sabor preferido, a su costo propio. Pero si los escasos recursos financieros se extendieran para mantener bancos genéticos *ex situ* así como colecciones de campo de las razas nativas, la capacidad de los primeros sin duda sufriría. El mantenimiento con vida de las razas nativas abandonadas involucra un mayor orden de magnitudes que, por ejemplo, el mantenimiento de razas de ganado bovino, cerdos u ovinos. Por ejemplo, puede haber más de 100.000 variedades tradicionales de arroz (Chang 1984a); las razas pecuarias ni siquiera se aproximan a una fracción de esta cifra.

La conservación *in situ* de especies silvestres, por otra parte, merece atención y es mucho más factible (Frankel, 36 1977; Swaminathan 1983:8; Ingram y Williams 1984). Las especies silvestres se deben mantener en sus hábitat naturales para que puedan continuar interactuando con sus ambientes. Los bosques tropicales merecen una especial atención en la conservación ya que muchas plantas importantes se han originado en ambientes selváticos y los bosques tropicales constituyen tesoros de genes vegetales (Myers 1984). La administración del germoplasma de especies silvestres *in situ* no es tan engorrosa como el programa de subsidios para la conservación de razas nativas. Una vez que se haya identificado y demarcado los más importantes centros de riqueza específica de parientes de especies cultivadas, el empleo de patrullas regulares debería bastar para asegurar su integridad.

Para cultivos como el caucho, el cacao y los frutos tropicales, las reservas *in situ* y los bancos genéticos de campo son actualmente la manera más práctica de conservar grandes bancos genéticos. Desde 1983, el IBPGR financió un estudio de especies de mango silvestre en Borneo, con el fin de proyectar en un mapa la distribución de los parientes del mango y para identificar las poblaciones que se conservan en los parques. En Suecia, el banco genético nórdico está realizando estudios de modelos sobre reservas *in situ* para germoplasma de especies forrajeras (PNUD/IBPGR 1984:7).

Varios gobiernos ya han tomado la iniciativa de establecer reservas naturales para mantener los recursos genéticos vegetales. Etiopía, por ejemplo, está apartando las reservas para germoplasma de café (IBPGR 1985d:32). Colombia Británica después de pasar la Ley de Reservas Ecológicas en 1971, estableció varias reservas *in situ* de germoplasma vegetal, especialmente para especies maderables. La reserva Chilliwack de 86 hectáreas, por ejemplo, contiene especímenes excepcionales de cedro rojo (*Thuja plicata*), abeto grandioso (*Abies grandis*), abeto plateado (*A. amabilis*), abeto sitka (*Picea sitchensis*) y abeto de Engelman (*P. engelmanni*) y la reserva de 263 hectáreas del Lago Takla contiene lo que se considera como la presencia más norteaña del abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), una fuente potencialmente importante de resistencia a las heladas para esta especie maderable.

comercialmente importante. Además, la reserva de 188 hectáreas cerca de Clinton, Colombia Británica, contiene germoplasma importante para las industrias maderera y pecuaria. Una de las poblaciones situadas más al norte de pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*), otra especie maderable importante, está en la reserva, como también varias especies forrajeras de tierra seca (Foster 1984).

Los conservacionistas preocupados con la preservación de la diversidad genética de las especies cultivadas y de sus parientes silvestres desgraciadamente han llegado a la escena bastante tarde con respecto al establecimiento de parques y reservas de la naturaleza. Se dan cuenta, cada vez con mayor frecuencia, de que lo más probable es que los gobiernos destinen zonas para uso no comercial, cuando se trata de salvaguardar los recursos genéticos de las especies cultivadas y sus parientes. Los recursos genéticos vegetales podrían, en algunos casos, proporcionar el argumento decisivo para que se reserve un territorio que, de otro modo, podría destinarse a una mina, a un asentamiento o a una reserva. Los parientes cercanos de las plantas cultivadas podrían ser la vanguardia para la conservación de algunas zonas naturales, de la misma manera como los pandas ayudan a generar apoyo y recursos financieros para una gran variedad de animales menos conocidos, o desconocidos. En otras palabras, la conservación de los recursos genéticos de las plantas agrega una dimensión importante al movimiento de conservación.

En la designación de muchas reservas se incluye hoy día la conservación genética como una justificación, pero la mayoría de estas reservas ni siquiera posee una lista de las especies vegetales que contienen y menos un inventario exacto, mapas de las principales especies, o una idea de la diversidad representada. La variabilidad entre las poblaciones no se ha estudiado adecuadamente y los antecedentes científicos para el establecimiento de reservas para la conservación genética de los parientes de las especies cultivadas son escasos (Ingram y Williams 1984; IBPGR 1985c). La *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (Unión Internacional para la Conservación de los Recursos Naturales) y el *World Wildlife Fund* (Fondo para la Vida Salvaje del Mundo) ahora reconocen estos problemas y podemos esperar un resurgimiento de la actividad científica basada en un trabajo de campo prolongado y detallado. Pero tomará por lo menos una década para que ocurra un impacto sobre la conservación y monitoreo de los parientes de las especies cultivadas, en los acervos genéticos de las especies forestales y en plantas como las frutas tropicales y el caucho.

Es evidente que la controversia *in situ/ex situ* no debe verse como una proposición en la cual hay que elegir una u otra alternativa. El debate sobre este tema tendrá mejores bases cuando se tengan a mano argumentos científicos más firmes y se contemplen las alternativas desde una perspectiva histórica y geográfica.

Debemos recordar que las razas nativas han sido abandonadas desde los albores de la agricultura. Los agricultores son plenamente capaces de tomar decisiones racionales: abandonan un cultivar cuando pueden disponer de uno mejor. No se les puede obligar a adoptar variedades modernas. En lugar de tratar de resucitar las

razas nativas abandonadas, sus semillas y clones deben protegerse en bancos genéticos para poder proporcionar una reserva genética a los mejoradores, de ahora y del futuro (Frankel y Soulé 1981:182; Prescott-Allen y Prescott-Allen 1982b:81; Swaminathan 1983:8). Además, muchas regiones del Tercer Mundo desconocen todavía la agricultura moderna. Extensas zonas de los países en desarrollo están todavía sembradas con variedades tradicionales. Muchos cultivos importantes para la subsistencia en el Tercer Mundo, como la yuca y los diversos millos, apenas han sido afectados por los programas científicos de mejoramiento. El patrimonio genético de nuestras plantas cultivadas debe recogerse y protegerse en bancos genéticos antes de que desaparezca. Los bancos genéticos pueden ser la única esperanza para muchas especies silvestres también; a pesar de los esfuerzos para instalar parques en los países en desarrollo, muchos de estos parques han sido invadidos por los colonos y socavados para proyectos de desarrollo.

NOTAS

- 1 En el Apéndice 1 se presenta información sobre la fecha de fundación y mandato del ICARDA y de otros centros internacionales de investigación agrícola dentro del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional.
- 2 Las técnicas de cultivo de tejidos para el almacenamiento de germoplasma se tratan más detalladamente en los Capítulos 5 y 6.

BIOTECNOLOGIA Y RECURSOS GENETICOS

Con la posible excepción de la fisión o fusión atómica, pocos temas científicos recientes han cautivado la imaginación del público o causado tanta excitación como la biotecnología. Sin duda parte de esta atención se debe a las inversiones de capital en empresas de biotecnología, pero también existe una creciente expectativa de que la biotecnología nos podrá proporcionar asombrosos productos nuevos así como adelantos médicos y nutricionales que mejorarán significativamente la vida diaria.

La biotecnología se ha definido como "el uso de organismos vivos o de sus componentes en procesos industriales" (NASULGC 1983). Una definición algo más precisa la proporciona Bravo (1984): "El uso de un sistema biológico para producir un producto, el uso de un sistema biológico como producto o el uso de las técnicas de biotecnología para proporcionar indirectamente un producto, proceso, o servicio." En términos amplios, la biotecnología incluye ideas y métodos derivados de la biología molecular y de la biología celular usando una serie de organismos, desde los microorganismos hasta el hombre e involucrando campos tan diversos como la ciencia alimentaria y la medicina. No es correcto equiparar la biotecnología con la ingeniería genética, que es sólo un subcampo de la biotecnología; un campo en el cual se han hecho notables progresos en microbiología y medicina mediante la alteración de bacterias y levaduras a través de la transferencia de ADN. Estos microorganismos se han transformado en minifábricas para producir insulina, interferones y otros fármacos.

Muchos creen que los progresos alcanzados en biotecnología desempeñarán una función importante en el mejoramiento de los cultivos y en la conservación de los recursos genéticos. Estamos de acuerdo con esta apreciación y en este capítulo tratamos algunos de los puntos positivos y de los problemas potenciales de la aplicación de la biotecnología a la conservación y utilización de germoplasma. Recalcamos

la necesidad de que exista una coparticipación entre los biotecnólogos, los fitomejoradores y los especialistas en germoplasma para facilitar el mejoramiento continuo de los cultivos para beneficio del género humano.

Dos progresos muy importantes, con consecuencias para la agricultura, se han obtenido a través de la ingeniería genética: la obtención de clones de un gen para una proteína de la fiebre aftosa, lo que constituye el primer paso para la producción de una vacuna y la obtención de clones de una copia ADN del viroide PSTV de la papa en *E. coli*. Usando una sonda de ADN, se puede ahora determinar en el tejido de la papa la presencia del organismo patógeno. El Centro Internacional de la Papa (CIP) usa esta sonda de ADN para seleccionar materiales destinados al almacenamiento o intercambio de germoplasma (Figura 5.1).

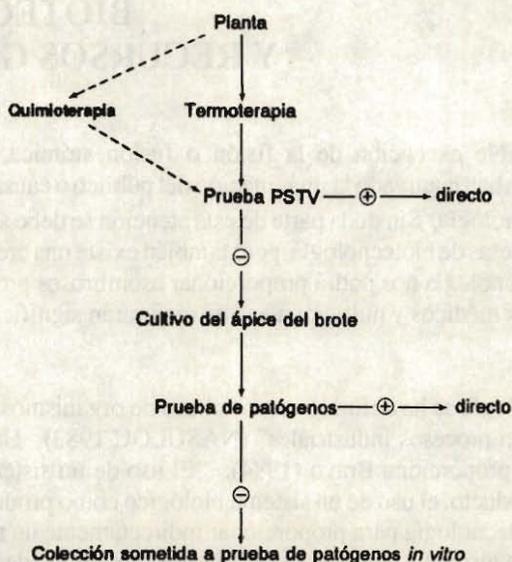


Figura 5.1. Procedimiento de limpieza para el material de papa destinado al almacenamiento o intercambio de germoplasma en el Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. El signo + significa que se ha detectado la presencia de patógenos; el signo -, que no se ha detectado la presencia de patógenos.

Biotecnología y fitomejoramiento

El fitomejoramiento ha usado los avances de las investigaciones en biología celular durante años. Aplicaciones tales como el cultivo de células y de tejidos han sido muy útiles para el mejoramiento de varias especies, un tema al cual regresaremos posteriormente en este capítulo. Por ahora nos limitaremos a una discusión de los aspectos de biología molecular de la biotecnología, comúnmente denominados "ingeniería genética".

La ingeniería genética puede operar en tres niveles básicos de complejidad en las plantas: (1) introducción de un gen extraño que se expresa en todo momento y en todos los órganos; (2) introducción de genes de control que funcionan durante los estados o épocas específicos de desarrollo; y (3) inserción de genes para caracteres múltiples. La mayor parte del trabajo en ingeniería genética actualmente se confina al primer nivel; el conocimiento es todavía demasiado limitado para manejar el segundo y el tercero (Bogorad 1983). Se requiere mucha investigación básica antes de poder implementar los últimos dos niveles y es en ellos que se espera lograr mayores progresos.

En las plantas superiores, la transferencia de genes únicos que confieren resistencia a ciertas enfermedades o plagas específicas, o tolerancia a los estreses ambientales, podría tener un impacto en el mejoramiento de cultivos dentro de cinco o diez años. Con todo, sin embargo, no es probable que los cambios de genes individuales en las plantas cultivadas aumenten el rendimiento o la calidad de manera significativa durante mucho tiempo. El efecto de la resistencia de un gen único es generalmente efímero porque la naturaleza dinámica de las plagas y de los organismos patógenos produce generalmente nuevas estrategias para superar esta resistencia.

La biotecnología para tener éxito debe poder identificar, aislar y cambiar genes específicos, así como asegurar su apropiada expresión en el cultivo objetivo. Nuestros actuales conocimientos acerca de lo que hacen ciertos genes específicos y dónde están ubicados son todavía demasiado escasos para permitirnos hallar y mover estos genes deseables. La proyección en un mapa de los genes de las especies es una tarea formidable; cada planta cultivada contiene entre uno y diez millones de genes (Shebeski 1983). Los cultivos mejor estudiados en términos de mapas genéticos son la arveja y el maíz y sólo se pueden ubicar exactamente unos 170 genes en el maíz. En comparación, en 1935 se conocían más de 300 genes del maíz y cerca de 60 se podían identificar en los cromosomas (Phillips 1984). Se necesitan mapas detallados de los cromosomas de cada especie y de sus parientes silvestres y aun de las plantas no relacionadas, si se desea lograr una transferencia eficaz de los genes. Dichos mapas de cromosomas requieren muchas investigaciones antes de poder llevar a cabo siquiera una pequeña parte del trabajo.

Aun cuando se logre establecer con precisión tanto la ubicación como la acción de los genes específicos a través de sondas más apropiadas, las técnicas de transferencia son demasiado rudimentarias para ser eficaces en la mayoría de las especies

cultivadas. Los plásmidos, diminutos paquetes de genes extras-nucleares en el citoplasma celular, son actualmente los vectores más comúnmente usados para la transferencia de genes, aunque se pueden usar sólo con plantas dicotiledóneas¹. En la mayoría de los casos su uso no ha tenido éxito en plantas monocotiledóneas, un serio inconveniente si se considera que las principales especies alimenticias del mundo (trigo, arroz, maíz, sorgo y cebada) son monocotiledóneas.

Algunos estudios recientes llevados a cabo en los Países Bajos señalan que el plásmido Ti de una bacteria que forma agallas, un plásmido que se usa comúnmente como vector en las dicotiledóneas, puede transferir información genética en miembros de las familias amarilidáceas y lileáceas, que son monocotiledóneas (Slogteren Van-Hooykaas *et al.* 1984). Aunque esto sea un avance significativo, queda por verse si los plásmidos Ti, u otros vectores, pueden repetir la misma hazaña en las gramíneas. Se ha logrado la transferencia directa de genes en algunas gramíneas sin usar ningún vector, un adelanto promisorio (M.G.K. Jones 1985). Pero queda mucho trabajo por hacer en el establecimiento de sistemas para el aislamiento, cultivo y regeneración de las plantas a partir de los protoplastos; estamos todavía algo lejos de obtener una planta transformada a partir de la "sopa" contenida dentro de las membranas celulares.

Los científicos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) están vigilando los experimentos de la Universidad de Illinois en los cuales el polen de maíz se remoja en una solución que contiene ADN de parientes silvestres (*Tripsacum* spp.) antes de colocar el polen recubierto de ADN en las hebras del maíz. Aunque haya fertilización, sin embargo, en este estado todavía no se sabe si algún ADN extraño se habrá introducido por azar en el embrión. Los científicos australianos también están experimentando con la transferencia en tubo del polen de genes extraños (Peacock 1984).

Todavía no posemos medios confiables para determinar si un ADN extraño puede ser incluido en el genoma de una planta y expresarse en una forma útil. Para comprobar la inclusión y la expresión se requerirá una estrecha relación entre los biotecnólogos, quienes tienen las habilidades y la experiencia necesarias en biología molecular y celular, los fitomejoradores y los especialistas en especies vegetales, quienes son expertos en la manipulación de toda la planta y su evaluación en el campo.

Aunque un gen extraño pueda funcionar en una planta cultivada, es necesario controlar su expresión para que las características deseables sean evidentes al tiempo correcto. Por ejemplo, los genes *nif*, que participan en la fijación del nitrógeno, han sido transferidos a ciertas bacterias, donde funcionan esporádicamente en algunas y no funcionan en otras (Bravo 1983). Bárbara McClintock recibió un Premio Nobel en medicina por su trabajo en la expresión de genes en el maíz, pero nosotros todavía tenemos mucho que aprender acerca de qué hace funcionar o no a los genes (Swaminathan 1984b).

Se requiere más investigaciones sobre la expresión de los mecanismos genéticos antes de que la ingeniería genética nos pueda ofrecer retribuciones significativas en el mejoramiento de los cultivos. El atributo más importante de una planta cultivada, el rendimiento económico de un producto útil, está gobernado generalmente por varios genes que operan juntos; la resistencia a las sequías en el trigo, por ejemplo, depende de varios genes que interactúan, como también la tolerancia a la salinidad en los cultivos (Hawkes 1983:95). En el caso de la fijación de nitrógeno en las leguminosas, participan 17 genes *nif* en relación simbiótica entre las bacterias *Rhizobium* y las raíces de la planta hospedante. La idea de que los cereales se podrán autofertilizar con nitrógeno mediante la adición de genes *nif*, es atractiva pero improbable en un futuro cercano.

Muchos de los progresos de la biotecnología todavía dependen de los experimentos de prueba y error para cada especie. Este enfoque empírico se tornará menos importante a medida que se obtenga más información sobre algunos procesos específicos de la vida, pero por algún tiempo será necesario elaborar técnicas para manejar y manipular las plantas especie por especie.

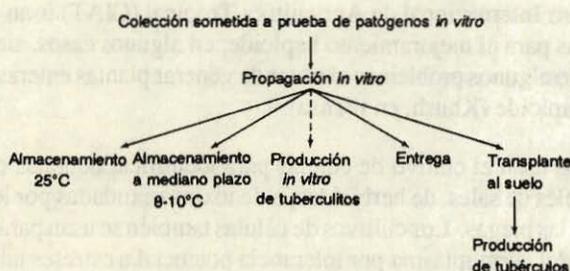


Figura 5.2. Uso de la colección que ha sido sometida a pruebas de patógenos en el Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú.

Cultivo de células y de tejidos

En tanto que la transferencia del ADN a las plantas superiores por medio de la ingeniería genética es difícil de llevar a cabo y de comprobar, por lo menos hasta que se realicen más investigaciones básicas, las técnicas de cultivo de tejidos y de células, llamadas comúnmente cultivos *in vitro*, son ya herramientas útiles para la agricultura. Las técnicas de propagación y multiplicación rápidas, usando partes de la planta como callos (masas indiferenciadas de células en tubos o frascos de prueba con las cuales se puede inducir el cultivo de plantitas) o yemas, y ápices de yemas que también se pueden cultivar para obtener plantas para sembrar en el campo, actualmente se emplean lucrativamente en el mejoramiento de cultivos. El cultivo de ápices de yemas y el cultivo de yemas también se usan para el intercambio de germoplasma y para la conservación a corto plazo. CIP, por ejemplo, comúnmente usa el cultivo de tejidos para preparar y distribuir el germoplasma de papa, previa-

mente evaluado con respecto a organismos patógenos, destinado al almacenamiento o al embarque (Figura 5.2).

Otras instituciones como *Hawaiian Sugar Planters' Association* (Asociación de Sembradores de Azúcar Hawaianos), el CIMMYT y otras organizaciones usan el cultivo de tejidos para rescatar embriones de cruzamientos que de otro modo podrían perecer. El cultivo de anteras o de polen se emplea para desarrollar plantas haploides o haploides dobles que contienen sólo el conjunto de cromosomas masculinos. Las plantas haploides se pueden usar para producir plantas homocigotas, lo que significa que son uniformes en sus características genéticas y son más fáciles de usar para identificar los caracteres recesivos indeseables y para fijar los caracteres deseables (Schroder y Schell 1983). Las plantas haploides pueden acelerar el proceso de mejoramiento porque los duplicados haploides son 100 por ciento homocigóticos, o sea, toda la progenie de estas plantas comparte los mismos caracteres en una generación, en contraposición a la lentitud de la autofecundación o del retrocruzamiento que generalmente se requieren para el fitomejoramiento convencional. Los chinos han usado el mejoramiento haploide para desarrollar variedades nuevas de arroz, trigo y maíz (Swaminathan 1984b). El *International Rice Research Institute* (IRRI) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) usan también el cultivo de anteras para el mejoramiento haploide; en algunos casos, sin embargo, se han encontrado algunos problemas al tratar de generar plantas enteras a partir de tejido de callo haploide (Khush, en prensa).

Los científicos usan el cultivo de células para identificar aquellas células que toleran altos niveles de sales, de herbicidas, o de toxinas exudadas por los organismos patógenos y las plagas. Los cultivos de células también se usan para el examen selectivo rápido del germoplasma por tolerancia potencial a estreses tales como la salinidad y los herbicidas. La variación somaclonal (variación natural, o como algunos piensan, variación inducida que ocurre cuando las células, cultivadas en cultivo de tejidos o de células, se transforman en plantas enteras diferenciadas) se está actualmente explorando como una posible fuente de variación para el fitomejoramiento. En el IRRI, por ejemplo, los mutantes útiles de arroz obtenidos a través de la variación somaclonal han sido seleccionados de variedades tradicionales tolerantes a la salinidad (Khush, en prensa). Los científicos del CIAT están estudiando algunas líneas de yuca que han mutado *in vitro* por caracteres posiblemente útiles.

En la fusión de protoplastos, otra área de investigación activa de la biotecnología, el contenido celular de dos plantas, relacionadas o pertenecientes a diferentes especies se fusiona. Al realizar esta unión, las membranas de la célula se rompen químicamente sin dañar su contenido. Esta técnica ha permitido a los científicos de Japón transformar algunas plantas medicinales. Aunque se haya logrado la fusión de plantas muy dispares con el cultivo de células, la generación de organismos enteros transformados ha resultado muy difícil en la mayoría de los casos. Además, se obtiene menos control sobre la transferencia de genes deseables con la fusión de protoplastos que con el uso de vectores; falta que la técnica produzca resultados útiles en los principales cultivos, como los cereales y las leguminosas de granos

(Burgess 1984). La técnica es similar a barajar torpemente dos paquetes de naipes: algunas cartas se dejan fuera de la nueva baraja en tanto que las otras se incorporan al azar. A menos que se pueda lograr más control, la fusión de protoplastos producirá probablemente resultados extraños y rarezas, más que una variación valiosa.

Mutación inducida

Las mutaciones inducidas por medio de productos químicos o por radiación no son una tecnología tan nueva como la ingeniería genética, pero pueden considerarse una forma de la biotecnología porque su objetivo es transformar organismos vivos. El tratamiento de las semillas con rayos gama se ha intentado con algún éxito en varios cultivos durante algunas décadas. Aunque no todos los mutantes hayan resultado útiles, la lista de cultivares de plantas, derivados de mutaciones inducidas es notable (Konzak 1984; Konzak *et al.* 1984; Miche *et al.* 1985).

Se ha logrado progresar en el mejoramiento de cultivos, en varios frentes, mediante mejoramiento por radiación y mutación, incluyendo resistencia a las enfermedades, madurez temprana, tolerancia a los problemas de suelos y mejor calidad de la planta.

En arroz, los beneficios obtenidos con la mutación inducida incluyen algunos caracteres que se heredan simplemente y que son generalmente controlados por genes recesivos únicos, especialmente el semienanismo, la madurez temprana, el endosperma céreo y la esterilidad genética masculina (Rutger 1983). La mutación inducida se ha tornado recientemente importante en el desarrollo de progenitores útiles para los programas de hibridación. En 1982, 45 cultivares de arroz habían sido desarrollados por radiación directa o mediante cruzamiento con mutantes inducidos. En Indonesia, el tratamiento con rayos gama de líneas de arroz mejoradas, derivadas de Pelita I, condujo a la liberación de un cultivar de alto rendimiento, Atomita 2, que resiste los biotipos 1 y 3 de la chicharrita parda, tolera los suelos salinos y posee buenas calidades para el consumo humano (IRRI 1984:47).

La radiación también se ha usado con éxito para romper los cromosomas en segmentos que posteriormente pueden ser unidos a otros cromosomas. En el caso de la resistencia a la roya foliar, por ejemplo, se ha transferido el gen responsable de una gramínea silvestre (*Aegilops umbellulata*), al trigo del pan (*Triticum aestivum*) (Shebeski 1983). Los productos químicos, como MNU (N-metilico-N-nitrosourea), también se han usado para inducir mutaciones y roturas cromosómicas, pero hasta el presente las retribuciones han sido modestas.

Preservación de germoplasma

El cultivo de tejidos ya ha producido beneficios en la preservación de germoplasma, especialmente para las especies propagadas vegetativamente. Este adelanto es

especialmente importante para las numerosas plantas tropicales, como la yuca, la batata y el ñame (*Dioscorea* spp.), que se siembran en estacas. Por lo tanto, a falta de medidas alternativas, se requieren siembras de campo para preservar el germoplasma. Para la mayoría de las plantas anuales propagadas vegetativamente, se debe resembrar cada año, para mantener el germoplasma y para mantenerlo relativamente libre de enfermedades, lo que constituye un proceso lento y costoso.

La preservación por cultivo de tejidos se está usando o probando con varios cultivos, con cierto grado de éxito. Se han almacenado clones de yuca, batata, papa y café como plantitas en tubo de ensayo hasta por dos años (Kartha *et al.* 1981). La mayor parte del almacenamiento de germoplasma en tubos de ensayo depende del crecimiento lento o restringido de la muestra de cultivo. El almacenamiento de crecimiento lento puede involucrar la manipulación del ambiente del tubo de ensayo, induciendo estrés osmótico en el medio de crecimiento, proporcionando nutrimentos en cantidades subóptimas o excesivas, empleando sustancias retardadoras del crecimiento, reduciendo la temperatura y la intensidad de la luz, o aumentando los períodos de oscuridad (Wetter 1984). Tales técnicas se pueden usar solas o en diversas combinaciones. La mayoría de los cultivos de tejidos se mantienen en una escala de 23-25°C; el almacenamiento de crecimiento lento puede tener temperaturas de hasta 5-15°C. En CIAT, el germoplasma de yuca en almacenamiento de cultivo de tejidos se mantiene a 25°C durante el día bajo 500 lux de iluminación fluorescente y 15°C durante la noche. En tales condiciones controladas, los clones de yuca se pueden almacenar por 18 a 24 meses.

El problema con el uso del cultivo de tejidos para la preservación de germoplasma es la posible ocurrencia de variación somaclonal en el callo y en los cultivos de suspensión celular así como en los tejidos organizados como ápices de la yema (Walbot y Cullis 1985). Tal variación es posiblemente positiva para los mejoradores pero constituye una pesadilla para los especialistas en germoplasma que desean evitar los cambios genéticos en el almacenamiento en tubos de ensayo (Bajaj 1979; Withers 1980; Scowcroft 1984). La magnitud de la variación genética inducida en la papa varía según el sistema de cultivo *in vitro* (Figura 5.3). La variación es menos pronunciada en el cultivo de ápices de la yema, pero aumenta notoriamente con el cultivo de callos y de células aisladas. Claramente se necesitan más investigaciones sobre las variantes producidas en los cultivos de yemas y de ápices de la yema, antes de reducir los bancos genéticos de campo, en escala o en alcance, a favor de las colecciones *in vitro* a corto plazo.

La preservación de germoplasma en el cultivo de tejidos será mucho más efectiva cuando se perfeccionen las técnicas de almacenamiento a largo plazo. Se está explorando la preservación a temperaturas ultra-bajas de alrededor de -196°C, comúnmente llamada criopreservación, como una técnica de "cero crecimiento" para el almacenamiento de germoplasma. A estas bajas temperaturas, la actividad biológica prácticamente cesa, de manera que no debe ocurrir ningún cambio genético durante el almacenamiento. Los principales problemas se refieren a la supervivencia de los ápices de la yema y de las yemas a temperaturas tan bajas y a la regeneración de

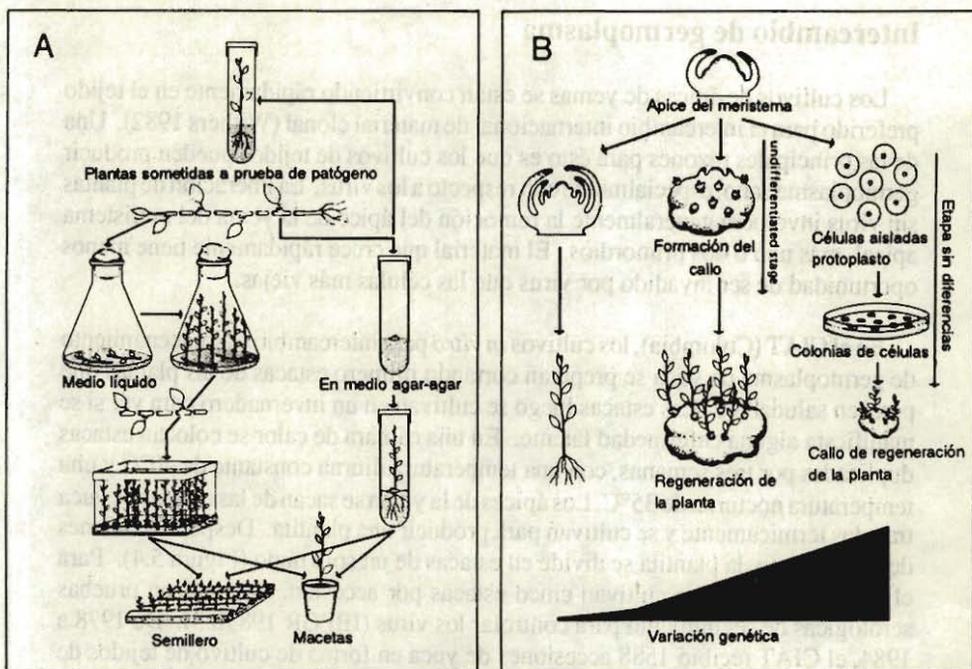


Figura 5.3. El cultivo de tejidos de papa y de otras raíces se ha transformado en una herramienta importante de uso rutinario: **A.** Método de propagación *in vitro* para la papa. **B.** Variación genética en papa con diferentes procedimientos *in vitro*. (Cortesía del Centro Internacional de la Papa).

plantas vigorosas. Los tejidos embrionarios de la palma datilera y de la palma de aceite africana han sobrevivido a las temperaturas del nitrógeno líquido por ocho meses (Wetter 1984). Para ayudar a poner el germoplasma delicado en el almacenamiento a temperatura ultra baja, se utilizan los crioprotectores y la congelación rápida. La mayoría de los crioprotectores actúan esencialmente como agentes anticongelantes para los tejidos vegetales.

El almacenamiento criogénico ayudará a reducir el cambio genético que se produce con el tiempo. Se necesitan experimentos a largo plazo para determinar si ocurren alteraciones genéticas en la criopreservación y el IBPGR ha iniciado un proyecto de investigación en esta área. Los experimentos realizados hasta ahora han sido exitosos para el almacenamiento de dos años de la papa y del garbanzo (Bajaj 1983). A pesar de las dificultades que se presentan en el manejo del almacenamiento criogénico, los cultivos de ápices de yemas son preferidos para el almacenamiento a largo plazo porque son más estables, más fáciles de regenerar en forma de plantas y pueden usarse para producir material sano.

Intercambio de germoplasma

Los cultivos de ápices de yemas se están convirtiendo rápidamente en el tejido preferido para el intercambio internacional de material clonal (Withers 1982). Una de las principales razones para ésto es que los cultivos de tejidos pueden producir germoplasma sano, especialmente con respecto a los virus. La liberación de plantas sin virus involucra generalmente la remoción del ápice de la yema del meristema apical, más uno o dos primordios. El material que crece rápidamente tiene menos oportunidad de ser invadido por virus que las células más viejas.

En el CIAT (Colombia), los cultivos *in vitro* para intercambio o almacenamiento de germoplasma de yuca se preparan cortando primero estacas de las plantas que parecen saludables. Las estacas luego se cultivan en un invernadero para ver si se manifiesta alguna enfermedad latente. En una cámara de calor se colocan estacas duplicadas por tres semanas, con una temperatura diurna constante de 40°C y una temperatura nocturna de 35°C. Los ápices de la yema se sacan de las estacas de yuca tratadas térmicamente y se cultivan para producir una plantita. Después de un mes de crecimiento, la plantita se divide en estacas de un solo nudo (Figura 5.4). Para el almacenamiento, se cultivan cinco estacas por accesión. Se realizan pruebas serológicas de seguimiento para controlar los virus (IBPGR 1983b:3). De 1978 a 1984, el CIAT recibió 1588 accesiones de yuca en forma de cultivo de tejidos de otras colecciones (CIAT 1985:39). Las técnicas *in vitro* de eliminación de enfermedades proporcionan una nueva y potente herramienta para garantizar un intercambio internacional seguro de germoplasma, especialmente para las especies propagadas vegetativamente o para las plantas en las cuales se sabe que la transmisión vírica ocurre a través de la semilla.

En el futuro, todas las naciones que intercambian germoplasma necesitarán instalaciones asépticas especiales para la transferencia estéril de germoplasma vegetal. La obtención de germoplasma libre de organismos patógenos depende no sólo de las adecuadas técnicas de cultivo de tejidos sino también de los métodos confiables de indexación de enfermedades (identificación y diagnóstico). Para algunos cultivos, se dispone de métodos de indexación de enfermedades, pero para otros todavía tienen que desarrollarse. Los anticuerpos monoclonales, actualmente uno de los productos más útiles de la investigación con ADN recombinante, prometen ser una importante herramienta para controlar la presencia de organismos patógenos en el germoplasma en el futuro próximo. Los centros internacionales de investigación agrícola ya utilizan métodos *in vitro* para enviar materiales élite (líneas avanzadas y mejoradas) a colegas alrededor del mundo. Desde principios de 1985, por ejemplo, el CIAT ha enviado cincuenta variedades élite de yuca a países de América Latina y del sudeste asiático (CIAT 1985:39). El almacenamiento de germoplasma en cultivos de tejidos en vez de campo es doblemente ventajoso: no sólo rebaja los costos por tratarse de un material más liviano que estacas o tubérculos. Otro beneficio es el rendimiento generalmente mayor de las plantas de yuca provenientes del cultivo de tejidos, probablemente porque están más libres de enfermedades (CIAT 1984a).

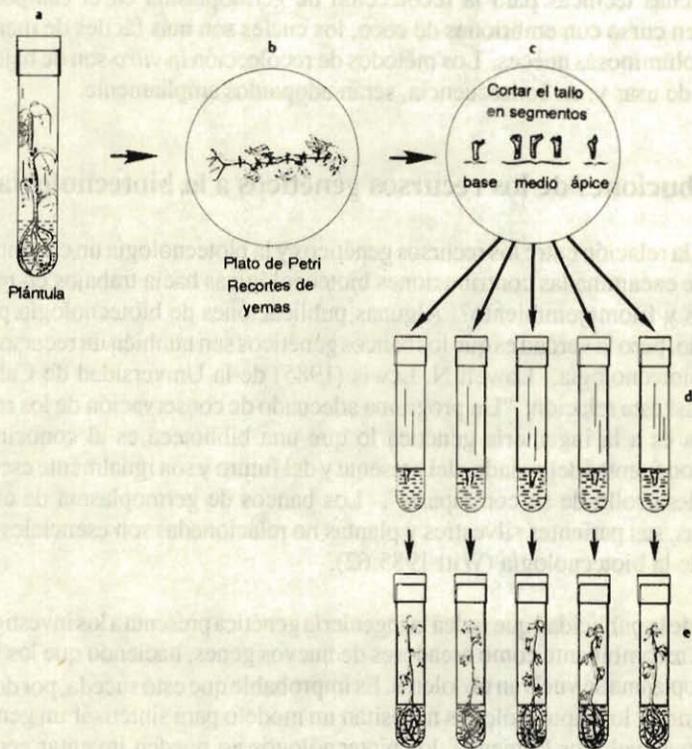


Figura 5.4. Procedimientos para la preparación de colonias de yuca para el almacenamiento de cultivo de tejidos y para intercambio, en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, cerca de Cali, Colombia. (Roca *et al.*, 1984).

A pesar de los logros obtenidos en el mantenimiento de germoplasma en tubos de ensayo y en la indexación de enfermedades en cultivos de tejidos, algunos procedimientos cuarentenarios obsoletos obstaculizan la eficacia del intercambio de germoplasma *in vitro*. Muchas estaciones de cuarentena no tienen los equipos ni el conocimiento suficiente acerca de las técnicas *in vitro* para manipular y procesar los materiales en tubos de ensayo con seguridad. En tales circunstancias, se necesita una indexación de enfermedades que sea rápida, de bajo costo y exacta; sólo de esta manera se pueden satisfacer las reglamentaciones de control y permitir que el valioso germoplasma llegue a las manos de los mejoradores.

Además del intercambio y almacenamiento de germoplasma, las técnicas *in vitro* tendrán una función en la recolección de material propagado vegetativamente en el campo así como en la preservación de algunas especies con semilla recalcitrante. En cacao y en yuca, se está probando la pronta colocación de ápices de yemas y de estacas de yemas, en cultivos *in vitro*, después de una limpieza preliminar, con miras

a usar dichas técnicas para la recolección de germoplasma en el campo. Hay trabajos en curso con embriones de coco, los cuales son más fáciles de manipular que las voluminosas nueces. Los métodos de recolección *in vitro* son de bajo costo y fáciles de usar y, en consecuencia, serán adoptados ampliamente.

Contribuciones de los recursos genéticos a la biotecnología

¿Será la relación entre los recursos genéticos y la biotecnología un camino de vía única que encamina las contribuciones biotecnológicas hacia trabajos en recursos genéticos y fitomejoramiento? Algunas publicaciones de biotecnología parecen aseverarlo, pero la verdad es que los bancos genéticos son también un recurso básico para la biotecnología. Lowell N. Lewis (1985) de la Universidad de California expresó así esta relación: "Un programa adecuado de conservación de los recursos genéticos es a la ingeniería genética lo que una biblioteca es al conocimiento. Ambos son fuentes del pasado, del presente y del futuro y son igualmente esenciales para el desarrollo de su contraparte". Los bancos de germoplasma de especies cultivadas, sus parientes silvestres y plantas no relacionadas son esenciales para el avance de la biotecnología (Witt 1985:62).

Parte de la publicidad que rodea la ingeniería genética presenta a los investigadores en ADN recombinante como creadores de nuevos genes, haciendo que los bancos de germoplasma se vuelvan obsoletos. Es improbable que esto suceda, por dos razones. Primero, los biotecnólogos necesitan un modelo para sintetizar un gen. En el momento actual, por lo menos, los biotecnólogos no pueden inventar genes; los genes pueden sólo ser cambiados y copiados entre ciertos organismos. Segundo, los ingenieros genéticos continuarán dependiendo, para sus experimentos en el futuro previsible, en gran medida de los genes que ocurren naturalmente. Los bancos genéticos por lo tanto están destinados a constituir un importante coto de caza para los cazadores de genes.

La biotecnología depende en gran medida de los curadores o guardadores de los bancos genéticos, quienes dicen cuál germoplasma está disponible, cuáles son sus características y problemas, dónde se mantienen las colecciones y cómo tener acceso a ellas. Para muchos cultivos, la principal contribución de la biotecnología durante los próximos diez años consistirá en el mayor uso de las plantas cultivadas como lema de investigación. Dicha investigación asegurará la obtención de nueva información sobre los principales cultivos y probablemente ayudará a superar problemas como la falta de sistemas efectivos de vectores de ADN en las monocotiledóneas y de técnicas confiables de fusión de protoplastos para los principales cereales, raíces, comestibles y leguminosas de granos.

Es probable que para algunos trabajos de biotecnología, la disponibilidad de un catálogo confiable y bien preparado sobre las posesiones de germoplasma sea la referencia más importante en relación con los cultivos. Los bancos genéticos deben estar preparados para apoyar a los biotecnólogos con germoplasma evaluado que

presente una variedad de caracteres que pueden ser útiles para los estudios moleculares y celulares (Cuadro 5.1). Los expertos en cultivos pueden ayudar a los biotecnólogos, proporcionando información sobre los principales problemas de producción y cooperando en la evaluación de toda la planta.

El desarrollo futuro de la investigación en biotecnología está en un enfoque de equipo que abarque diversas disciplinas. Precisamente en la forma como los biotecnólogos aportan habilidades especiales en biología molecular y celular, así como en bioquímica, los expertos en cultivos contribuyen con información acerca de toda la planta y el ambiente competitivo de los cultivos en el campo. Los científicos en agricultura también suministran sus cruciales conocimientos acerca de las condiciones agrícolas apropiadas para cada especie, incluyendo factores de suelo y agua, así como datos acerca de las malezas, de la biología y de la dinámica de las poblaciones de plagas y enfermedades. Los especialistas en cultivos también proporcionan insumos importantes con respecto a los aspectos genéticos de la planta, a la selección y a las características del germoplasma, así como a los métodos de investigación de campo y a los análisis estadísticos necesarios para evaluar las plantas cultivadas en condiciones de campo. Los ingenieros genéticos necesitan la colaboración de fitomejoradores competentes para obtener productos finales que sean agrónomicamente apropiados y económicamente ventajosos (Chang 1984b).

Cuadro 5.1.

Variedades autóctonas de arroz con caracteres especiales mantenidas en bancos genéticos en programas nacionales y en el *International Rice Research Institute* (IRRI 1980).

| Caracteres | Muestras |
|---------------------------------------|--------------|
| Tolerante a la salinidad | 345 |
| Tolerante al aluminio | 290 |
| Tolerante a la acidez | 216 |
| Tolerante a la alcalinidad | 324 |
| Tolerante al hierro | 16 |
| Tolerante a la deficiencia de hierro | 3 |
| Tolerante a la deficiencia de fósforo | 3 |
| Resistente a la sequía | 2 807 |
| Tolerante a las inundaciones | 776 |
| Tolerante al frío | 671 |
| Tolerante a los nematodos | 5 |
| Resistente a las enfermedades | 1 634 |
| Resistente a los insectos | 633 |
| Tipos aromáticos | 122 |
| Semiananos | 84 |
| Resistente a los roedores | 10 |
| Usos medicinales | 13 |
| TOTAL | 8 025 |

Fuente: IRRI 1980

NOTAS

- 1 Las monocotiledóneas y las dicotiledóneas son las dos grandes divisiones del mundo vegetal que se multiplican por semilla y están separadas por muchas diferencias anatómicas. Sus nombres se deben a que las dicotiledóneas producen dos hojas al germinar la semilla, en tanto que las monocotiledóneas, como las gramíneas y las palmas, sólo producen una.

GENES EN LOS BANCOS

En este capítulo presentamos un informe sobre el estado general de las colecciones de germoplasma de las principales especies cultivadas. Nuestro enfoque es necesariamente estadístico, pero también analizamos las brechas que se presentan en las colecciones y en la evaluación y la ubicación de las colecciones. Deseamos enfatizar que el poseer numerosas accesiones no indica necesariamente que una planta haya sido coleccionada adecuadamente. El grado de redundancia y exhaustivo de las colecciones varía considerablemente entre las diferentes especies. Por otra parte, el tamaño de las colecciones y el grado de cobertura de las razas nativas y parientes silvestres son sólo estimaciones aproximadas hechas por el personal del *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR), los curadores de los bancos genéticos y los fitomejoradores. Sin embargo, aunque las cifras disponibles sean sólo aproximaciones, sirven para hacerse una idea de qué tanto ha progresado la colección de germoplasma de las diferentes especies.

Más de 2.5 millones de accesiones de cultivos se mantienen actualmente en colecciones de germoplasma en todo el mundo, incluyendo 1.2 millones de accesiones de cereales, 369.000 accesiones de leguminosas alimenticias, 215.000 accesiones de leguminosas y gramíneas forrajeras, 137.000 accesiones de legumbres y 74.000 clones de plantas de tubérculos comestibles (Cuadro 6.1). Las especies cultivadas de mayor importancia económica, respaldada por vigorosos programas de investigación agrícola, son las que están mejor representadas en los bancos genéticos (Lyman 1984). Los cereales constituyen la mayor parte de los embarques internacionales de alimentos, tanto en volumen como en valor y, por lo tanto, no es sorprendente que sean también la principal categoría de los bancos genéticos. Las leguminosas de grano también son importantes comercialmente y se mantienen números considerables de éstas en los bancos genéticos de diferentes localidades. Y el gran número de accesiones de leguminosas y gramíneas forrajeras es un reflejo de la importancia que tiene la ganadería a nivel local y en los mercados internacionales.

La considerable redundancia que existe en las accesiones de cada especie es evidente al observar la columna de muestras diferentes del Cuadro 6.1. Para la mayoría, por lo menos la mitad de la colección combinada de germoplasma consiste de accesiones repetidas (Lyman 1984). Más de dos tercios de las accesiones de germoplasma de trigo del mundo son repeticiones. Es política del IBPGR que las colecciones básicas diseñadas para el almacenamiento a largo plazo mantengan duplicados de los materiales de las demás, como un seguro contra las pérdidas causadas por desastres naturales, errores humanos o disturbios de tipo político. Pero la repetición indiscriminada de una especie dada dentro de una misma colección, o el mantenimiento de toda la colección en lugares distintos, es costoso e innecesario. Los operadores de bancos genéticos, especialmente en los centros internacionales de investigación agrícola, tienen una considerable tarea entre manos, eliminando constantemente las muestras redundantes para afinar las colecciones y hacerlas más manejables.

Con respecto al estado de los bancos de germoplasma, se discute el tamaño, las condiciones de almacenamiento y la localización de las colecciones de cereales, raíces, leguminosas alimenticias y plantas industriales. Se ha seleccionado un corte arbitrario de mil accesiones con el objeto de que las cifras sean fáciles de manejar. Las cifras correspondientes a las accesiones de bancos genéticos son solamente aproximadas ya que constantemente se está agregando o transfiriendo material. Además, algunas de las instalaciones incluidas en la lista sobre instalaciones a mediano o largo plazo pueden funcionar intermitentemente o no funcionar por causas o problemas técnicos. Por otra parte, a causa de las inadecuadas condiciones de secamiento, enfriamiento y regeneración en ciertas localidades, la viabilidad de muchas accesiones es dudosa. Esto se debe parcialmente al hecho de que muchas colecciones ahora consideradas depósitos de conservación surgieron del esfuerzo de científicos que tenían metas distintas a la conservación. Sin embargo, las listas de accesiones proporcionan un marco útil para analizar la ubicación de estas colecciones y las posibles brechas de evaluación y colección.

Cereales

Los cereales son generalmente las especies vegetales mejor coleccionadas y el trigo ocupa el primer lugar de la lista en número de accesiones y agotamiento. El trigo, domesticado en el Medio Oriente, abarca aproximadamente 410.000 accesiones en cerca de 40 bancos genéticos. La mayoría de las razas nativas de trigo ya han sido recogidas, como también el 60 por ciento del germoplasma de sus parientes silvestres. Con la excepción de aquellas que crecen en algunas zonas dispersas, las razas nativas ya se habían coleccionado a finales de 1985, tal como se había anticipado (IBPGR 1984). Las colecciones más importantes de almacenamiento a largo plazo de germoplasma de trigo se concentran en las naciones industrializadas, especialmente en el *Vavilov All-Union Institute of Plant Industry* (NSSL) en Fort Collins, Colorado, y en el Instituto del Germoplasma en Bari, Italia (Cuadro 6.2). El *Plant Germplasm Institute* en la Universidad de Kyoto, Japón, mantiene una colección básica de parientes del trigo, principalmente especies de *Triticum* y

Aegilops. Los materiales de estas colecciones están disponibles y el IBPGR ayudó recientemente a repatriar materiales a países en desarrollo que habían perdido sus propias colecciones. En el Tercer Mundo, los mayores bancos genéticos de trigo se encuentran en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cerca de la ciudad de México y en el *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas* (ICARDA) cerca de Aleppo, Siria. El CIMMYT mantiene una colección a medio plazo con 31.000 trigos tropicales y triticales (un cruzamiento entre el trigo y el centeno), en tanto que ICARDA mantiene 16.500 muestras de trigo. Con ayuda del gobierno japonés, el CIMMYT completó en 1982 la construcción de las instalaciones para el almacenamiento a medio plazo de trigo, aumentando a cinco el número de tales instalaciones en el mundo en desarrollo (Cuadro 6.2). El ICARDA está construyendo una instalación de almacenamiento a medio plazo para su colección de germoplasma de trigo. Los mejoradores de trigo en todo el mundo todavía dependen considerablemente de la colección de granos pequeños de Beltsville, Maryland, EE.UU., para la obtención de materiales.

La cebada (*Hordeum vulgare*), con aproximadamente 280.000 accesiones en el mundo, ocupa el segundo lugar entre los cereales mejor coleccionados, con respecto al número de muestras contenidas en los bancos genéticos (Cuadro 6.1). Este antiguo cereal, el cual es mencionado en el Nuevo Testamento, en la narración acerca de la alimentación de cinco mil personas, y que en las culturas antiguas simboliza la inmortalidad o el renacimiento, fue domesticado en el Medio Oriente y se halla relativamente bien representado en los bancos genéticos. La mayoría de las accesiones se mantienen en países de clima templado (Cuadro 6.3), donde se cultiva principalmente para la elaboración de cerveza y para la alimentación del ganado; los residuos dejados después de la cosecha, tradicionalmente sirven para el pastoreo de ovejas y cabras en la región del Mediterráneo. En las tierras altas tropicales y en las zonas subtropicales más secas, la gente consume cebada en sopas y coladas. El Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT) en Brasil, el ICARDA en Siria y el CIMMYT en México mantienen las mayores colecciones de germoplasma de cebada del Tercer Mundo. Algunas cebadas toleran las sequías, las heladas y los suelos salinos y se pueden utilizar en amplios cruzamientos con otros cereales, especialmente con centeno y trigo. Todavía hay en las tierras altas tropicales algunas razas nativas que no han sido coleccionadas y sólo una quinta parte del germoplasma de los parientes silvestres de la cebada se encuentra en los bancos genéticos (Cuadro 6.1), lo que se debe en parte al gran número de especies silvestres de cebada y a su amplia distribución.

Cuadro 6.2 El trigo (*Triticum* spp.) en los bancos genéticos

| No. accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|----------------|------------------------|-------------|---------------------------------|
| 74 500 | M,L | VIR* | Leningrado, URSS |
| 39 003 | M | EUADA | Beltsville, Maryland, EE. UU. |
| 37 477 | L | NSSL* | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 31 144 | M | CIMMYT | El Batán, México |
| 31 000 | C | ARO | Bet Dagan, Israel |
| 26 000 | M,L | IG* | Bari, Italia |
| 22 100 | L | NSWDA | Tamworth, Australia |
| 20 000 | C# | CGI | Beijing, China |
| 16 596 | C# | ICARDA | Aleppo, Siria |
| 16 000 | C | IARI | New Delhi, India |
| 13 600 | C# | IPIGR | Plovdiv, Bulgaria |
| 10 875 | M,L | FAL | Braunschweig, Alemania Fed. |
| 10 000 | M,L | ZGK | Gatersleben, R.D. Alemana |
| 8 000 | C# | IHAR | Radzikov, Polonia |
| 7 201 | M,L | PGRC | Addis Abeba, Etiopía |
| 7 000 | C | CNPT | Passo Fundo, Brasil |
| 6 774 | M | PGI | Kioto, Japón |
| 6 000 | C | PICTP | Fundulea, Rumania |
| 6 000 | M | PARC | Islamabad, Pakistán |
| 5 000 | M,L | IGPB | Praga, Checoslovaquia |
| 4 852 | M,L | INTA | Pergamino, Argentina |
| 4 506 | M,L | PBI | Cambridge, Reino Unido |
| 4 200 | M,L | NIAS | Tsukuba, Japón |
| 4 000 | C | SPA | Wukung, China |
| 4 000 | M | ARARI | Menemen, Turquía |
| 4 000 | M | SVP | Wageningen, Países Bajos |
| 4 000 | M | NIAVT | Tapioszele, Hungría |
| 2 500 | C | INRA | Versailles, Francia |
| 2 000 | C | UC | Riverside, California, EE. UU. |
| 1 726 | M | DARS | Kabul, Afganistán |
| 1 221 | C | NBPGR | New Delhi, India |
| 1 200 | M | UNA | Lima, Perú |

Fuentes: Notas de campo del autor, más Bhatti *et al.* 1983; Chang 1985; Chen 1983; Chirakon *et al.*, 1983; Crop Germplasm Conservation and Use in China (Fundación Rockefeller, Nueva York 1980); Esquinas-Alcazar 1982; Plant genetic Resources Newsletter 49:13 (1982); Paris 1984; Hawkes 1985; IBPGR 1980, 1985d; IBPGR, Comité Regional para el Sudeste de Asia, Newsletter 4(2):7 (1980) y 4(3):5 (1980); ICARDA, 1984:15 IITA Research Briefs (International Institute of Tropical Agriculture, Ibadán, Nigeria), Vol. 6(2):4-5 (1985); Johson y Beemer 1977; Kyaw 1983; McDonald 1984; Mengesha 1984; Nge *et al.* 1983; Tay *et al.* 1984; Valls 1985; Xuan y Luat 1983; comunicaciones personales de L. N. Bass, D. Bondioli, F. Cárdenas ramos, L. Holly, F. E. López, G. R. Lovell, K. C. Nagel, W. H. Skrdla, D. H. Smith y J. Wynne.

Notas: Los rangos de temperatura de almacenamiento son: a corto plazo (C), de 6°C hasta temperatura ambiente; a medio plazo (M), 0°C a 5°C; a largo plazo (L), -10°C a 20°C. La mayoría de las colecciones a corto y mediano plazo han sido o serán puestas en almacenamiento a largo plazo en instituciones apropiadas. Ver el Apéndice 2 para lista de acrónimos y el Capítulo 4 para información adicional sobre condiciones de almacenamiento de gemoplasma.

*Colección básica diseñada por el IBPGR. # Instalación a largo plazo en construcción.

El arroz sigue de cerca a la cebada en cuanto al número de accesiones, si bien le gana en importancia en la nutrición humana y el comercio. Con un total global de 215.000 accesiones, el arroz es el tercero entre los cereales mejor representados en los bancos genéticos. El arroz es un alimento básico en gran parte del Tercer Mundo, especialmente en Asia, donde se domesticó el arroz común (*Oryza sativa*), y siete de los principales bancos de germoplasma de arroz se encuentran en países en desarrollo (Cuadro 6.4). Los principales bancos genéticos para las variedades tropicales de arroz se encuentran en el *International Rice Research Institute* (IRRI) en las Filipinas, el *Central Rice Research Institute* en India, el *Central Rice Research Institute for Food Crops* en Bogor, Indonesia, el *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA) en Nigeria y el *West Africa Rice Development Association* (WARDA) en Liberia. Japón y los Estados Unidos mantienen importantes colecciones de variedades de arroz de clima templado y actúan como respaldo de seguridad para los materiales del IRRI y del IITA.

Desde su creación, en 1960, IRRI ha reunido la mayor colección del mundo en arroz, y posee más del doble de las accesiones que posee la colección que ocupa el segundo lugar en cuanto a germoplasma de cereales. De las 78.800 accesiones del banco genético del IRRI, 73.300 son de *Oryza sativa*, 2900 de arroz africano (*O. glaberrima*), 1900 son especies silvestres y 700 son probadores genéticos y mutantes (T. T. Chang, com. pers.). El *International Rice Germplasm Center* en IRRI, es la mayor colección de germoplasma de cualquier especie cultivada y se considera una de las colecciones mejor administradas y un modelo para los esfuerzos futuros. Gran parte del crédito por la organización y cuidadoso mantenimiento de la colección de germoplasma de IRRI se debe a T.T. Chang (Figura 4.2), un genetista nacido en China continental y capacitado en los Estados Unidos. En reconocimiento a su dedicación a la conservación de germoplasma, el Dr. Chang ha recibido honores de la *American Society of Agronomy* y del *Institute of Biology* de Londres, y fue recientemente nombrado científico principal en el IRRI.

Cuadro 6.3 La cebada (*Hordeum* spp.) en bancos genéticos.

| No. de accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|-------------------|------------------------|-------------|---------------------------------|
| 25 284 | L | NSSL | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 23 371 | M | EUADA | Beltsville, Maryland, EE. UU. |
| 21 000 | L | PGRO* | Ottawa, Canadá |
| 19 500 | C | CNPT | Passo Fundo, Brasil |
| 17 459 | M, L | VIR | Leningrado, URSS |
| 14 215 | M# | ICARDA | Aleppo, Siria |
| 13 900 | L | NGB* | Lund, Suecia |

Continuación del cuadro 6.3

| No. de accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|-------------------|------------------------|-------------|-----------------------------|
| 10 200 | M, L | ZGK | Gatersleben, R. D. Alemana |
| 6 025 | M | BGC | Kurashiki, Japón |
| 5 569 | M | CIMMYT | El Batán, México |
| 5 263 | M, L | NIRA-CIAT* | Tsukuba, Japón |
| 5 017 | M, L | FAL | Braunschweig, Alemania Fed. |
| 5 000 | M, L | PGRC* | Addis Abeba, Etiopía |
| 4 900 | M, L | PBI | Cambridge, Reino Unido |
| 4 500 | C# | IHAR | Radzihow, Polonia |
| 3 500 | C | RICTP | Fundulea, Rumania |
| 3 200 | C# | IPIGR | Plovdiv, Bulgaria |
| 3 100 | C | SCRI | Edimburgo, Reino Unido |
| 3 000 | C | IARI | Nueva Delhi, India |
| 2 600 | M | PARC | Islamabad, Pakistán |
| 2 500 | C | JNRC | Lincoln, Reino Unido |
| 2 500 | M, L | RIPP | Praga, Checoslovaquia |
| 2 300 | M | SVP | Wageningen, Países Bajos |
| 2 000 | M | CSIRO | Canberra, Australia |
| 1 504 | C | EBS | Bakow, Polonia |
| 1 500 | M | UNA | Lima, Perú |
| 1 460 | M | RIPP | Bratislavka, Checoslovaquia |
| 1 333 | M | GGB | Thessaloniki, Grecia |
| 1 275 | C | CNIA | Buenos Aires, Argentina |
| 1 240 | C, M | IPB | Jokioinen, Finlandia |
| 1 200 | C | IARI | Nueva Delhi, India |
| 1 000 | C | ARO | Bat Dagan, Israel |
| 1 000 | M, L | IG | Bari, Italia |

Nota: Ver anotaciones en Cuadro 6.2.

* Colección básica diseñada por el IBPGR.

Instalación a largo plazo en construcción.

Cuadro 6.45. El arroz (*Oryza* spp.) en bancos genéticos.

| No. accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|----------------|------------------------|-------------|---------------------------------|
| 78 800 | M, L | IRRI* | Los Baños, Filipinas |
| 18 065 | L | NSSL* | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 18 000 | M, L | NIRA-CIAT* | Tsukuba, Japón |
| 13 050 | C | CRRRI | Cuttack, India |
| 13 511 | C | CRIFC | Bogor, Indonesia |
| 11 230 | C, M | EUADA | Beltsville, Maryland, EE. UU. |
| 8 600 | M, L | IITA* | Ibadán, Nigeria |
| 8 226 | M | WARDA | Monrovia, Liberia |
| 6 675 | M, L | CENARGEN | Brasilia, Brasil |
| 6 000 | C, M, | RRI | Bangkok, Tailandia |
| 5 100 | M | BRRRI | Dacca, Bangladesh |
| 3 842 | M | IRAT | Montpellier, Francia |
| 3 500 | M, L | VIR | Krasnodar, URSS |
| 3 200 | C | INTA | Córdoba, Argentina |
| 3 130 | M, L | KSB | Penang, Malasia |
| 2 745 | C | CARI | Peradeniya, Sri Lanka |

Continuación del cuadro 6.4

| No. de accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|-------------------|------------------------|-------------|------------------------|
| 2 500 | C | CGI* | Beijing, China |
| 2 080 | C | ARI | Yezin, Birmania |
| 2 000 | C | IRA | Tananarive, Madagascar |
| 1 700 | C, M | TARI | Taipei, Taiwán, China |
| 1 500 | C | NIAS | Hanoi, Vietnam |
| 1 419 | M | PARC | Islamabad, Pakistán |
| 1 400 | C | CARS | Lilongwe, Malawi |
| 1 027 | M, L | AES | Suweon, Rep. de Corea |
| 1 000 | C | ICA | Bogotá, Colombia |
| 1 000 | C | ORSTOM | París, Francia |

Nota: Ver anotaciones en el Cuadro 6.2.

* Colección básica diseñada por el IBPGR.

Instalación a largo plazo en construcción.

La información sistematizada sobre la colección de arroz del IRRI es especialmente útil debido a la meticulosa atención prestada al registro de los datos de las muestras. Se registran 45 características morfológicas y agronómicas para cada introducción. Los entomólogos, fitopatólogos, fisiólogos, químicos y especialistas en suelos del IRRI agregan hasta 38 características de evaluación y utilización genéticas (GEU), abarcando resistencia a las enfermedades y a las plagas, tolerancia a las condiciones adversas de suelo y clima (Chang 1984c). Gracias a la dedicación del IRRI, en la operación de un banco genético eficiente, con accesiones evaluadas, los mejoradores de arroz probablemente saben más acerca de los recursos genéticos de su cereal que los mejoradores de cualquier otra planta.

A mediados de 1985, había 22.000 muestras en almacenamiento a medio plazo del IRRI y un número igual en los locales de almacenamiento a largo plazo. La colección de germoplasma se regenera gradualmente y se pone semilla fresca en almacenamiento a medio y largo plazo. Las reservas de semilla más viejas en almacenamiento a medio plazo (2°C) se encuentran en botellas de vidrio selladas que contienen gel de sílice, pero las reservas nuevas se están empacando al vacío en latas de aluminio. Un juego duplicado de accesiones enlatadas se deposita en NSSL en Fort Collins, para mayor seguridad.

Desde 1980, el IRRI ha implementado un enfoque sistemático hacia la preservación de semilla a largo plazo. Para el almacenamiento a largo plazo a -10°C, el contenido de humedad de las semillas se reduce a 6 por ciento antes de preservar la accesión en dos latas de aluminio, cada una de las cuales contiene de 2500 a 4000 semillas. Cerca de 20.000 variedades de arroz y mucho material silvestre no han sido recogidos todavía. Las principales zonas donde todavía existen razas nativas que recoger son las áreas fronterizas de Kampuchea, Laos, Vietnam y Tailandia. La recolección ha sido lenta en muchos de estas zonas fronterizas por el difícil acceso y la conmoción política. En Tailandia, por ejemplo, hay miles de variedades tradicionales que coleccionar en el norte, partes del sudoeste y a lo largo de la frontera con Birmania

y Laos (Chitrakon *et al.*, 1983). Por la gran riqueza genética de las variedades de arroz cultivadas y silvestres y de algunos segmentos de las colecciones de germoplasma de China e India, que todavía no han sido depositados en el IRRI, el banco genético de este instituto continuará creciendo hasta que llegue a unas 130.000 accesiones (Chang 1984a; T. T. Chang, com. pers.).

El banco genético de arroz del IITA en Ibadán, Nigeria, posee 6500 accesiones de *Oryza sativa*, principalmente de Africa, en almacenamiento a medio y largo plazo. Con apoyo del IBPGR, el IITA también ha reunido 2000 muestras de otro arroz cultivado, *Oryza glaberrima*, autóctono de Africa. El IRRI también tiene accesiones de este arroz, el cual está perdiendo terreno frente al arroz doméstico asiático *O. sativa*. Ambas especies ocasionalmente hibridan cuando crecen juntas, y de ese modo, intercambian genes. El IITA colabora con WARDA en su trabajo en germoplasma, que se concentra en la adquisición y mejoramiento de variedades de arroz paddy africano, que actualmente alcanza un total de 8000 introducciones. Las variedades de arroz secano recibirán una mayor atención por parte del IITA y del WARDA.

El maíz, con cerca de 100.000 accesiones en los bancos genéticos mundiales y un 95 por ciento de las razas nativas ya recolectadas, no parece ser genéticamente tan diverso como el arroz (Cuadro 6.1). El hecho de que el maíz sea una planta de cruzamiento, más que auto-polinizadora como el arroz o el trigo, probablemente explica el reducido número de razas nativas. El maíz es un valioso producto comercial en América del Norte, donde se usa principalmente como alimento para el ganado, como jarabe (usado para endulzar muchas bebidas gaseosas), para hacer cereales de desayuno y bocadillos alimenticios y para producir etanol para mezclar con la gasolina, lo que se conoce popularmente como gasohol. En el Tercer Mundo y especialmente en América Latina y Africa, el maíz es un producto básico de primera necesidad; se come fresco o como una masa molida cocinada al vapor (polenta), molido como harina para hacer tortillas o chapatis, y se usa como alimento de cerdos y pollos. Domesticado en México, muestra una diversidad secundaria en los Andes y en menor grado en Europa meridional y en la región mediterránea. En algunas partes de Asia, como India y Filipinas, el maíz se ha consumido principalmente verde durante muchos siglos, y su cultivo se está difundiendo.

La dispersa ubicación geográfica de los bancos genéticos para el maíz refleja la importancia global de este producto (Cuadro 6.5). Las mayores colecciones de germoplasma de maíz están en la Unión Soviética y en Yugoslavia, donde se alojan 30.000 accesiones en almacenamiento a medio y largo plazo. En los Estados Unidos, la Universidad de Illinois sirve como depósito de mutantes de maíz y mantiene más de 100.000 muestras para uso de la comunidad mundial de investigación (G. B. Fletcher, com. pers.).

Cuadro 6.5 El maíz (*Zea mays*) en bancos genéticos.

| No. de accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|-------------------|------------------------|-------------|---------------------------------|
| 15 084 | M, L | VIR* | Leningrado, URSS |
| 15 000 | M | IMR | Belgrado, Yugoslavia |
| 11 100 | M, L | CIMMYT | El Batán, México |
| 10 000 | M# | INIA | Chapingo, México |
| 7 619 | L | NSSL* | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 7 145 | M | UNA | Lima, Perú |
| 5 000 | C | ICA | Medellin, Colombia |
| 3 200 | C | RICTP | Fundulea, Rumania |
| 3 000 | M, L | INTA | Pergamino, Argentina |
| 3 000 | M | ISU | Ames, Iowa, EE. UU. |
| 2 800 | L | PGRO | Otawa, Canadá |
| 2 654 | M | NIAS* | Tsukuba, Japón |
| 2 220 | M | CIFEP | Cochabamba, Bolivia |
| 1 678 | M, L | IPB | Los Baños, Filipinas |
| 1 571 | C# | IARI | Nueva Delhi, India |
| 1 500 | M | NARS | Kitale, Kenia |
| 1 368 | M | CRIFC | Sukamandi, Indonesia |
| 1 306 | M | MRI | Trnava, Checoslovaquia |
| 1 040 | M, L | INIA | Madrid, España |
| 1 000 | C | CNU | Daejeon, Rep. de Corea |
| 1 000 | M# | MI | Braga, Portugal |

Nota: Ver anotaciones en el Cuadro 6.2.

* Colección básica diseñada por el IBPGR.

Instalación a largo plazo en construcción.

Los bancos genéticos a largo plazo para el maíz están ubicados en las naciones industriales y en desarrollo. El NSSL en Fort Collins contiene una colección básica de maíz del Nuevo Mundo; el Instituto Vavilov en Leningrado se concentra en variedades europeas; el Instituto del Maíz en Braga, Portugal, tiene cerca de mil cultivares del cereal, principalmente de Iberia y otras partes de Europa meridional; y el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Tsukuba, Japón, mantiene una colección a largo plazo de maíz asiático. En el Tercer Mundo, el banco genético de maíz en almacenamiento a largo plazo del CIMMYT, en México, se tornó operativo al comenzar 1985, y Argentina y Filipinas mantienen 3000 y 1678 accesiones, respectivamente, en condiciones de almacenamiento a largo plazo. El *Thailand Institute of Scientific and Technological Research* (TISTR) (Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Tailandia) recientemente inauguró un banco genético de almacenamiento de maíz a largo plazo en Bangkok. El TISTR está adquiriendo maíz asiático y forma parte de la red de colecciones básicas del IBPGR. El programa nacional mexicano, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), está construyendo una instalación de almacenamiento a largo plazo para germoplasma de maíz y otras semillas, en Zacatecas. A una altitud de 2200 metros y con sólo 300 milímetros de precipitación anual, los costos de energía del mantenimiento de muestras de germoplasma en Zacatecas deben ser razonables.

El CIMMYT y el INIA mantienen sus colecciones de maíz a mediano plazo a aproximadamente una hora de Ciudad de México, en El Batán y en Chapingo (Cuadro 6.5). La colección de maíz del CIMMYT contiene muestras de más de 50 países latinoamericanos y del Caribe. El CIMMYT regenera alrededor de 500 accesiones por año, y Pioneer Hi-Bred colabora con el CIMMYT y con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para regenerar algunas de ellas. Pioneer Hi-Bred, a su turno, duplica el material que requiere para sus programas de investigación. Las razas nativas forman la mayor parte del maíz de la colección del CIMMYT, pero también se incluyen algunos parientes silvestres como el teosinte anual (*Zea mexicana*) y el maíz perenne recientemente descubierto (*Z. diploperennis*).

La colección de razas nativas de maíz en América Latina y el Mediterráneo se completó esencialmente en 1986. La mayor parte del 5 por ciento estimado de razas nativas que aún no se han recogido se encuentran en Asia y África (IBPGR 1984b). Aunque una buena proporción de las variedades tradicionales de maíz está en bancos genéticos, muchas de las colecciones más viejas no pueden ser viables (Lyman 1984). Además, sólo una diminuta fracción del germoplasma de los parientes del maíz está a salvo en los bancos genéticos.

El sorgo se usa principalmente como alimento para el ganado y para la fabricación de jarabe en las naciones industriales, pero en las regiones más secas de África e India es el alimento de millones de personas. Aumentan las importaciones de sorgo a países en desarrollo, como México, donde se utiliza como alimento para animales, especialmente para aves de corral. A pesar de su importancia generalizada creciente como alimento, el sorgo está desigualmente representado en los bancos genéticos (Cuadro 6.6). El total global para las accesiones de germoplasma de sorgo es de aproximadamente 95.000, y el *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics* (ICRISAT), cerca de Hyderabad, India, mantiene casi una cuarta parte de este total. Las 24.000 muestras de sorgo del ICRISAT provienen de 68 países y se mantienen en condiciones de almacenamiento a medio y a largo plazo; la colección ha crecido notoriamente desde 1978, cuándo tenía sólo 15.000 introducciones (ICRISAT 1978). De las cuatro colecciones a largo plazo de sorgo, tres están en países en desarrollo: India, Etiopía (Figura 6.1) y Filipinas (Cuadro 6.6). El ICRISAT inauguró sus instalaciones de almacenamiento a largo plazo con la ayuda del gobierno japonés y del *Asian Development Bank* en 1983.

Los millos, que comprenden algunas docenas de especies, en seis géneros, rara vez entran al comercio mundial, sin embargo son un valioso alimento humano en ciertas zonas áridas de África, Asia y el Mediterráneo. Los millos prosperan en tierras ecológicamente marginales, como las áreas de suelos pobres o las regiones que padecen sequías, de ahí su importancia para millones de personas en los países en desarrollo. Sólo un puñado de bancos genéticos contienen colecciones considerables de germoplasma de millo y las accesiones de todas las especies no exceden 57.000 (Cuadro 6.1). El millo perla es el millo mejor representado en los bancos genéticos; el ICRISAT tiene un colección de 14.000 accesiones recogidas

Cuadro 6.6 El sorgo (*Sorghum bicolor*) en los bancos genéticos.

| No. de accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|-------------------|------------------------|-------------|--------------------------------|
| 24.600 | M, L | ICRISAT* | Hyderabad, India |
| 14.000 | L | NSSL* | Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| 9.815 | C | SRPIS | Experiment, Georgia, EE.UU. |
| 9.615 | M, | VIR | Leningrado, URSS |
| 5.000 | M, L | PGRC | Addis Abeba, Etiopía |
| 4.900 | C | RICTP | Fundulea, Rumania |
| 4.610 | C | EUASCFS | Meridian, Mississippi, EE.UU. |
| 4.000 | C | MITA | Mayaguez, Puerto Rico |
| 4.000 | C | ASP | Tihama, Yemen |
| 3.000 | C# | CGI | Beijing, China |
| 3.000 | M | INIA | Chapingo, México |
| 2.700 | C | INTA | Córdoba, Argentina |
| 2.626 | M | ORSTON | Bondy, Francia |
| 2.072 | M, L | IPB | Los Baños, Filipinas |
| 2.000 | C# | IARI | Nueva Delhi, India |
| 1.500 | C | KU | Bangkok, Tailandia |
| 1.000 | C | CSIRO | St. Lucia, Australia |

Nota: Ver anotaciones en el Cuadro 6.2.

* Colección básica diseñada por el IBPGR.

Instalación a largo plazo en construcción.

en veinticinco países (Cuadro 6.7). El ICRISAT también tiene la colección más diversa de especies de millo en almacenamiento a largo plazo.

Cuadro 6.7 El millo en bancos genéticos.

| Especies accesiones | Tipo de almacenamiento | Institución | Localidad |
|---|------------------------|-------------|--------------------------------|
| Millo perla (<i>Pennisetum typhoideum</i>) | | | |
| 16.985 | M, L | ICRISAT* | Hyderabad, India |
| 2.247 | C | AICMIP | Poona, India |
| 2.100 | M | ORSTOM | Bondy, Francia |
| 1.200 | L | PGRO* | Ottawa, Canadá |
| 1.000 | L | NSSL* | Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| Millo cola de zorro (<i>Setaria italica</i>) | | | |
| 3.588 | C | AICMIP | Poona, India |
| 3.226 | C | CGI | Beijing, China |
| 1.429 | C | AICMIP | Bangalore, India |
| 1.260 | M, L | ICRISAT* | Hyderabad, India |
| Millo dedo (<i>Eleusine coracana</i>) | | | |
| 2.960 | C | AICMIP | Bangalore, India |
| 2.944 | C | AICMIP | Poona, India |
| 1.863 | M, L | ICRISAT* | Hyderabad, India |
| Millo kodo (<i>Paspalum scrobiculatum</i>) | | | |
| 1.405 | C | AICMIP | Poona, India |

Nota: Ver anotaciones en el Cuadro 6.2.

* Colección básica diseñada por el IBPGR.



Figura 6.1. Plant Genetic Resources Center en Addis Abeba, Etiopía. Este centro posee instalaciones para almacenamiento a largo plazo de germoplasma de trigo, cebada, sorgo y millos de menor importancia. 1984.

El IBPGR ha insistido en la recolección de razas nativas de millo perla, y se han logrado avances notables en la recolección de variedades tradicionales en Africa durante la última década. Sólo cerca de la mitad de las variedades de los millos de menor importancia está en los bancos genéticos, y se espera que la recolección de éstas continúe en la década de los 90. Tef (*Eragrostis tef*), por ejemplo, es un cereal nativo cultivado en Etiopía, que se usa para hacer un pan espeso, aliñado, similar a un panqueque llamado ingera. El ingera de color pardo oscuro es un alimento básico; se come solo o se pone en el plato, agregándosele cordero, queso y otros productos. *Eragrostis tef* tiene un contenido de proteína excepcionalmente alto, cerca de un 15 por ciento, pero tiene granos muy pequeños. El *Plant Genetic Resources Center* (Centro de Recursos Fitogenéticos) en Addis Abeba contiene sólo un banco de germoplasma pequeño, y se necesitan colecciones más exhaustivas que proporcionen materiales para mejorar el rendimiento de este nutritivo alimento. Se espera que la colección de razas nativas de trigo, maíz, cebada y avena esté casi completa en 1986, la de arroz en 1988, y la de sorgo y millo perla a finales de la década de los 80. Todavía falta recolectar algunas razas nativas de trigo durum en ambientes con estrés y de trigos primitivos para pan en partes del norte de Africa, de Europa meridional y de la Unión Soviética, como también en Omán, Arabia Saudita, Iraq, Yemen y Líbano (Hawkes 1985:12). El trabajo de recolección es difícil y a menudo imposible, debido en algunos casos a conflictos armados. Debido a que las zonas en expansión se siembran con cereales de alto rendimiento, las razas nativas están desapareciendo en muchos países, aún en zonas remotas; el número de muestras recogidas por cada misión es cada vez menor, como sucede también con la recolección de parientes silvestres.

En los Andes, algunos de los cultivos de granos de menor importancia están perdiendo terreno frente a los principales cereales, especialmente frente a cultivares modernos de trigo y cebada. Dos especies de *Chenopodium*, quina (*C. quinoa*) (Figura 6.2) y cañahua (*C. pallidicaule*), por ejemplo, todavía se siembran desde las montañas de Ecuador hasta el sur de Chile, pero el área dedicada a estas plantas similares a los cereales se está encogiendo desde que los españoles introdujeron los cereales del Viejo Mundo a comienzos de 1500. Si se construyen bancos de germoplasma adecuados, los mejoradores podrán finalmente mejorar el rendimiento de la quina y de otras plantas de menor importancia para que puedan enfrentar mejor el reto de los modernos cultivares de los cereales de mayor importancia.

Varios países andinos han comenzado a conservar el germoplasma de *Chenopodium* y de otros cultígenos de importancia local y regional. La Universidad Técnica Nacional del Altiplano en Puno, Perú, por ejemplo, tiene la colección más grande de germoplasma de *Chenopodium* con 2200 accesiones de *C. quinoa* y 420 de *C. pallidicaule*. También en Puno, el programa nacional de investigación agrícola mantiene una colección de trabajo de 1820 accesiones de *C. quinoa* y 222 de *C. pallidicaule*. En Lima, la Universidad Agraria La Molina posee una colección a mediano plazo de 1500 introducciones de quina.

La escasez de *Chenopodium* es lamentable, porque estas plantas ayudan a dar carácter a la región. Es una cosa, sin embargo, adoptar la diversidad ecológica de las tierras agrícolas y una mayor variedad de platos culinarios, mediante la promoción de una rica mezcla de especies cultivadas, y es cosa muy diferente proporcionar a los agricultores opciones económicamente viables para sembrar. Cultígenos menores, como *Chenopodium*, pueden sólo recuperar algo de su anterior importancia si los programas de mejoramiento mejoran el rendimiento de esta especie, su resistencia a las enfermedades y plagas y otras características. Para realizar esta tarea, los mejoradores necesitarán utilizar los recursos genéticos de estas plantas. Mientras más grande sea el acervo genético conservado, mayores serán las oportunidades de éxito. El ejemplo de Perú al reunir la diversidad genética de *Chenopodium* es por lo tanto un caso de previsión. Si bien es improbable que *Chenopodium* usurpe el lugar de los cereales introducidos del Viejo Mundo, puede sin embargo lograr un modesto regreso.

El área sembrada con amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*, *A. cruentus*) en México se redujo considerablemente desde la llegada de los españoles a comienzos de 1500. El amaranto tenía un significado religioso para los aztecas y otros grupos, razón por la cual los conquistadores españoles suprimieron con violencia su cultivo porque a sus ojos esta planta anual representaba el mal y la idolatría. En México, el amaranto es hoy día principalmente un bocadillo alimenticio; las semillas se pegan con melaza en tortas gruesas y redondas llamadas alegría. El amaranto andino, *Amaranthus caudatus*, es también una reliquia que está desapareciendo (Sauer 1967). Los amarantos de granos han perdido terreno frente a los granos del Viejo Mundo, pero contienen más proteínas que los cereales y se justifica su conservación y mejoramiento (NRC 1984). El *Rodale Research Center* en Kutz-

town, Pennsylvania, es una de las pocas organizaciones que coleccionan germoplasma de amaranto. La empresa privada ha establecido un programa de mejoramiento de amarantos con miras a desarrollar variedades de alto rendimiento para los agricultores comerciales.

Leguminosas alimentarias

Las leguminosas alimentarias son potencialmente las más valiosas y, no obstante, probablemente las menos desarrolladas de las fuentes naturales de proteína vegetal, calorías, vitaminas y minerales. Algunas leguminosas, como la soya y el maní, son también ricas en aceites. Las leguminosas se han cultivado durante miles de años en condiciones marginales de estrés de humedad y de baja fertilidad en las zonas tórridas y subtórridas. Desgraciadamente, los niveles de rendimiento de la mayoría de las leguminosas alimentarias permanecen bajos y por lo tanto están siendo reemplazadas por los cereales de alto rendimiento; esta tendencia es especialmente evidente en India, donde las variedades de trigo y de arroz de la revolución verde ocupan parte de la tierra anteriormente sembrada con leguminosas. Un resultado de esta política es el déficit de la India en aceites vegetales, lo cual fuerza al gobierno a usar valiosas divisas para importar aceites de cocción. Los científicos de las Fundaciones Rockefeller y Ford han desempeñado una importante labor en la recolección de germoplasma de varias leguminosas en países en desarrollo, incluyendo gandul (*Cajanus cajan*) y garbanzo en India, caupí (*Vigna unguiculata*) en partes de Africa y frijol común en América Latina. Con el establecimiento de centros internacionales de investigación agrícola como el ICRISAT, el IITA, el ICARDA, el *Asian Vegetable Research and Development Center* (AVRDC) y el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) en las décadas de los 60 y de los 70, se aceleró la recolección de la variabilidad genética de las leguminosas. Como resultado, los centros internacionales de investigación agrícola generalmente mantienen grandes colecciones de germoplasma de leguminosas y la mayoría de los bancos de germoplasma de leguminosa se encuentra en los países en desarrollo (Cuadro 6.8).

Cuadro 6.8 Las plantas leguminosas en bancos genéticos

| Especie/ | Tipo de | Institución | Localidad |
|---------------------------|---------|-------------|--------------------------------|
| <i>Soya (Glycine max)</i> | | | |
| 10 200 | M# | AVRDC | Shanhua, Taiwán, China |
| 8 350 | L | NSSL* | Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| 3 500 | M, L | NIRA-CIAT | Tsukuba, Japón |
| 3 000 | M, L | VIR | Leningrado, URSS |
| 3 000 | C | OBCI | Wuhan, China |
| 2 900 | C | SAA | Shadong, China |
| 2 900 | M | CRIFC | Sukamandi, Indonesia |

Continuación del cuadro 6.8

| Espece/ | Tipo de | Institución | Localidad |
|--|---------|-------------|---------------------------------|
| 2 337 | C# | NBGR | Akola, India |
| 1 500 | M | INIA | Chapingo, México |
| 1 359 | M | IITA | Ibadan, Nigeria |
| 1 339 | M, L | IPB | Los Baños, Filipinas |
| 1 000 | C | LAA | Harbin, China |
| 1 000 | L | PGRO | Ottawa, Canadá |
| <i>Frijol común (Phaseolus vulgaris)</i> | | | |
| 30 790 | C, L | CIAT* | Cali, Colombia |
| 9 321 | C | WRPIS | Pullman, Washington, EE. UU. |
| 8 900 | M# | INIA | Chapingo, México |
| 5 000 | M | CU | Cambridge, Reino Unido |
| 4 456 | L | NSSL | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 4 202 | C | EMBRAPA | Goias, Brasil |
| 3 851 | M, L | ZGK | Gatersleben, R.D. Alemana |
| 3 109 | C | ICA | Bogotá, Colombia |
| 2 679 | C | INIPA | Lima, Perú |
| 2 627 | C | NIAVT | Tapioszele, Hungría |
| 2 575 | C | NRPIS | Ginebra, Nueva York, EE. UU. |
| 2 420 | L | IPIGR | Sadovo, Bulgaria |
| 2 000 | C | NU | Nairobi, Kenia |
| 2 000 | C | MU | Lilongwe, Malawi |
| 1 800 | L | CENARGEN | Brasilia, Brasil |
| 1 712 | C | THRS | Thike, Kenia |
| 1 700 | C | IIHR | Bangalore, India |
| 1 500 | C | UNA | Lima, Perú |
| 1 242 | C | ICCP | Fundulea, Rumania |
| 1 162 | C | FONAIAP | Caracas, Venezuela |
| 1 042 | L | INIA | Madrid, España |
| 1 000 | L | IVT | Wageningen, Países Bajos |
| 1 000 | C | NIAR | Butare, Ruanda |
| <i>Frijol lima (Phaseolus lunatus)</i> | | | |
| 3 846 | M | NBI | Bogor, Indonesia |
| 2 527 | C, L | CIAT* | Cali, Colombia |
| <i>Frijol runner (Phaseolus coccineus)</i> | | | |
| 1 179 | C, L | CIAT* | Cali, Colombia |
| 1 500 | M# | INIA | Chapingo, México |
| <i>Arveja (Pisum sativum)</i> | | | |
| 4 090 | L | IG | Bari, Italia |
| 3 062 | L | NGB | Lund, Suecia |
| 3 058 | M# | ICARDA | Aleppo, Siria |

Continuación del cuadro 6.8

| Especie/ | Tipo de | Institución | Localidad |
|---|---------|-------------|----------------------------------|
| 2 694 | C | NRPIS | Ginebra, New York, EE. UU. |
| 2 067 | M | JII | Norwich, Reino Unido |
| 1 818 | L | ZGK | Gatersleben, R.D. Alemania |
| 1 429 | L | NSSL | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 1 296 | L | FAL | Braunschweig, R.F. Alemania |
| 1 223 | L | NIAVT | Tapioszele, Hungría |
| 1 011 | L | PGRC | Addis Abeba, Etiopía |
| <i>Maní (Arachis hypogaea)</i> | | | |
| 11 448 | M, L | ICRISAT* | Hyderabad, India |
| 6 299 | C | NRCG | Junagadh, India |
| 5 912 | C | SRPIS | Experimento, Georgia, EE. UU. |
| 4 229 | L | NSSL | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 4 000 | M | NCSU | Raleigh, North Carolina, EE. UU. |
| 4 000 | M | TAMU | Stephenville, Texas, EE. UU. |
| 4 000 | M | OSU | Stillwater, Oklahoma, EE. UU. |
| 2 000 | L | INTA | Manfredi, Argentina |
| 1 800 | L | IAC | Campinas, Brasil |
| 1 800 | M | VPI | Suffolk, Virginia, EE. UU. |
| 1 730 | M | CRIFC | Sukamandi, Indonesia |
| 1 500 | M | UF | Marianna, Florida, EE. UU. |
| 1 461 | C | ISRA | Bambey, Senegal |
| 1 200 | M | UF | Gainesville, Florida, EE. UU. |
| 1 053 | M, L | VIR | Leningrado, URSS |
| <i>Maní bambara (Vigna subterranea)</i> | | | |
| 1 200 | M, L | IITA | Ibadán, Nigeria |
| <i>Frijol mungo (Vigna subterranea)</i> | | | |
| 5 736 | M, L | UPLB | Los Baños, Filipinas |
| 5 483 | M | AVRDC | Shanhua, Taiwán, China |
| 3 000 | C | PAU | Ludhiana, India |
| 2 172 | M | CRIFC | Sukamandi, Indonesia |
| 2 100 | C | UM | Columbia, EE. UU. |
| 1 850 | C# | NBPGR | Nueva Delhi, India |
| <i>Caupí (Vigna unguiculata)</i> | | | |
| 12 000 | M, L | IITA* | Ibadán, Nigeria |
| 3 930 | M | NBI | Bogor, Indonesia |
| 2 537 | M | CENARGEN | Brasilia, Brasil |
| 1 616 | C | NBPGR | Nueva Delhi, India |
| 1 386 | M, L | IPB | Los Baños, Filipinas |
| 1 150 | C | SRPIS | Experimento, Georgia, EE. UU. |
| 1 050 | M, L | VIR | Leningrado, URSS |

Continuación del cuadro 6.8

| Especie/ | Tipo de | Institución | Localidad |
|--|---------|-------------|---------------------------------|
| Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>) | | | |
| 13 819 | M, L | ICRISAT* | Hyderabad, India |
| 5 585 | M# | ICARDA | Aleppo, Siria |
| 3 396 | C | WRPIS | Pullman, Washington, EE. UU. |
| 2 031 | L | NSSL | Fort Collins, Colorado, EE. UU. |
| 2 000 | C | IARI | Nueva Delhi, India |
| 1 685 | M, L | VIR | Leningrado, URSS |
| 1 600 | M | INIA | Chapingo, México |
| Gandul (<i>Cajanus cajan</i>) | | | |
| 10 104 | M, L | ICRISAT* | Hyderabad, India |
| 1 500 | C | IARI | Nueva Delhi, India |
| Lenteja (<i>Lens culinaris</i>) | | | |
| 5 906 | M# | ICARDA | Aleppo, Siria |
| 1 197 | C | IARI | Nueva Delhi, India |
| Frijol haba (<i>Vicia faba</i>) | | | |
| 3 293 | M# | ICARDA | Aleppo, Siria |
| 2 525 | L | VIR | Leningrado, URSS |
| 1 469 | M, L | IG | Bari, Italia |
| 1 136 | L | FAL | Braunschweig, R.F. Alemana |
| Frijol alado (<i>Psophocarpus tetragonolobus</i>) | | | |
| 3 809 | M | NBI | Bogor, Indonesia |
| 1 000 | C | IARI | Nueva Delhi, India |
| 1 000 | L | TISTR* | Bangkok, Tailandia |

Nota: Ver anotaciones en el Cuadro 6.2.

* Colección básica diseñada por el IBPGR.

Instalación a largo plazo en construcción.



Figura 6.2. Quina (*Chenopodium quinoa*) madura en el valle de Mantaro, Perú, junio 1982. El caballero de la ilustración es el Dr. Zosimo Huamán, quien está a cargo de la colección de germoplasma del Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú.

El alcance de las colecciones de germoplasma de leguminosas varía de 50 a 85 por ciento para las razas nativas y de 1 a 50 por ciento para las especies silvestres (Cuadro 6.1). Dos tercios o más de las razas nativas de maní, garbanzo, gandul, haba, caupí, lenteja (*Lens culinaris*) y arveja común están en bancos de germoplasma. El IBPGR ha formulado zonas prioritarias para la recolección de germoplasma de leguminosas y otras plantas. Birmania, Indonesia, América Central, el Caribe, China continental y el occidente de África encabezan la lista de zonas donde debe buscarse germoplasma de maní, por ejemplo. En el caso de la soya, el sur y el occidente de China, el norte de Corea e Indonesia son las zonas de mayor prioridad para las misiones de recolección.

Muchos de los cultivos de leguminosas de los bancos genéticos son los cultivos mandatorios de los centros internacionales de investigación agrícola, de manera que los mejoradores constantemente emplean los recursos de los bancos de germoplas-

ma. La demanda de los usuarios estimula la recolección y los centros internacionales que trabajan en estrecha colaboración con el IBPGR progresan constantemente en la colección y conservación de la diversidad genética de leguminosas. Muchos programas nacionales también colaboran en este esfuerzo generalizado. Se espera tomar muestras de la mayoría de las poblaciones de razas nativas de leguminosas alimenticias en 1990. Sólo de 50 a 60 por ciento de las razas nativas de soya y frijol *Phaseolus* está en bancos genéticos; en consecuencia la recolección de variedades tradicionales de estas especies probablemente continuará hasta principios de la década de los 90. El CIAT espera duplicar el tamaño de su colección básica de 35.000 muestras de frijol *Phaseolus* (CIAT 1985:37). Como sucede generalmente con la mayoría de las especies, queda mucho por hacer en la preservación de germoplasma de leguminosas silvestres. La colección de especies de leguminosas alimenticias estrechamente relacionadas se extenderá probablemente hasta el próximo siglo.

Plantas de raíces comestibles

Con la excepción de la papa, las plantas de tubérculos y de raíces comestibles no han sido tan bien recogidos como los cereales y las leguminosas alimenticias. El comienzo relativamente reciente de la conservación de germoplasma de cultivos de raíces y las dificultades encontradas para el almacenamiento de su diversidad genética son las principales razones de que la recolección de germoplasma haya quedado a la zaga en lo que respecta a los tubérculos.

La papa, con cerca de 42.000 accesiones en el mundo, es la raíz mejor recolectada, en función de razas nativas y especies silvestres. Virtualmente todas las razas nativas de papa y 40 por ciento de las especies silvestres están ahora en bancos genéticos (Cuadro 6.1). La exhaustividad relativa de estas colecciones se debe en mayor parte a la importante función desempeñada por el Centro Internacional de la Papa (CIP), con sede en Lima, y al gran interés que existe en muchos países en desarrollo donde la papa se cultiva (Figura 6.3).

Las bodegas del CIP guardan una tercera parte del banco mundial de germoplasma de papa (Cuadro 6.9). De las 6.500 accesiones de papa allí mantenidas, 5.000 son clones que se cultivan cada año cerca de Huancayo en los Andes (Figuras 6.4, 6.5). Se envían duplicados a la sede del CIP en Lima y al programa nacional colombiano del Instituto Colombiano de Agricultura (ICA) en Bogotá. La papa se domesticó en Perú y de este país proviene el 82 por ciento de las accesiones de CIP (Huamán 1982). Cerca de 80 por ciento de la colección de CIP contiene papa común o irlandesa (*Solanum tuberosum*), pero también están representados otros especímenes domésticos más restringidos como *S. ajanhuiri* y *S. stenotomum*. El centro tiene 1500 accesiones que representan 90 especies de *Solanum* almacenadas como semilla en condiciones de almacenamiento a medio y a largo plazos. Se envían duplicados de semillas de papas silvestres al Proyecto Inter-Regional de Introducción de Papa en Sturgeon Bay, Wisconsin, que aloja la más grande colección de semillas de papa silvestre, con más de 90 especies de más de 50 países (Hanneman 1976).

Cuadro 6.9 Cultivos de tubérculos y raíces en bancos genéticos

| Especie/ Accesión | Tipo de Almacenamiento | Institución | Localidad |
|--|---------------------------|-------------|---------------------------------|
| Papa (<i>Solanum</i> spp.) | | | |
| 9.435 | M, L | VIR | Leningrado, URSS |
| 6.500 | C, M, L | CIP* | Lima, Perú |
| 5.000 | C | CENARGEN | Brasilia, Brasil |
| 4.286 | C | UB | Birmingham, Reino Unido |
| 4.000 | C | INIA | Toluca, México |
| 2.800 | M | IRPIS | Sturgeon Bay, Wisconsin, EE.UU. |
| 2.605 | M | CPRI | Simla, India |
| 2.370 | C, M | FAL** | Braunschweig, R.F. Alemana |
| 1.282 | C | AVRDC | Shanhua, Taiwán, China |
| 1.250 | M | SCRI*** | Roslin, Reino Unido |
| 1.000 | C | ICA | Tibaitatá, Colombia |
| Batata (<i>Ipomoea batatas</i>) | | | |
| 1.243 | C | CIP | Lima, Perú |
| 1.200 | C | NBI | Bogor, Indonesia |
| 1.200 | C | KNAES | Kagoshima, Japón |
| 1.200 | C | AVRDC | Shanhua, Taiwán, China |
| 1.000 | C | IITA | Ibadán, Nigeria |
| Yuca (<i>Manihot esculenta</i>) | | | |
| 3.700 | C | CIAT* | Cali, Colombia |
| 1.829 | C | IITA | Ibadán, Nigeria |
| 1.327 | C | CTCRI | Kerala, India |

Nota: Ver anotaciones en el Cuadro 6.2.

* Colección básica diseñada por IBPGR para semillas.

** Aloja el banco genético de papa holandés-alemán.

*** Aloja la colección de papa del *Commonwealth Potato Collection*, de importancia histórica.

Se están haciendo esfuerzos para desarrollar semilla verdadera de papa para una más fácil distribución a los agricultores y para facilitar el almacenamiento de germoplasma a largo plazo. Japón, por ejemplo, está asistiendo al CIP en la construcción de una instalación de almacenamiento a largo plazo para semilla verdadera de papa. Este enfoque no será factible para todas las variedades de raíces, sin embargo. Algunas variedades de tubérculos normalmente no dan semilla, y guardar la semilla de las que sí las tienen no mantiene la integridad del clon debido a la segregación de la progenie de la plántula.

Varios centros de investigación agrícola están usando técnicas de cultivo de tejidos para mantener germoplasma limpio de plantas de raíces. En el CIP, por ejemplo, el crecimiento de la papa en tubos de ensayo se reduce a causa de las bajas temperaturas y al uso de ciertos medios de cultivo; a 6-10°C, las plantitas de papa prosperan en tubos de ensayo durante dos años. El CIP todavía mantiene la mayor parte de su material de razas nativas en forma de clones, en siembras de campo, y éstos se cosechan anualmente; pero el cultivo de tejidos es promisorio porque ahorra considerable espacio y tiempo. En el CIAT, la conversión de germoplasma de yuca a cultivo de tejidos está más avanzada. Dos tercios de las 3.700 accesiones de yuca

del centro se han cultivado como plantitas en tubos de ensayo y el CIAT está duplicando su colección total de campo en la forma de cultivo de tejidos. Esta técnica también está siendo usado por el IITA para mantener yuca, batata, cocoñame (*Xanthosoma* spp.) ñames y taro, y por el *Asian Vegetable Research and Development Center*, en Taiwán, para mantener cultivos de batata.

La conservación de germoplasma de yuca, ñame y batata, importantes alimentos básicos en las zonas tórridas húmedas, no está tan avanzada como la de papa. Esta relativa falta de progreso refleja en parte la ausencia de estos cultivos en el comercio interregional a gran escala. Sólo 35 a 50 por ciento de las razas nativas de yuca, batata y ñame y 5 por ciento o menos de los parientes de estas plantas, están en los bancos genéticos (Cuadro 6.1). Existen por lo tanto considerables brechas de recolección para las razas nativas y parientes silvestres de la mayoría de las plantas de raíces comestibles.

En el caso de la yuca, por ejemplo, todavía falta coleccionar numerosas variedades tradicionales y se espera que el banco de germoplasma de yuca del CIAT se duplique para acomodar las razas nativas y los duplicados de otras colecciones (CIAT 1985:37). Una razón para estas cifras es la diversidad de grupos étnicos que cultivan la yuca, ya que cada tribu o agrupación tiene a menudo un repertorio único de razas nativas.

Apenas se ha raspado la superficie de la riqueza amazónica en genotipos de yuca, por ejemplo. En la cuenca del Vaupés, en el noroeste de la Amazonia, Janet Chernela, antropóloga, ha registrado 135 cultivares diferentes de yuca en cuatro poblados tucanos (Chernela, en prensa). Los jíbaros de la Amazonia ecuatoriana cultivan más de 100 variedades de yuca (Boster 1983); los kuikurúes, quienes habitan la cuenca superior del Xingu, reconocen alrededor de 50 cultivares diferentes de yuca (Carneiro 1983); y los indios Desana, del noroeste de la Amazonia, cultivan por lo menos 40.

El noroeste de la Amazonia es una zona especialmente promisoría para las misiones de recolección de germoplasma de yuca, en parte por el aislamiento relativo de los grupos indios que mantienen muchas de sus costumbres tradicionales. Pero otras partes de la Amazonia todavía habitadas por nativos también contienen ricas áreas de germoplasma de yuca y otras plantas. Por ejemplo, un grupo de indios kayapó, que vive entre los ríos Xingu y Tocantins cultiva una enorme diversidad de variedades de yuca en la región forestal. Kerr Warwick, un genetista brasileño y Posey Darrell, un antropólogo americano, hallaron veintidós cultivares de yuca en campos kayapó y los recogieron para el programa brasileño de conservación de recursos genéticos de especies cultivadas (Kerr y Posey 1984). Es necesario recoger más especímenes de yuca silvestre de estos centros de diversidad en el norte de Brasil y en el sudoeste de México (Hawkes 1985:40).

La recolección del germoplasma de raíces de importancia local como el ullucu (Figura 6.6) de los altos Andes, fue iniciada por el IBPGR a finales de la década de



Figura 6.3. Algunas variedades de papa para la venta, en Huancayo, Perú, junio 1982.

los 70. El ullucu es una planta alimenticia, pero su tremenda variación en forma y color se debe principalmente a la selección por propiedades medicinales y mágicas. Se cree que los tubérculos, del tamaño de un dedo pulgar, ayudan en el parto y sirven para las heridas internas (Patiño 1963).

El trabajo de mejoramiento para la mayoría de las raíces tropicales, con excepción de la papa, es relativamente reciente, y son pocas las variedades de alto rendimiento que hayan sido entregadas a los agricultores. La erosión de razas nativas de yuca, batata, ñame y de la mayoría de los tubérculos no es por lo tanto tan grave como sucede con los cultivos de cereales. Pero a medida que las tribus se extinguen y los agricultores cambian sus sistemas de cultivo, las razas nativas se están perdiendo constantemente y es probable que los esfuerzos para conservar la diversidad genética de las plantas de raíces comestibles continúen en el próximo siglo.

Hortalizas

Las hortalizas han sido, en términos generales, mejor recogidas que las plantas de raíces, en parte porque son más fáciles de almacenar en forma de semilla. En 1980, el IBPGR inició un gran esfuerzo para conservar germoplasma de hortalizas, coincidiendo así con algunos esfuerzos similares realizados por diversos programas nacionales y regionales. Este importante impulso para preservar la diversidad genética de las hortalizas produjo una duplicación de las colecciones de germoplasma de hortalizas en cinco años. Considerables colecciones de hortalizas existen actualmente y, en la mayoría de los casos, se ha recogido una significativa diversidad de material en razas nativas (Cuadro 6.1). Y como el IBPGR ha desempeñado una función catalítica importante en el banco de germoplasma de hortalizas, la situación con respecto a la preservación de especies silvestres es mejor que con respecto a los cereales y leguminosas de granos. La recolección de parientes cercanos de las hortalizas se acelerará aún más y se espera que esté relativamente completa en 1990, aunque muchas especies de los acervos genéticos secundarios seguirán mereciendo atención.

Entre las hortalizas, el tomate y sus parientes silvestres han sido recogidos en forma más completa (90 y 70 por ciento, respectivamente), y las pimientas *Capsicum* ocupan el segundo lugar entre las especies mejor representadas en los bancos genéticos. Virtualmente todos los cultivares primitivos de amaranto han sido recogidos. Considerando el valor de la horticultura en los países industrializados y la importancia cada vez mayor de las hortalizas en las zonas tórridas, especialmente para las crecientes poblaciones urbanas (Figura 6.7), se justifica la mayor atención que se da a la conservación de germoplasma de hortalizas. Para muchas personas, las hortalizas son la principal fuente de vitaminas, minerales y proteínas.

Plantas industriales y forrajeras

La conservación de germoplasma de algunas plantas industriales alcanza un poco más allá de la mitad (Cuadro 6.1). De éstas, las colecciones de caña de azúcar y de algodón son las más numerosas, si bien son generalmente modestas (Cuadro 6.10). Como es de esperar, estas colecciones se concentran en aquellos países donde esos productos son importantes para el uso doméstico y para la exportación. Las posesiones de cacao, por ejemplo, son más grandes en el occidente de África y en Trinidad, donde su cultivo proporciona valiosas divisas; India reúne una gran parte del germoplasma de algodón existente en el mundo. Sólo tres bancos de germoplasma de caucho exceden las mil accesiones, y sólo un banco genético de campo para la palma de aceite africana tiene más de mil muestras. Por virtud de las dificultades del cultivo de numerosas palmas, el germoplasma de la palma de coco está inadecuadamente representado en las colecciones. En cuanto a las colecciones de banano éstas no necesitan pasar de las mil accesiones.

Cuadro 6.10. Plantas industriales en bancos de germoplasma

| Especie/ Accesión | Tipo de Almacenamiento | Institución | Localidad |
|---|---------------------------|--------------------------------|-----------|
| Caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.) | | | |
| 3.533 clones | FSC | Lautoka, Fiji | |
| 3.400 clones | SFS | Canal Point, Florida, EE.UU. | |
| 3.000 clones | SIRI | Mandeville, Jamaica | |
| 2.713 clones | SBI | Coimbatore, India | |
| 2.000 clones | HSPA | Maunawili, Hawaii, EE.UU. | |
| 1.774 clones, semillas | | AES, Macknade, Australia | |
| 1.600 clones, semillas | | WICSCBS St. George, Barbados | |
| 1.500 clones | IMPA | Balderas, México | |
| 1.300 clones | CTC | Antonio, Brasil | |
| 1.259 clones | INICA | Habana, Cuba | |
| 1.233 clones, semillas | | MSES, Gordonvale, Australia | |
| Cacao (<i>Theobroma cacao</i>) | | | |
| 6.000 árboles | CRIG | Tafo-Akim, Ghana | |
| 3.700 árboles | CRU | St. Augustine, Trinidad | |
| Té (<i>Camellia sinensis</i>) | | | |
| 15.000 plantas | TRIEA | Kericho, Kenia | |
| 1.761 plantas | NRIT | Shizouka, Japón | |
| 1.000 plantas | TRFCA | Malanje, Malawi | |
| Café (<i>Coffea</i> spp.) | | | |
| 6.000 plantas | IRCC | Divo, Costa de Marfil | |
| 1.284 plantas | IAR | Jimma, Etiopía | |
| 1.212 plantas | CATIE | Turrialba, Costa Rica | |
| Algodón (<i>Gossypium</i> spp.) | | | |
| 5.244 C | CICR | Nagpur, India | |
| 4.900 L | VIR | Leningrado, URSS | |
| 3.905 C | PAU | Ludhiana, India | |
| 2.518 C | CICR | Coimbatore, India | |
| 2.400 C | TCC | College Station, Texas, EE.UU. | |
| 2.000 L | IRCT | Montpellier, Francia | |
| Palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i>) | | | |
| 1.300 plantas | PORIM | Kuala Lumpur, Malasia | |
| Caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>) | | | |
| 3.400 plantas | IRCA | Abeyán, Costa de Marfil | |
| 2.500 plantas | RRIM | Serdang, Malasia | |
| 1.000 plantas | CNPSD | Manaus, Brasil | |

Nota: Ver anotaciones en el Cuadro 6.2.

La relativa falta de progreso en la preservación de la diversidad genética de las plantas industriales se puede explicar por varios factores. Primero, muchas de las semillas de especies industriales o de plantación, como el caucho y el cacao, permanecen viables por períodos muy cortos y no se puede almacenar en bancos genéticos convencionales porque se dañan con el secamiento y la congelación.

Segundo, los centros internacionales de investigación agrícola se ocupan de las plantas alimentarias, de manera que su ejemplo, experiencia científica y recursos financieros no han sido aplicados a los cultivos comerciales orientados hacia la exportación. Tercero, el trabajo de conservar el germoplasma de dichas plantas ha sido, en su mayor parte, realizado por empresas privadas y unos pocos programas nacionales. Generalmente los esfuerzos de adquisición de germoplasma por parte de tales organizaciones han sido dictados por objetivos de mejoramiento a corto plazo. Dar un apoyo confiable a los grandes bancos de germoplasma es algo difícil para empresas preocupadas por rebajar costos, o para los programas nacionales que mantienen el germoplasma en sus áreas silvestres para que otros países lo utilicen. Es necesario que el sector público actúe proporcionando incentivos al sector privado para que contribuya a la conservación de germoplasma.

Con insumos del IBPGR, se han logrado algunos modestos progresos en conservación de germoplasma de varias plantas industriales, especialmente remolacha, cacao y algodón. Otros esfuerzos para recoger germoplasma de plantas industriales están en curso, pero por lo general se espera que en el futuro sea la industria la que proporcione gran parte de los recursos financieros para los trabajos sobre recursos genéticos.

Colección general y brechas de evaluación

Aunque hay unas 130.000 accesiones de leguminosas y 85.000 muestras de gramíneas en las colecciones forrajeras mundiales, poco se sabe acerca del grado de redundancia y cobertura de las introducciones. A pesar de las impresionantes cifras, la conservación de germoplasma está todavía en su primer año de vida y se iniciarán mayores esfuerzos de recolección en el futuro cercano. Las zonas áridas, la región mediterránea y las zonas tórridas y subtórridas, serán el centro de recolección de gran parte del futuro germoplasma forrajero. Para ampliar esta tarea, el IBPGR está organizando convenios de coparticipación con algunos centros hermanos dentro del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI), como el *International Livestock Center for Africa* (ILCA), ICARDA y CIAT, así como los programas nacionales, especialmente en Australia y Brasil.

Para identificar las omisiones de recolección en el acervo genético mundial de una especie cultivada, debe determinarse la diversidad genética de las colecciones existentes. Dicho conocimiento se hace disponible sólo después de analizar los datos de pasaporte de las accesiones y de evaluar las muestras. Desgraciadamente, este tipo de información a menudo hace falta en los bancos genéticos. Además, los colectores de plantas necesitan tener una idea de lo que queda en el campo, especialmente en centros de diversidad. Las encuestas ecogeográficas y los estudios taxonómicos son cruciales para obtener estos antecedentes.

Se ha logrado algunos progresos significativos en la toma de muestras de la diversidad genética de muchas especies cultivadas, pero quedan todavía muchos



Figura 6.4. Una muestra de la diversidad genética de la colección de germoplasma del Centro Internacional de la Papa, Lima Perú.

blancos en las especies silvestres. El futuro trabajo de recolección deberá por lo tanto dar énfasis a los parientes silvestres de las especies cultivadas. Hay todavía grandes zonas inexploradas, especialmente para las especies de importancia local o regional. Las carencias de recolección son también grandes en muchas especies de plantas subutilizadas o no explotadas que podrían desempeñar una función más importante en el comercio y la subsistencia. En algunos casos, surgen situaciones de emergencia que merecen atención inmediata; la sequía en el Saḥel, que está eliminando la diversidad genética de las razas nativas de plantas cultivadas y de las especies silvestres, es uno de dichos casos.

El IBPGR está ahora enfatizando la importancia de recoger razas nativas en zonas aisladas y de reunir un banco de germoplasma de mayor riqueza en parientes silvestres de las especies cultivadas. Será necesario que las colecciones de germoplasma de especies silvestres sean manejables, para mantener bajos los costos y para asegurar una atención y evaluación adecuadas. La meta de la recolección de



Figura 6.5. Sección transversal de algunas variedades de papa con diferentes patrones de color, pertenecientes a la colección de germoplasma del Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú.

parientes cercanos de las especies cultivadas debe ser salvaguardar las poblaciones amenazadas y recoger suficiente variabilidad para reunir los requerimientos de los fitomejoradores ahora y en el futuro previsible. Por ejemplo, se justifica la colección de 1000 poblaciones adicionales de *Triticum* silvestre y de 500 muestras genéticamente diferenciadas de *Aegilops* para reforzar las colecciones de trigo de los bancos genéticos (Chapman 1984).

Desarrollo y ubicación de los bancos genéticos

Hasta hace relativamente poco, la mayoría de las colecciones de los bancos genéticos era pequeña y se concentraba en los países industrializados. En 1976, por ejemplo, existía sólo un puñado de almacenes de semilla para la preservación de la diversidad genética de las plantas y la mayoría de ellas se encontraba en las naciones desarrolladas. Durante la última década, sin embargo, el número de bancos gené-



Figura 6.6. Cosecha de ullucu (*Ullucus tuberosus*) en el valle de Mantaro, Perú, junio 1982.

ticos en el Tercer Mundo ha aumentado considerablemente. En 1984, se habían construido 113 instalaciones de almacenamiento de semillas en 58 países; de éstos 43 fueron diseñadas por el IBPGR para almacenamiento a largo plazo. En 1985 al menos 72 países, aproximadamente la mitad del número total de naciones, tenían instalaciones de germoplasma en operación o en construcción (Apéndice 3). Dieciocho países están actualmente construyendo bancos genéticos que estarán listos en 1986.

Desde el comienzo, el IBPGR ha canalizado la mayoría de sus esfuerzos hacia la recolección de la diversidad genética de las principales especies cultivadas y la implementación de una red de colecciones básicas para que el germoplasma esté seguro en el futuro. La Junta adoptó un enfoque pragmático para formar la red, usando las instituciones existentes que podían almacenar semillas a largo plazo, mientras ayudaba a otras a adquirir la capacidad de almacenamiento, especialmente en países en desarrollo. El número de bancos genéticos con colecciones de base dentro de la red global del IBPGR aumentó de cinco en 1976, a treinta en 1983, y a 33 en marzo de 1985 (Apéndice 4). Las colecciones básicas dentro de la red del IBPGR se encuentran en más de dos docenas de países y representan 34 cultivos de semilla de primera necesidad (Hanson *et al.* 1984:2). El IBPGR ha fijado una meta de 50 colecciones de semilla básica que abarcan 40 de las principales plantas de cultivo en su red. Con la adición de los bancos genéticos de campo (Apéndice 5), el número actual de bancos genéticos diseñados como colecciones básicas aumentó a 46, 21 de los cuales están ubicados en el Tercer Mundo.

Una importante tarea en el futuro será construir una red de bancos genéticos con colecciones a mediano plazo para complementar la red de colecciones de base. Existen más de cien colecciones de este tipo, y ese número es suficientemente significativo para justificar una mejor coordinación. Esta red complementaria de colecciones a mediano plazo se necesita para mejorar y reducir la multiplicación,



Figura 6.7. Venta de hortalizas y frutas variadas en Bangkok, Tailandia, 1971.

regeneración, caracterización y evaluación, documentación, e intercambio de accesiones de germoplasma. El IBPGR acelerará sus esfuerzos en esta dirección en los próximos años.

Urge mayor comunicación entre los operadores de los bancos genéticos porque muchos de éstos, en la actualidad, están operando en forma inadecuada, especialmente en cuanto a la pérdida de materiales por causa de factores tales como insuficiente secado de las semillas antes del almacenamiento, incorporación de materiales enfermos y problemas de refrigeración. En algunos casos, los recursos financieros para el monitoreo y mantenimiento de las colecciones de semilla básica son muy insuficientes. Aunque la cantidad de recursos genéticos existentes en los bancos haya aumentado considerablemente, muchas muestras de los bancos genéticos podrían perderse por las deficiencias de mantenimiento.

Un resumen recientemente publicado de los últimos diez años de actividades de recolección enumeró cerca de 85.000 accesiones que abarcaban 138 especies de cultivo. Las accesiones se recogieron en 85 países y están depositadas en almacenamiento a largo plazo así como en sus países de origen. En comparación con lo que ocurría hace una década, la situación de la conservación de germoplasma es mucho más satisfactoria porque los científicos, los políticos y el público en general están más conscientes de la importancia de recoger y conservar el germo-

plasma de las especies cultivadas. El notorio aumento en el número de bancos genéticos es una evidencia concreta de que las autoridades responsables han tomado mayor conciencia de la necesidad imperativa de preservar la diversidad genética de las especies cultivadas y de sus formas silvestres.

DIVIDENDOS DE LOS BANCOS GENETICOS

En los capítulos anteriores hemos esbozado la justificación para los bancos genéticos, la manera en que operan, y la extensión y alcance de las colecciones de germoplasma. Señalamos la necesidad de que los fitomejoradores puedan contar con diversas accesiones de germoplasma, completamente evaluadas, si se espera que ellos continúen ayudando a aumentar la productividad agrícola y a evitar las drásticas fluctuaciones de los rendimientos. Se puede abogar por la preservación de la diversidad genética de las plantas con bases científicas, estéticas y aún morales, pero, para bien o para mal, los factores económicos son también potentes motivadores del comportamiento humano. La preservación de germoplasma vegetal será más fácil el día que se pueda demostrar que es posible lograr retribuciones económicas, protegiendo el producto de millones de años de evolución y de miles de años de experimentación humana. Conforme la población del mundo sigue creciendo y la demanda que pesa sobre los recursos de la tierra aumenta día con día, la causa de la conservación de esos recursos, expresada en términos económicos, tendrá mayores oportunidades de éxito.

¿Paga tener bancos genéticos? En otras palabras, ¿son ellos efectivos en función de los costos? No es fácil dar una respuesta en dólares y centavos a este interrogante porque las retribuciones económicas de las variedades mejoradas desarrolladas a través del uso de bancos genéticos son rara vez específicas. Pero podemos señalar aproximadamente cuánto es el gasto mundial en recursos fitogenéticos y cómo las colecciones de germoplasma han contribuido a mejorar las especies cultivadas. Será evidente que, aunque los dividendos de los bancos genéticos sean difíciles de medir en términos monetarios, la hoja de balance para los bancos genéticos a pesar de todo es abrumadoramente positiva.

En 1982, se gastaron aproximadamente EUA\$55 millones, a nivel mundial, en el trabajo con recursos genéticos (Cuadro 7.1). Esta cifra no ha cambiado significa-

tivamente desde entonces. En verdad, la cantidad gastada en las operaciones de los bancos genéticos a mediados de la década de los 80 probablemente se ha reducido un poco desde 1982, después de hacer los ajustes correspondientes a la inflación. El total de EUA\$55 millones es una cifra global porque es difícil trazar la línea entre la evaluación de germoplasma y el mejoramiento de las plantas. Sin embargo, es una cifra útil y es una cifra modesta, considerando la tarea a mano: el precio de un nuevo Boeing 767, de dos motores, es igual al gasto anual de las operaciones genéticas a nivel mundial. Desgraciadamente, muchos países del Tercer Mundo a menudo optan por proyectos "prestigiosos" y lujosos, como aviones a reacción tipo "jumbo", en lugar de realizar el trabajo básico para lograr un desarrollo económico duradero. Sólo cerca de EUA\$1.25 millones se gastan anualmente en bancos genéticos de arroz en todo el mundo -una suma pequeña, considerando que este cereal es uno de los principales alimentos de la mitad de la humanidad (Chang 1984a). El presupuesto para 1985 del *National Plant Germplasm System* de los Estados Unidos, de EUA\$13.9 millones, fue igual al del año anterior 1984 (Murphy 1985), y es una cantidad modesta, considerando que las exportaciones agrícolas de EE.UU. producen típicamente entre EUA\$30 y EUA\$45 mil millones cada año.

Cuadro 7.1 Recursos financieros globales estimados para el trabajo en recursos genéticos en 1982

| Institución (es) | EUAS millones |
|---|---------------|
| Programas nacionales en países desarrollados | 28.98 |
| Programas nacionales en países en desarrollo | 7.41 |
| Centros internacionales de investigación agrícola | 9.13 |
| IBPGR | 3.79 |
| Ayuda bilateral y fundaciones | 3.00 |
| Multilateral (principalmente U.N.) | 2.78 |
| Total | 55.09 |

Fuente: Plucknett *et al.* 1983

Los mejoradores de la producción agrícola cuentan con los recursos de los bancos genéticos para aumentar el rendimiento potencial, mejorar la calidad nutricional y enfrentar numerosos retos a la productividad agrícola. En algunos casos, los bancos genéticos contienen material superior que se puede distribuir sin ninguna mejora adicional. Desde 1979, por ejemplo, se han liberado directamente en nueve países latinoamericanos las accesiones de frijol élite recogidas en seis países y mantenidas en el banco genético de CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), cerca de Cali, Colombia (CIAT 1984b:17).

En la mayoría de los casos, sin embargo, la contribución de los bancos genéticos al mejoramiento de las plantas es más indirecta. Los mejoradores a menudo organizan sus materiales de trabajo en acervos genéticos que comparten ciertas características principales, como la tolerancia al frío. Los bancos genéticos proporcionan un servicio de respaldo a los programas de mejoramiento, proveyendo regularmente

materiales nuevos para estas fuentes de mejoramiento especializadas. Cuando buscan un carácter específico, los mejoradores generalmente acuden primeramente a sus colecciones de trabajo porque estas plantas son agrónomicamente superiores y están por lo tanto más cerca a lo que los agricultores desean. Sólo cuando no pueden hallar los genes deseados en las líneas mejoradas élite, los científicos acuden a las colecciones en almacenamiento a medio o a largo plazo.

Para aumentar la probabilidad de que los genes deseables estén ubicados en las líneas élite cuando sea necesario, las accesiones de los bancos genéticos se alimentan constantemente con los acervos genéticos de los mejoradores. Este constante proceso de enriquecimiento a veces hace que sea difícil identificar la fuente específica de un rasgo deseable. En el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por ejemplo, el programa de mejoramiento de maíz incorpora anualmente algunas accesiones de su banco genético a mediano plazo en los 33 acervos genéticos usados para el mejoramiento. En Colombia, el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), o programa nacional de investigación agrícola, anualmente usa una cuarta parte de las mil accesiones de su banco genético de papa para los experimentos de cruzamiento. Mediante esta búsqueda en profundidad en su colección de papa, el ICA ha liberado con éxito 24 variedades mejoradas, algunas de las cuales han resultado apropiadas para Ecuador y Venezuela (Gómez 1985). Las variedades mejoradas de papa ahora ocupan cerca del 85 por ciento de la zona de cultivo de papa en Colombia.

En este capítulo, discutiremos de los esfuerzos para mejorar y mantener la productividad agrícola y para adaptar las plantas a los ambientes desfavorables. Destacaremos las maneras en que los mejoradores usan los bancos de germoplasma para mejorar la resistencia a las enfermedades y plagas y para adaptar las variedades a los suelos y climas adversos. A cualquiera de los casos tratados se pueden atribuir probablemente aumentos de la producción agrícola de más de EU\$55 millones. En los Estados Unidos solamente, la contribución de los bancos de germoplasma al incremento de la producción agrícola equivale a cerca de mil millones de dólares anuales (Myers 1983:3, 29); además, aproximadamente la mitad de la duplicación de los rendimientos del trigo y del arroz en los Estados Unidos desde 1930 se debe al mejoramiento.

Resistencia a las enfermedades

Las enfermedades de las plantas, más que otros retos ambientales, representan la mayor parte de las solicitudes que hacen los mejoradores por accesiones de los bancos genéticos. La resistencia a las plagas de insectos ocupa el segundo lugar entre los caracteres más buscados en los bancos de germoplasma. Las enfermedades y plagas ocupan los primeros lugares en la lista de demandas de accesiones porque los organismos patógenos y los insectos están presentes dondequiera haya siembras, con frecuencia son abundantes, y están evolucionando constantemente. Son especialmente abundantes en las zonas tórridas, donde no existe una estación fría que controle su desarrollo y donde evolucionan más rápidamente que las plagas y

organismos patógenos de climas templados, a causa de las condiciones ambientales que permanecen similares todo el año. Por la naturaleza dinámica de las poblaciones de organismos patógenos y plagas, los avances logrados en el mejoramiento por resistencia a las enfermedades o a los insectos son generalmente sólo temporales. En consecuencia, continuamente se buscan nuevas fuentes de resistencia.

Se pueden citar numerosos casos del aprovechamiento exitoso de las colecciones de germoplasma para liberar cultivares resistentes a las enfermedades. Seleccionaremos algunos ejemplos de diferentes especies cultivadas en diversas regiones para ilustrar la naturaleza generalizada de los desafíos que presentan los organismos patógenos y los insectos a la agricultura. Y porque los retos ambientales a la agricultura son especialmente graves en las zonas tórridas, muchos de los casos citados serán de los climas más cálidos.

Los hongos son una de las causas más comunes de las enfermedades de las plantas y aunque a veces los fungicidas pueden ser útiles, son a menudo también muy costosos y proporcionan sólo un control temporal. La resistencia genética a las enfermedades fúngicas es por lo tanto el mejor método de control. En las planicies del norte de India, por ejemplo, el *Indian Agricultural Research Institute* (IARI) (Instituto de Investigación Agrícola de India) liberó variedades de cebada semienanas en 1974, con resistencia comprobada a la roya amarilla (IARI 1980). El IARI también ha desarrollado un híbrido popular de maíz, Ganga 5, que resiste el mildiú (*Sclerospora rayssiae*), el añublo foliar y el barrenador del tallo (Singh 1980). Los científicos del Departamento de Cultivos Vegetales y Floricultura en la Universidad Agrícola de Himachal Pradesh en India, hallaron resistencia al añublo de la arveja (*Ascochyta pinodella*) en una raza nativa, Kinnauri; esta raza nativa se cruzó con cultivares modernos de arveja para reducir el tremendo daño que causaba la enfermedad fúngica (Rastogi y Saini 1984).

Los hongos a menudo sufren mutaciones y se transforman en nuevas razas, lo que hace necesario un cambio de cultivares. A finales de la década de los 40, por ejemplo, apareció la raza 15B de la roya negra del tallo del trigo en las zonas productoras de trigo de los Estados Unidos y Canadá. Como todos los cultivares de trigo sembrados en América del Norte en ese momento eran susceptibles al patotipo recientemente evolucionado, la producción de trigo se vio amenazada. Los mejoradores examinaron sus colecciones de trabajo para hallar fuentes de resistencia. Afortunadamente, después de revisar numerosas líneas de trigo, se identificaron unas pocas cepas en los viveros que resistían a la nueva variante de la roya de tallo (Adams *et al.* 1971). Los materiales resistentes incluían líneas mejoradas elite desarrolladas de germoplasma de trigo de clima templado y un trigo proveniente de Kenia, lo que subraya el valor de poseer una base diversa de germoplasma para el mejoramiento. Mientras esta resistencia se estaba incorporando en las variedades comerciales para la panificación, la raza 15B se expandía, y durante varios años, en la década de los 50, el hongo mutante casi acabó con el cultivo de trigo durum en el norte de Great Plains.

La aplicación de productos químicos para el control de las enfermedades bacterianas de los cultivos, como en el caso de los hongos patógenos, es difícil y costosa. En muchos casos, como en la necrosis cancerosa de los cítricos, tienen que destruirse las plantas infectadas para erradicar la enfermedad de una zona. Dichas medidas radicales suben los precios para los consumidores, y llevan a la quiebra a los agricultores. La resistencia genética a los organismos patógenos bacterianos es por lo tanto algo muy deseable.

Debido a su permanente inversión en las ciencias agrícolas, India ha tenido algunos éxitos notables en el desarrollo de variedades resistentes a las bacterias. El IARI, por ejemplo, desarrolló una de las variedades de maíz más ampliamente adoptadas en la historia de India, Ganga Safed 2, que resiste la pudrición bacteriana y la pudrición del tallo causada por *Pythium* (Singh 1980). En México, los esfuerzos para ampliar la producción de yuca a principios de la década de los 70 fracasaron a causa del añublo bacteriano de la yuca (*Xanthomonas manihotis*) y al superalargamiento (*Esinoe brasiliensis*), una enfermedad causada por hongos. México acudió al CIAT, donde se ubicó una raza nativa de yuca, Sabanera, en el banco genético de campo, la cual poseía resistencia a la bacteria patógena y tolerancia al superalargamiento. Un equipo organizado por el CIAT recogió la variedad Sabanera en el municipio de Ocú, en Panamá, en 1970. La accesión se introdujo a México en 1977 y ha aumentado enormemente la producción de yuca en Tabasco (Meléndez *et al.* 1981; C. Hershey, com. pers.). El Centro Internacional de Papa (CIP) ha desarrollado variedades de papa común (*Solanum tuberosum*) resistentes al marchitamiento bacteriano acudiendo a otra papa cultivada (*S. phureja*) en búsqueda de genes de resistencia. El marchitamiento bacteriano es uno de los principales factores limitantes para la producción de papa en las zonas tórridas, pero ahora se están cultivando variedades de papa común resistentes a esta difundida enfermedad en Perú, Brasil, Fiji, Indonesia, Sri Lanka, Nepal, Nigeria, Kenia y Egipto (CIP 1984:68).

Los virus son otro grupo importante de organismos patógenos que atacan las plantas cultivadas; no sólo reducen los rendimientos sino que también impiden el intercambio de germoplasma entre los países. Constantemente, se están descubriendo nuevas enfermedades víricas y los mejoradores deben entonces realizar una encuesta de los recursos genéticos disponibles para combatirlos. La resistencia a las enfermedades víricas se puede hallar en líneas mejoradas élite, en razas nativas o en especies silvestres. En el sur de la franja de cultivo del maíz en los Estados Unidos, por ejemplo, un nuevo virus, el virus del enanismo clorótico del maíz, atacó este cultivo a finales de la década de los setenta. La resistencia a la nueva enfermedad se había ubicado con antelación en algunas líneas mejoradas cuya ascendencia se remontaba parcialmente a un maíz cubano de polinización abierta, el cual era la fuente de resistencia (Duvick 1984).

Se puede ahorrar mucho tiempo cuando los genes de resistencia ya se encuentran en líneas mejoradas, agrónomicamente deseables. Cuando buscaban resistencia a una nueva enfermedad vírica del maíz, la necrosis letal, los fitomejoradores también

hallaron materiales apropiados dentro de sus reservas de trabajo, en un par de líneas élite de autopolinización. La ascendencia de ambas líneas resistentes se remontaba a una variedad de polinización abierta proveniente de Argentina.

La resistencia al virus X de la papa se ubicó en una raza nativa de los indios chilotes de la Isla de Chiloe, en Chile; esta resistencia ha sido incorporado a cultivos de Escocia y los Estados Unidos (Ross 1979). Otra raza nativa de los indios Chilotes se usó como progenitor de una línea de papa que se ha usado ampliamente en la República Democrática Alemana y la Unión Soviética por resistencia al virus Y y a la verruga de la papa (*Synchytrium endobioticum*).

Resistencia a las plagas

En la literatura, las plagas a veces incluyen organismos patógenos e insectos que atacan a las plantas y a los animales. Aquí limitamos la definición de plagas a aquellos insectos que consumen tejidos o fluidos vegetales o transmiten enfermedades cuando se alimentan de los cultivos. Algunos insectos, especialmente miembros de los órdenes homópteros y hemípteros, dañan los cultivos al quitar simultáneamente fluidos vitales para el crecimiento y transmitir organismos patógenos, especialmente virus. Las plagas de insectos varían en tamaño desde los ácaros microscópicos hasta las langostas del tamaño de un cigarro.

Los bancos genéticos son muy usados por los mejoradores para examinar el material por resistencia al ataque de insectos. En una encuesta de mejoradores de arroz en 27 estaciones experimentales en diez países asiáticos, la resistencia a los insectos era uno de los objetivos en el 41 por ciento de los cruzamientos (Heinrichs 1984). Después de un fuerte ataque de plagas en algunas líneas tempranas de arroz enano, a mediados y finales de la década de los 60, los científicos del *International Rice Research Institute* (IRRI) aprovecharon el banco genético del Instituto para desarrollar nuevas líneas de arroz resistentes a varias plagas de insectos¹. La variedad IR62, por ejemplo, liberada en las Filipinas en 1984, resiste más a insectos que sus antecesores, incluyendo la ampliamente sembrada variedad IR36 (IR2071) (Figura 7.1). Ya en 1973, sólo siete años después de la distribución de IR8, que comenzó la revolución verde en arroz, los investigadores en Vietnam y en las islas Salomón usaban los materiales del IRRI como progenitores en sus cruzamientos para desarrollar variedades pardas resistentes a las chicharritas (Khush 1977).

El banco genético del IRRI también ha proporcionado materiales para combatir el saltahoja sogata (*Sogatodes oryzae*), una plaga seria en América Latina y vector del perjudicial virus de la hoja blanca. Los científicos del CIAT hallaron resistencia a la plaga en accesiones del banco genético del IRRI recogidas en regiones de cultivo bajo riego en Asia, un descubrimiento sorprendente considerando que las variedades de arroz asiáticas no sufren presiones de selección por el saltahoja sogata. El germoplasma del IRRI, resistente a sogata, se incorporó a las líneas

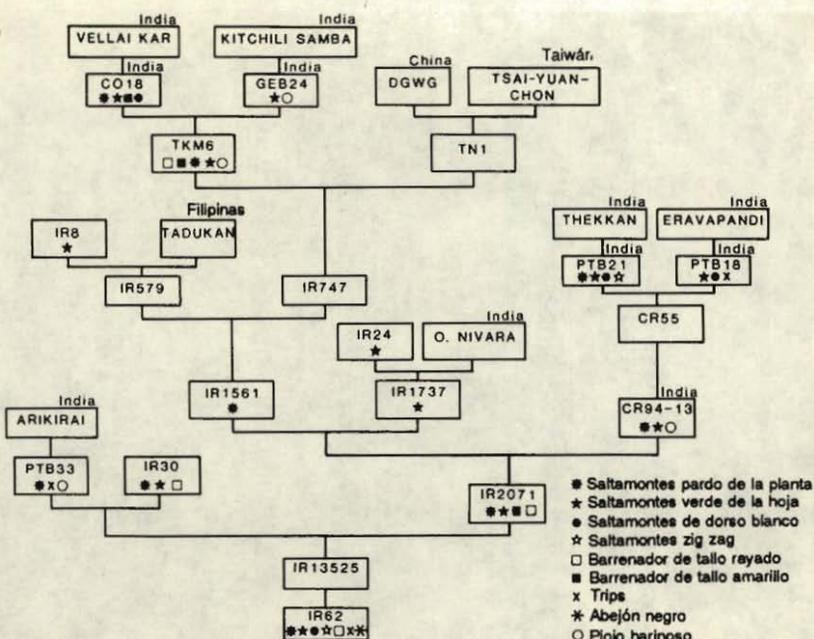


Figura 7.1. Fuentes de resistencia a los insectos en el pedigree de IR62, una variedad de arroz desarrollada por el International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. (Tomado de Heinrichs, 1984).

mejoradas del CIAT, haciendo posible la distribución de 45 variedades por los programas nacionales centro y sudamericanos (P. R. Jennings, com. pers.). La ventaja de rendimiento de los cultivares resistentes es de cerca de 1.2 toneladas por hectárea, en comparación con las variedades que han reemplazado. Las variedades de arroz de alto rendimiento que contienen germoplasma del IRRI y del CIAT ahora ocupan una cuarta parte de las zonas productoras de arroz de América Latina; el 14 por ciento en 1974 y el 2 por ciento en 1971 (CIAT 1984c:22).

En África, los mejoradores del *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA) hallaron en el banco de germoplasma de yuca del instituto, algunos clones con resistencia al piojo harinoso de la yuca (*Phenacoccus manihoti*) y al ácaro verde (*Mononychellus* spp.). La yuca es un importante producto alimenticio en la dieta de 200 millones de africanos en 31 países. Pero la contribución de esta feculenta raíz a la dieta africana, ya deficiente en calorías en muchas zonas, se ve amenazada por el ácaro verde y el piojo harinoso de la yuca que fueron registrados por vez primera en África en 1971 y 1973, respectivamente. Las plagas, como su hospedante, son nativas de América del Sur y probablemente fueron transportadas en los clones de yuca importados. Los piojos harinosos succionan la savia de la yuca e inyectan toxinas en el cultivo, haciendo que las hojas alargadas se arruguen (Figura 7.2). El rizado y arrugamiento de las hojas permiten que las malezas proliferen y reduzcan la cosecha de hojas, ricas en proteínas. Las plagas introducidas se propagaron rápidamente y actualmente prosperan en la mitad de la región yuquera de



Figura 7.2. Campo de yuca atacado por el piojo harinoso de la yuca (*Phenacoccus manihotti*) cerca de Ibadán, Nigeria, mayo 1983.

Africa. El piojo harinoso de la yuca y el ácaro verde han provocado un promedio de 30 por ciento de reducción en la producción de yuca del continente y están costando a los agricultores africanos aproximadamente EUAS2 mil millones al año.

Los científicos del IITA han adoptado una estrategia de dos frentes para frenar la propagación y el daño causado por el piojo harinoso de la yuca y el ácaro verde. Se han importado varios depredadores del piojo harinoso a Nigeria para hacer pruebas y los resultados iniciales son prometedores (N. Smith 1985). El otro énfasis en este esfuerzo de biocontrol es el desarrollo de cultivares de yuca con resistencia genética a las plagas importadas. Después de examinar las colecciones de yuca en el IITA, se identificaron algunos clones que prosperan en la presencia del piojo harinoso y del ácaro verde de la yuca (Leuschner 1981, 1982). Las hojas pubescentes de los clones resistentes desestimulan el desmonte de las plagas (Figura 7.3). Este mecanismo morfológico de defensa no proporciona una protección completa contra las plagas exóticas, pero cuando se combina con liberación de depredadores, puede proteger a la yuca de daños significativos. El IITA ha desarrollado una línea de yuca resistente, de alto rendimiento, que actualmente el servicio de semilla de Nigeria (*Nigerian Seed Service*) está multiplicando para distribuir a los agricultores. Cuando una accesión tiene un gen o un conjunto de genes útiles, generalmente no

se puede liberar inmediatamente a los agricultores. Normalmente se requiere mucho trabajo de mejoramiento para transferir los genes deseables a los cultivares agrónomicamente apropiados. A menudo se necesitan numerosos retrocruzamientos para eliminar las características indeseables mientras se retienen los caracteres valiosos. Además, las líneas candidatas para la distribución generalmente son sometidas a pruebas adicionales por las organizaciones nacionales de certificación de semillas, antes de distribuir a los agricultores. En el banco genético operado por el IITA, por ejemplo, se halló en 1975 una fuente única de resistencia a un bruchido (*Callosobruchus maculatus*), una plaga generalizada que cava túneles en las semillas de las leguminosas, después de examinar 7000 accesiones de caupí. Se necesitaron ocho años para incorporar resistencia a los bruchidos en siete líneas agrónomicamente deseables que ahora están siendo evaluadas por los programas nacionales (IITA 1983:49).

Tolerancia a suelos y climas adversos

Ajustar los cultivos a los suelos con problemas es otra alta prioridad de los fitomejoradores. Por ejemplo, los investigadores del CIMMYT y del programa nacional de investigación agrícola brasileño (EMBRAPA—*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*) están examinando las acciones de trigo para panificación y de triticale (híbrido de trigo y centeno), en los bancos de germoplasma, que funcionan bien en los suelos ácidos con alto contenido de aluminio de la región de cerrados del centro de Brasil². El crecimiento de las raíces se retarda cuando los suelos contienen niveles tóxicos de aluminio, tornando las plantas más vulnerables a la sequía. Un triticale del CIMMYT fue aprobado para distribuir en el cerrado brasileño en 1985, y cuando los trigos enanos de México se cruzan con éxito con las razas nativas brasileñas para desarrollar nuevos cultivares de alto rendimiento, esta región, que ha sido colonizada en forma dispersa, podrá convertirse en un importante productor de alimentos (Silva 1976). Dicha transformación tendría la ventaja adicional de eliminar algo de la presión ejercida por los colonos en la selva tropical amazónica, probablemente la despensa más rica de germoplasma vegetal no evaluado del mundo. El CIP, el CIAT, el IRRI y el IITA están desarrollando líneas de papa, yuca, plantas forrajeras, arroz, y caupí que prosperan en suelos ácidos, en clima temporal, con altos niveles de aluminio (CIAT 1980). La tolerancia a la salinidad en arroz ha sido derivada principalmente de variedades tradicionales del sur de India y Sri Lanka (Chang *et al.* 1982). Los mejoradores de cultivos también examinan el germoplasma por tolerancia a las condiciones climáticas adversas, como por ejemplo, excesiva o escasa agua, o las temperaturas extremas. Los científicos japoneses han hallado que las muestras de la variedad de arroz Silewah, recogida en los cerros de Sumatra en 1974 y almacenada en el banco genético del IRRI son más tolerantes al frío que los cultivares de Hokkaido, aunque el Silewah venga de una altitud de 1300 metros en las zonas tórridas (Chang 1985). Como en el caso de la resistencia al saltahojas sogata en las variedades de arroz asiáticas, las poblaciones de plantas a veces contienen genes sin ningún valor actual. Probablemente tales genes "sin usar" se mantienen para ayudar a asegurar la sobrevivencia a largo plazo de una especie



Figura 7.3. Yuca, con hojas pubescentes, que resisten el piojo harinoso de la yuca, hallada en el banco de germoplasma del Internacional Institute of Tropical Agriculture, Ibadán, Nigeria, 1983.

en caso de cambios ambientales, o ellos tienen un valor secundario no reconocido en su hábitat nativo. Esta ocurrencia de genes confieren resistencia o tolerancia a las plagas, a las enfermedades y a otras condiciones adversas lejos de las zonas donde existe la presión de selección, es apreciada y explotada por los científicos que buscan materiales para los bancos genéticos y para los programas de mejoramiento.

Para darle al lector una idea de los procedimientos para examinar los materiales vegetales que sobreviven a bajas temperaturas, describiremos brevemente la manera como se descubrió la variedad Silewah. Primero, los científicos prepararon una lista de 729 candidatos del banco genético del IRRI, los cuales tenían probabilidades de tolerar el frío, con base en observaciones y zonas de colección. Se mantuvieron plántulas de las 729 accesiones en agua a 12°C, por diez días (Figura 7.4); este tratamiento eliminó 685 candidatos (Vergara 1984). Los restantes 44 candidatos fueron sometidos a 15°C por cinco noches consecutivas durante el estado de iniciación de la floración; este paso redujo el número de los candidatos promisorios a 26. Las 26 muestras sobrevivientes se mantuvieron durante un día a una temperatura diurna de 21°C durante el estado de formación de anteras y 15 candidatos más fueron eliminados. Los científicos japoneses probaron seis de los candidatos restantes, en diferentes fases de desarrollo de la panícula, a 12°C, por cuatro días, y sólo dos accesiones resultaron altamente tolerantes al frío, una de las cuales fue Silewah.



Figura 7.4. Examen de líneas de arroz por tolerancia al frío, usando agua a baja temperatura, en el International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas, 1985.

El agua insuficiente o excesiva puede ser perjudicial para los cultivos, y los mejoradores han acudido a los bancos de germoplasma buscando tolerancia a estos estreses ambientales. La tolerancia a la sequía interesa a los mejoradores de arroz que están desarrollando variedades de alto rendimiento para zonas de tierras altas. El banco genético del IRRI nuevamente ha demostrado ser un recurso valioso en esta área de mejoramiento, ya que el programa de evaluación de arroz del Instituto ha descubierto 2781 accesiones que se comportan bien en zonas áridas (Chang 1980). Las colecciones hechas en Bangladesh durante una inundación, en 1974, produjeron variedades de arroz que sobreviven en agua a 5 m de profundidad. El IRRI y los programas nacionales de Indonesia y Tailandia han iniciado proyectos de mejoramiento de arroz para aguas profundas, con variedades de arroz tradicionales, buscando tolerancia a las inundaciones repentinas así como a los períodos prolongados en el agua profunda.

Los proyectos de investigación sobre el cultivo del arroz en agua profunda se justifican por las extensas áreas de siembras sujetas a inundaciones incontroladas. En el sur de Kalimantan, Indonesia, solamente, los pantanos ocupan alrededor de 2 millones de hectáreas (Noorsyamsi e Hidayat 1974). En esta baja región ecuatorial, los agricultores deben transplantar el arroz tres veces durante la estación llu-

viosa para ganar la batalla contra las aguas emergentes. El último trasplante, a veces acompañado por una poda de las hojas para promover el macollamiento, se realiza al concluir las lluvias, y la cosecha se hace después de una estación de crecimiento de nueve meses. Aunque los miles de razas nativas de la región tienen un comportamiento confiable, producen sólo una a dos toneladas por hectárea y permiten sólo una cosecha por año. Sulaiman Suhaimi, nativo de esta región y mejorador de arroz del *Banjarmasin Research Institute for Food Crops*, en el sur de Kalimantan, se dedicó entonces a desarrollar variedades de arroz de mayores rendimientos y con un período más corto de crecimiento, y así más resistentes a las enfermedades y plagas predominantes, y que fueran localmente aceptables por su sabor. Sulaiman, que recibió su grado de maestro en ciencias agrícolas en *Bogor Agricultural College*, en Java, proyectó su programa de mejoramiento para las zonas pantanosas relativamente poco profundas, donde él creía poder tener un impacto a corto plazo. En unos pocos años, el programa de Sulaiman, a base de germoplasma de Indonesia, Tailandia, India y del IRRI, originó la distribución de dos variedades de arroz de alto rendimiento para las zonas inundadas. Mahakam, liberada en 1983, alcanza 1.2 metros, contiene germoplasma de Tailandia, Indonesia y del IRRI, produce tres toneladas por hectárea y madura entre 135 a 150 días. Este menor período de crecimiento deja la opción de sembrar otro cultivo. Mahakam sí tiene un inconveniente: es susceptible a la chicharrita parda. Sin embargo, como en Kalimantan los plaguicidas se usan con medida, los depredadores naturales y un mosaico de variedades tradicionales mantienen a las chicharritas pardas controladas gran parte del tiempo. Mahakam por lo tanto puede cultivarse lucrativamente en algunas zonas.

Kapuas, la segunda variedad desarrollada por Sulaiman, aprovecha las ventajas de Mahakam mientras elimina algunos de sus inconvenientes, lo que constituye un patrón típico en el desarrollo de actividades. Kapuas tiene aproximadamente la misma altura que Mahakam, contiene materiales de Indonesia, India y del IRRI, puede tolerar suelos sumergidos y turbosos, resiste el biotipo 1 de la chicharrita parda, y es moderadamente resistente a la raza 2 de la plaga. Kapuas es también moderadamente resistente a la enfermedad de la mancha parda y produce lo mismo que Mahakam pero madura en 127 días, siendo significativamente más temprana que su antecesora. Además, el sabor de Kapuas gusta localmente. Gran parte del mayor rendimiento de Mahakam y Kapuas se debe a la manipulación genética y no a cambios en las prácticas agronómicas. En Kalimantan se aplica muy poco fertilizante a las nuevas variedades de alto rendimiento, porque el agua escurre rápidamente los fertilizantes.

Mahakam y Kapuas ocupaban sólo cerca de 5 por ciento de la zona sembrada con arroz en las zonas pantanosas de Kalimantan en enero de 1985, pero la zona sembrada con las nuevas variedades está aumentando. En 1986, Kapuas presentó un buen comportamiento en áreas pantanosas de Sumatra y es probable que sea adoptada en esa región. Como era de esperarse, las nuevas variedades son especialmente evidentes cerca de las estaciones experimentales del *Banjarmasin Research Institute for Food Crops* debido al efecto de demostración. Los agricultores ponen especial cuidado a las variedades de mayor rendimiento erigiendo espantapájaros con tiras plásticas que aletean, y construyendo cercas plásticas

alrededor de los campos para mantener fuera a las ratas³. No se observó ninguna de estas precauciones en los campos sembrados con las variedades tradicionales.

Un breve perfil de las condiciones y de los planes de trabajo de Sulaiman servirá para ilustrar los problemas, las inquietudes y las aspiraciones de muchos científicos del Tercer Mundo que trabajan en la conservación y utilización de germoplasma de las especies cultivadas. Aunque Sulaiman sea suficientemente afortunado para trabajar con un gobierno que apoya activamente las investigaciones agrícolas, sigue enfrentando dificultades en su trabajo. Su colección de trabajo de variedades de arroz en Banjarmasin se mantiene en latas de kerosene de 20 litros en una habitación sin aire acondicionado. Banjarmasin está cerca al nivel del mar y tiene un clima caliente todo el año; en consecuencia, hasta una quinta parte del material de Sulaiman no germina cuando se siembra. El dinero para comprar un acondicionador de aire no es el problema; el culpable es el voltaje de Banjarmasin, que fluctúa considerablemente y con regularidad daña los equipos eléctricos; los reguladores de voltaje no siempre trabajan si las oscilaciones de la corriente son demasiado fuertes. A pesar de estos inconvenientes, Sulaiman continúa en sus labores, mientras como muchos otros científicos del Tercer Mundo, busca perfeccionarse obteniendo mayor capacitación fuera de su país. Esta combinación de familiaridad con las condiciones locales, con conocimiento de las últimas metodologías de investigación, es el requisito sine qua non para que los países en desarrollo estén en condiciones de enfrentar los retos que representa el mantener y usar bancos de germoplasma para contribuir al incremento de la productividad agrícola.

NOTAS

- 1 En el Capítulo 9 se presenta un perfil del arroz de la "revolución verde", con resistencia a numerosas plagas y enfermedades.
- 2 El triticale es un cruzamiento interespecífico entre el trigo y el centeno. Se utiliza para la alimentación del ganado y también para la alimentación humana, en países en desarrollo y en países industriales (Smith 1983b).
- 3 Se usan cercas de plástico, de aproximadamente un metro de altura, en lugar de cercas metálicas, porque el metal se oxida rápidamente en las aguas ácidas de los pantanos de Kalimantan.

ESPECIES SILVESTRES: UN ACERVO GENETICO MAS AMPLIO

Las especies silvestres, parientes de las cultivadas, frecuentemente han desempeñado importantes funciones en el mantenimiento de la productividad agrícola. El ser humano ha adoptado especies silvestres durante miles de años y, después de la domesticación, algunos de los cultivares resultantes han continuado el proceso de hibridación con sus parientes silvestres. Este espontáneo flujo genético ayuda a mantener el vigor de las plantas cultivadas y puede conducir al desarrollo de otras nuevas. Los fitomejoradores han acudido a las especies silvestres principalmente para conseguir fuentes de resistencia a las enfermedades, plagas y estreses ambientales, como por ejemplo a los climas desfavorables. Las especies silvestres, entre las cuales se incluyen las plantas en sus ambientes naturales y las formas herbáceas que prosperan en los hábitat vírgenes, son cruciales para el esfuerzo constante de adaptar las especies cultivadas a los ambientes difíciles y de enfrentar los desafíos a la producción agrícola.

Hace más de cuatro décadas, Vavilov (1940) llamó la atención sobre el potencial que representaban los parientes de las especies cultivadas para mejorar la agricultura. Las especies silvestres son fuentes especialmente buenas de resistencia a las enfermedades y plagas, así como de tolerancia a las condiciones de cultivo desfavorables, porque éstas han tenido que prosperar por sí mismas (Harlan 1984). Las especies cultivadas, por el contrario, han tenido los beneficios de la protección humana, como el control de plagas y enfermedades, y un ambiente de crecimiento más uniforme. Además, las condiciones del suelo han sido modificadas para hacerlas más adecuadas para el cultivo, mediante el arado, la fertilización y el riego. Las plantas silvestres han sufrido una constante presión de los organismos patógenos, las plagas, los climas duros y los suelos desfavorables y han desarrollado numerosas estrategias para sobrevivir. Este arsenal de caracteres defensivos es el producto de millones de años de evolución, y es de gran valor para los agricultores. Si no con-

taran con las características útiles que poseen los parientes silvestres, los fitomejoradores tendrían muchas dificultades para superar las limitaciones de rendimiento. Cuando se habla de recursos genéticos de las plantas cultivadas, por lo tanto, se incluyen los acervos genéticos de especies silvestres, así como las formas cultivadas.

Iniciamos esta revisión de la función que cumplen las plantas silvestres en la historia de la agricultura, destacando los casos en los cuales las malezas a la larga se transforman en especies cultivadas. Las plantas que surgen espontáneamente en un campo se consideran generalmente una molestia, porque compiten con las cultivadas por los elementos nutritivos del suelo y la luz. Las malezas deben ser destruidas, olvidadas o toleradas, si se hace muy difícil erradicarlas. Algunas malezas ocasionalmente se transforman en plantas de cultivos si se las considera suficientemente útiles para guardar su semilla o sus estacas para la siembra. También trataremos las situaciones, poco frecuentes, en las que los genes han pasado espontáneamente entre las especies cultivadas y las silvestres, porque este antiguo intercambio genético algunas veces ha mejorado la resistencia de las primeras.

Aunque las plantas silvestres y cultivadas todavía ocasionalmente intercambian genes cuando crecen juntas, este importante flujo en dos sentidos de sus características está disminuyendo debido a la presión del pastoreo alrededor de los campos, a la eliminación de los cercos verdes para acomodar máquinas grandes y para aumentar la zona de cultivo, y al uso generalizado de herbicidas. Afortunadamente, los fitomejoradores están emprendiendo de nuevo el camino en el punto en que la naturaleza y la vista aguda de los agricultores tradicionales lo habían dejado. Aquí exploraremos algunas de las formas en que los científicos usan las especies silvestres para mejorar la resistencia a las enfermedades y plagas de las plantas cultivadas, para hacer variedades tolerantes al frío, para mejorar sus calidades nutricionales, y para acortarlas de manera que sean más fáciles de cosechar. En lugar de enumerar todos los atributos potencialmente útiles de las especies silvestres, nos concentraremos en algunos cruzamientos interespecíficos que han culminado en la liberación de líneas mejoradas o en la distribución de cultivares.

Las especies silvestres constituyen recursos vitales para los fitomejoradores, pero ellas se usan generalmente como último recurso. Los fitomejoradores rara vez están familiarizados con los parientes cercanos de las especies cultivadas, a menudo están desorientados por taxonomías confusas o incompletas, y prefieren trabajar con germoplasma élite (Harlan 1984). Los fitomejoradores primero acuden a los materiales mejorados contenidos en las colecciones de trabajo, para buscar los rasgos específicos. Si una búsqueda a través del material corriente no da como resultado el carácter deseado, generalmente se procede a examinar las razas nativas. Sólo después de examinar exhaustivamente el germoplasma disponible de la especie cultivada, los fitomejoradores pasan a considerar las plantas silvestres.

Las especies silvestres tienen en general más características indeseables que las líneas mejoradas o variedades; se requiere más trabajo por lo tanto para eliminar las características indeseadas en tanto se transfieren los caracteres valiosos a una

especie agrónomicamente apropiada (Hawkes 1977b). La caracterización inicial y la evaluación de las especies silvestres también pueden ser especialmente prolongadas y laboriosas. Puede demorar hasta quince años introducir un carácter valioso de una especie silvestre a un cultivar exitoso, y un tiempo aún mayor cuando se trata de especies perennes. En el caso del nematodo del nudo radical (*Meloidogyne incognita*), una plaga del tomate y de la papa, la resistencia se detectó primero en un tomate silvestre (*Lycopersicon peruvianum*), en 1941. En 1944 se logró un híbrido entre este tomate silvestre y las especies cultivadas (*L. esculentum*), con algunas dificultades. Pero no fue sino hasta 1956, después de quince años de retrocruzamiento con la especie cultivada, que finalmente se rompió la tenaz vinculación con las características de fructificación indeseables (Rick 1967). Este prolongado esfuerzo, en el cual participaron científicos de cuatro instituciones en Tennessee, California, Arkansas y Hawaii, condujo a la distribución de numerosas variedades de tomate con resistencia al nematodo del nudo radical.

En la discusión sobre el empleo de especies silvestres en el fitomejoramiento, exploraremos brevemente las barreras para el cruzamiento interespecífico y cómo superarlas. Ahora examinaremos el uso de especies "puente" para traspasar genes de las plantas silvestres a los cultivares, la selección de diploides con gametos no reducidos (número de cromosomas no dividido en mitades como en las células sexuales) al intentar hacer cruzamientos con tetraploides, y técnicas tales como la duplicación de los cromosomas con productos químicos y el rompimiento de los cromosomas con irradiación. Algunos métodos de mejoramiento más complejos que pueden resultar valiosos en el futuro, como la fusión celular, se trataron en el Capítulo 5. Finalmente, subrayamos la necesidad urgente de ampliar el alcance de las colecciones de germoplasma incluyendo más especies silvestres.

Las malezas y la evolución de las especies cultivadas

Las malezas en la historia de la agricultura han sido principalmente una maldición, pero también han proporcionado algunas bendiciones. Aunque las malezas invasoras persistentes hayan reducido los rendimientos agrícolas y hayan aumentado las dificultades de la vida agraria, ocasionalmente han aprobado genes útiles a las plantas cultivadas y a veces han sido domesticadas por sí mismas. Los campos infestados de malezas han servido como terreno de reclutamiento para nuevas especies cultivadas. Varias plantas hoy día cultivadas comenzaron como malezas de campo. El centeno (*Secale cereale*) y la avena se desarrollaron de las malezas que aparecían en los campos de cebada y de trigo en el Medio Oriente y en el norte y el occidente de Europa. En América Central, dos amarantos cultivados (*Amaranthus hypochondriacus*, *A. cruentus*) y el quenopodio (*Chenopodium nuttalliae*) fueron probablemente malezas que crecían en parcelas cultivadas (Wolf 1959:53). Carl Sauer (1969:145) ha sugerido que el amaranto, el frijol (*Phaseolus* spp.), la calabaza (*Cucurbita* spp.) y el maíz empezaron como malezas en campos sembrados con yuca y batata; en el oeste de Africa, algunos cereales pueden haber comenzado como malezas en los campos de ñame (Shaw 1976).

Las especies cultivadas que comenzaron como malezas han pasado a través de tres estados principales. Al principio se halaron, cortaron, o enterraron en el suelo. Luego, a medida que las malezas proliferaban, algunas fueron toleradas porque era demasiado molesto destruirlas o porque proporcionaban productos útiles como alimentos o paja. El próximo paso, la siembra, ocurrió cuando la maleza había acompañado a los agricultores durante un tiempo suficiente largo para que le encontraran uno o más usos y es decir que ya valía la pena cultivarla.

Los campos infestados de malezas han servido como "laboratorios" primitivos para el desarrollo de especies cultivadas. En el caso de las papas cultivadas (*Solanum* spp.), por ejemplo, los diploides herbáceos de *Solanum* han interactuado con las especies cultivadas para dar origen a nuevas formas domesticadas. La *S. ajanhuiri*, una papa diploide cultivada a una altitud de 3800-4100 metros por los indios aimará del sur de Perú y norte de Bolivia, surgió de la hibridación entre una papa cultivada (*S. stenotomum*) y una especie silvestre (*S. megistacrolobum*) (Hua-mán *et al.* 1980; Hawkes 1981). La última especie es responsable de la tolerancia a las heladas que presente *S. ajanhuiri*.

La papa común (*Solanum tuberosum*) es un tetraploide que contiene cuatro conjuntos de cromosomas y fue el resultado de un cruzamiento entre una especie diploide cultivada (*S. stenotomum*) y una especie diploide herbácea (*S. sparsipilum*). Las últimas especies impartieron resistencia al nematodo del nudo radical y la papa común se puede adaptar a una mayor diversidad de condiciones de cultivo que sus progenitores. La resistencia a los patotipos más virulentos de *Heterodera rostochiensis*, una seria plaga de nematodos, también ha llegado a la papa común a través de los cruzamientos amplios. La resistencia a esta destructora plaga se propagó a través de un tetraploide silvestre (*S. oplocense*) a *S. sucrense herbáceo* y de allí a *S. tuberosum* (Hawkes 1977b). Las papas herbáceas en los campos y alrededor de ellos, por lo tanto, han contribuido al desarrollo de nuevas papas y han mejorado la resistencia a las plagas y a los climas desfavorables.

También en otros cultivos las malezas han sido una fuente constante de genes nuevos para conferir resistencia a las plagas, a las enfermedades y al clima adverso. En el Medio Oriente, por ejemplo, el trigo, la avena y la cebada en ocasiones se cruzan naturalmente con sus parientes silvestres e intercambian genes de resistencia (Zohary 1970; Browning 1974). El trigo de panadería es un cruzamiento entre el trigo emmer (*Triticum dicoccon*) y una gramínea silvestre del género *Aegilops*; esta última es responsable de la tolerancia al frío del trigo de panadería (Feldman 1976; Hawkes 1980). La cebada se ha beneficiado de una introgresión continua de genes de parientes herbáceos cultivados dentro de los bordes de los campos o alrededor de ellos (Baker 1970b; Nevo *et al.* 1979). En el oriente de África, el millo dedo (*Eleusine coracana*) forma un híbrido con una maleza de campo relacionada, *E. indica* (Hussaini *et al.* 1977).

En América Central, el teosinte y quizás algunas especies de *Tripsacum*, parientes silvestres del maíz, han estado introcruzándose con el maíz durante miles

de años. Las gramíneas herbáceas representan algo de la rica diversidad y alta productividad del maíz en Mesoamérica (Galinat *et al.* 1956; Mangelsdorf *et al.* 1967; Wilkes 1972, 1985). El teosinte es una imitación cercana del maíz, y en México y Guatemala crece a lo largo los campos y en áreas de maíz; sólo cuando las plantas florecen es posible identificarlos en el campo. Los agricultores tradicionalmente eliminan el teosinte y otras plantas entre los surcos, pero dejan crecer el teosinte cuando brota a lo largo de los surcos sembrados. En Chalco, en el estado de México, el teosinte se cosecha junto con el maíz ya que sirve como alimento para el ganado. Algunos granos de teosinte pasan a través del organismo del animal y se reintroducen en los campos como abono. En el Valle Nobogame del occidente de la cadena montañosa de la Sierra Madre de México, los agricultores intuyen que el teosinte "ayuda" al maíz, y mezclan deliberadamente semillas de ambas especies cuando siembran (Wilkes 1977b). Los cruzamientos al azar de papa silvestre y papa domesticada, trigo, arroz, cebada, millo dedo, maíz y muchas otras plantas cultivadas han sido notados por los agricultores, y algunos de ellos han sido guardados para la propagación.

Los intercambios espontáneos de genes entre las plantas cultivadas y sus parientes silvestres todavía ocurren en los campos, especialmente en los países en desarrollo, pero este proceso de enriquecimiento es ahora menos común. El intenso uso de herbicidas en la agricultura moderna, por ejemplo, ha elevado claramente la producción, pero esta práctica generalizada excluye el flujo natural de genes en los campos entre las especies cultivadas y las silvestres. En América Central, la pesada presión de pastoreo ha eliminado las poblaciones de teosinte alrededor de los campos de maíz en muchas zonas; desde 1900 el rango de teosinte se ha reducido a la mitad (Wilkes 1972). Mientras algunas de las oportunidades evolutivas se acaban por culpa de los cambios en las prácticas agrícolas, los mejoradores actúan cada vez más como agentes para el flujo de genes útiles desde el germoplasma silvestre hasta las especies cultivadas.

Especies silvestres y mejoramiento

Como en el caso de las accesiones de las especies cultivadas, el germoplasma de las especies silvestres se aprovecha principalmente para extraer genes de resistencia a las enfermedades y plagas (Frankel 1977). En el caso de los virus patógenos de la papa, por ejemplo, se han usado muestras de una papa silvestre (*Solanum stoloniferum*) enviadas al *Max Planck Institute*, en la República Federal de Alemania, para desarrollar seis cultivares con considerable resistencia al virus Y de la papa (Ross 1979). Los fitomejoradores han usado las colecciones exhaustivas de especies silvestres del *Inter-Regional Potato Germoplasm Collection* en Sturgeon Bay, Wisconsin, para transferir inmunidad al virus X de *Solanum acaule* e inmunidad a los virus A e Y de *S. stoloniferum* y *S. chacoense*, a la papa cultivada (Creech 1970). Con más de veinte especies silvestres que contribuyen con genes para la papa, este cultivo es uno de los mejores ejemplos de la importancia que tienen las especies silvestres para el fitomejoramiento.

Las especies silvestres también han sido útiles para los mejoradores que intentan combatir una enfermedad vírica de otra planta de raíces comestibles, la yuca. La enfermedad del mosaico de la yuca es un problema generalizado en África y partes de Asia; la única resistencia hallada hasta ahora ha sido ubicada en una especie silvestre (*Manihot dichotoma*) y en el caucho Ceará (*M. glaziovii*), una especie silvestre de América del Sur que se ha cultivado en zonas limitadas de África y del sudeste asiático por su látex, que se usa para hacer un caucho inferior (Hahn *et al.* 1979 1980a; Beck 1982). Los cruzamientos entre el caucho Ceará y la yuca comenzaron en el oriente de África en 1937 con cierto éxito, pero no se adelantó mucho más sobre este proyecto hasta que los científicos del Instituto Internacional de Agricultura Tropical en Ibadán, Nigeria, reanudaron los trabajos sobre la resistencia al mosaico de la yuca. Afortunadamente, una línea de un cruzamiento interespecífico anterior se había mantenido en Nigeria y los investigadores del IITA usaron esta línea para su trabajo de mejoramiento por resistencia. Ahora se ha incorporado resistencia a la enfermedad en líneas de alto rendimiento que actualmente se están evaluando para distribuir en India y en varios países africanos (Hahn *et al.* 1980b; Terry y Hahn 1982).

Una avena silvestre, *Avena sterilis*, ha proporcionado resistencia al virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) en variedades de avena recientemente liberadas en los Estados Unidos y Canadá (Comeau 1984). La avena silvestre ahora se usa ampliamente en el mejoramiento de la avena. Para evitar epidemias de BYDV en *A. abyssinica*, una avena cultivada en Etiopía, se ha recomendado un programa de cruzamiento con una especie silvestre, *A. barbata* (Comeau 1984). La susceptibilidad de las razas nativas de avena etíopes al BYDV sirve para ilustrar el hecho de que las variedades tradicionales pueden producir rendimientos más estables que los cultivares modernos, aunque a niveles inferiores, pero no son inmunes al ataque de enfermedades y plagas.

Las especies silvestres han servido como último recurso para los mejoradores que seleccionan germoplasma por resistencia a las enfermedades causadas por hongos. Ya en 1908, *Solanum demissum* se empleaba para transferir resistencia al añublo tardío en la papa cultivada (Ross 1979). Aunque esta importante resistencia genética sólo duró hasta 1936, cuando aparecieron nuevas razas del hongo del añublo tardío, *S. demissum*, ella ha contribuido a mejorar la producción de papa durante varias décadas. Aún hoy, esta papa silvestre proporciona genes menores que han impartido alguna resistencia a este ubicuo hongo en variedades de papa cultivadas (Watson 1970). El Centro Internacional de la Papa (CIP), por ejemplo, ha empleado germoplasma de *S. demissum* y razas nativas de la papa común para ayudar a liberar numerosas variedades de papa en 18 países con variados grados de resistencia al añublo tardío (Cuadro 8.1).

Cuadro 8.1. Fuentes de clones de papa con resistencia al añublo tardío introducidas por el Centro Internacional de la Papa (CIP) a los países en desarrollo (CIP 1984:66).

| País | Clon y Fuente | Caracteres Principales |
|-------------|------------------------|------------------------|
| Burundi | Sangema (México) | AT |
| Colombia | ICA Sirena (Wisconsin) | AT |
| Costa Rica | BR 63.65 (Wisconsin) | AT, MB, PLRV |
| | B-71-240.2 (Argentina) | AT PLRV |
| Ecuador | INIAP Bastidas (CIP) | AT |
| El Salvador | India 830 (India) | AT |
| Etiopía | Anita (México) | AT |
| Fiji | Domoni (Wisconsin) | AT, MB, PLRV |
| Kenia | BR 63.76 (Wisconsin) | AT, MB, PVY |
| | I-1035 (India) | AT |
| Madagascar | CGN-69.1 (Suecia) | AT |
| | ASN-69.1 (México) | AT |
| | América (Wisconsin), | AT, MB |
| | CFK-69.1 (México) | AT |
| Malawi | BR 63.76 (Wisconsin) | AT, MB |
| | Rosita (México) | AT |
| Nepal | CFK-69.1 (México) | AT |
| | BR 63.76 (Wisconsin) | AT, MB |
| | CFJ-69.1 (México) | AT, Verruga |
| | CFM-69.1 (México) | AT, Verruga |
| Nigeria | NPI-106 (Alemania) | AT, Verruga, PLRV, PVY |
| | NPI-108 (Alemania) | AT, Verruga, PLRV, PVY |
| Perú | BR 63.76 (Wisconsin) | AT, MB |
| | Molineria (Wisconsin) | AT, MB, PLRV |
| Ruanda | Caxamarca (Wisconsin) | AT, MB, PLRV |
| | Amapola (Wisconsin), | AT, MB |
| | Perricholi (CIP) | AT |
| | Gahinda (México) | AT |
| | Kinigi (CIP) | AT |
| | Nseko (México) | AT |
| Sri Lanka | Gasore | AT |
| | Montsama (México) | AT, Temprana |
| | Sangema (México) | AT, TC |
| | Sita (India) | AT, TC |
| Tanzania | Krushu (India) | AT, TC |
| | CGN-69.1 (Suecia) | AT |
| Vietnam | BR 63.76 (Wisconsin) | AT, MB |
| | Dalat 004 (México) | AT |
| | Dalat 006 (Argentina) | AT, PLRV |
| Zaire | Dalat 012 (México) | AT |
| | Sangema (México) | AT |
| | Montsama (México) | AT, Temprana |
| | Atzimba (México) | AT |
| | Nseko (México) | AT |
| | BR 63.76 (Wisconsin) | AT, MB |

Fuente: CIPm 1984:66

Abreviaturas:

- AT = resistencia al añublo tardío
- MB = resistencia al marchitamiento bacteriano
- PLRV = resistencia al virus del enrollamiento de la hoja de papa
- PVY = resistencia al virus Y de la papa
- TC = tolerancia al calor
- Verruga = resistencia a las verrugas.

También se ha transferido resistencia a los hongos desde las especies silvestres a los cultivos de plantación. Una variedad de caña de azúcar silvestre (*Saccharum spontaneum*), recogida en Java, por ejemplo, proporcionó resistencia a la pudrición roja en caña de azúcar cultivada y de ese modo ayudó a establecer una próspera industria azucarera en India (Martin 1965; Prescott-Allen y Prescott-Allen 1982b:62). Se ha ubicado resistencia al moho azul, una enfermedad muy destructora del tabaco, en una especie silvestre, *Nicotiana debneyi* (Lucas 1980). Los primeros cultivares de tabaco con resistencia al moho azul, todos derivados de los cruzamientos con *N. debneyi*, se liberaron en Europa en 1962. Desgraciadamente, los cultivares resistentes al moho azul son muy susceptibles a otras enfermedades y plagas, de manera que los mejoradores están trabajando para obtener variedades resistentes al moho azul, que sean inmunes a una amplia diversidad de organismos patógenos.

Las enfermedades bacterianas también han instado a los mejoradores de cultivos a buscar germoplasma silvestre para obtener genes de resistencia. El caucho Ceará, por ejemplo, especie usada en el mejoramiento por resistencia a la enfermedad del mosaico de la yuca, es también una fuente de resistencia genética al añublo bacteriano de la yuca (Hahn 1978). Y en las plantaciones de algodón de Sudán, la resistencia al añublo bacteriano también se debe a una especie silvestre, *Gossypium anomalum* (Prescott-Allen y Prescott-Allen 1982b:61).

Los mejoradores que trabajan en la obtención de resistencia a las enfermedades utilizan los recursos de germoplasma no sólo para enfrentar las dificultades actuales sino también para evitar los problemas potenciales. Los peligros de producir híbridos basados en una fuente única de esterilidad citoplasmática masculina ya han sido destacados en el caso del brote de añublo sureño de la hoja de maíz en los Estados Unidos, en 1970. Una similar vulnerabilidad a la enfermedad ha surgido con la siembra generalizada de remolacha azucarera híbrida (*Beta vulgaris*), un importante cultivo comercial en muchos países de clima templado. Actualmente sólo se emplea una fuente de esterilidad citoplasmática masculina en híbridos de remolacha azucarera, lo que ha originado una reducción genética del germoplasma de esta planta. Se ha descubierto tres fuentes nuevas de esterilidad citoplasmática masculina en remolachas silvestres, y estas remolachas silvestres se están cruzando con la remolacha azucarera para proveer nuevos genes para fijar este carácter útil (Bosemark 1979).

La resistencia a las plagas ocupa también un puesto alto en la lista de prioridades de los mejoradores, y nuevamente las especies silvestres han comprobado su utilidad en una serie de cultivos. El banco de germoplasma de tomate de la Universidad de California en Davis, aunque relativamente pequeño, según las normas de los bancos genéticos, con aproximadamente 500 accesiones, ha podido ayudar a los mejoradores porque el material almacenado ha sido evaluado y porque las especies silvestres están también representadas. Un tomate silvestre (*Lycopersicon hirsutum*) del occidente de Ecuador y Perú, por ejemplo, resiste dos especies de araña roja, una especie de minador de las hojas, una especie de mosca blanca de invernadero, la pulga del tabaco y el escarabajo colorado de la papa (Rick 1973). Esta



Figura 8.1. Especies silvestres de papa (*Solanum* spp.) examinadas por resistencia a las plagas y enfermedades en la subestación de Huancayo en el Centro Internacional de la Papa, Perú, 1982.

especie de tomate posee glándulas que emiten un olor acre que aparentemente ahuyentan las plagas (Rick 1979). Este cuerno de la abundancia de genes útiles, reunidos en una sola especie, será seguramente útil para los mejoradores del tomate en el futuro.

La papa también sufre el ataque de numerosas plagas y las especies silvestres se han empleado en programas de mejoramiento para combatirlas (Figura 8.1). En el caso de los gusanos barrenadores que se introducen a los tubérculos en crecimiento, por ejemplo, se ha cruzado una papa silvestre (*Solanum vernei*) con la principal especie cultivada (*S. tuberosum*) para conferir resistencia a varios patotipos de *Globodera pallida*, una plaga de nematodo cístico de especial virulencia en los Andes y en Europa (Ross 1979). Esta papa silvestre ha sido la fuente de resistencia para once cultivares modernos en los Países Bajos y en Alemania Occidental. La resistencia a las razas más virulentas de nematodos (*Heterodera* spp.) sólo se halla en las papas silvestres (*S. vernei*, *S. famatinae*, *S. infundibuliforme*, *S. gourlayi*) (Hawkes 1958, 1977a). Además, parece que los genes resistentes a los nematodos se confinan a la papa silvestre del norte de Argentina, Bolivia y sur del Perú.

La resistencia a las heladas en la papa se deriva principalmente de las especies silvestres, especialmente *Solanum acaule*, *S. megistacrolobum* y *S. demissum* (Ross y Rowe 1969; Hawkes 1983:95). La resistencia a las heladas en la papa cultivada

es el resultado del cruzamiento espontáneo con especies silvestres. Algunas accesiones de papa silvestre (*Solanum acaule*) en *Sturgeon Bay Inter-Regional Potato Germplasm Collection* han conferido tolerancia al frío a la especie cultivada común (*S. tuberosum*), además de resistencia al virus X (Creech 1970). También se ha transferido con éxito la tolerancia al frío de las especies silvestres de menta, uva, fresa, trigo, centeno y cebolla a sus parientes cultivados (Stalker 1980). La arveja y el trigo silvestre tolerantes al calor y a la sequía han conferido los genes responsables de estos caracteres a sus primos cultivados, y el tomate silvestre ha contribuido con la tolerancia a la salinidad (Stalker 1980; Harlan 1984).

Las especies silvestres a veces contienen más proteínas que sus formas cultivadas (Harlan 1984). El contenido proteínico de algunas variedades de yuca, por ejemplo, ha aumentado como resultado de los cruzamientos realizados con dos especies silvestres, *Manihot melanobasis* y *M. iristis* (Jennings 1976).

Los científicos rusos han cruzado el trigo invernal con un trigo silvestre (*Agropyron glaucum*) para mejorar el contenido de proteína de los granos de trigo y heno (Tsitsin y Lubimova 1959). Un diminuto tomate silvestre (*Lycopersicon pimpinellifolium*) ha proporcionado los genes para lograr un mayor contenido de vitaminas en la especie cultivada (Rick 1979). Una especie silvestre de algodón (*Gossypium thurberi*), que crece desde Arizona hasta México, ha conferido resistencia a la fibra del algodón de secano (*G. hirsutum*), la especie más difundida de las cuatro especies de algodón cultivadas (L. L. Phillips 1976).

Se está intentando reducir la altura de la palma de aceite africana cruzando las especies, *Elaeis guineensis* del occidente de África con *E. oleifera*, una palma corta, silvestre, de las tierras bajas de América del Sur (Hardon 1976). Una especie silvestre de arroz (*Oryza sativa spontanea*), de la Isla Hainan, es la fuente de esterilidad citoplasmática masculina para el arroz híbrido en China, donde el arroz híbrido ahora cubre siete millones de hectáreas y representa un cuarto de la zona dedicada a este cereal (Swaminathan 1984b).

En algunos casos es difícil especificar cómo han contribuido las especies silvestres a una mejor producción agrícola, porque los cruzamientos interespecíficos se han hecho de una manera rutinaria durante mucho tiempo. En el caso de la caña de azúcar, por ejemplo, las especies silvestres han sido una parte integral del mejoramiento desde 1880 (Brandes y Sartoris 1936; Grassel 1965; Daniel *et al.* 1975). En 1880, una epidemia de la enfermedad sereh, probablemente causada por un virus, en los campos de caña de azúcar de Java desencadenó una búsqueda de materiales resistentes y se ubicaron genes de resistencia en una caña silvestre (*Saccharum spontaneum*) y en algunas variedades de caña de azúcar fuera de Indonesia. La inclusión de germoplasma de *S. spontaneum* y de cultivares exóticos en los programas de mejoramiento de caña de azúcar de Java condujo al desarrollo de las famosas cañas nobles, de alto rendimiento (Brandes y Sartoris 1936). Casi todas las principales variedades de caña de azúcar cultivadas en el mundo contienen germoplasma de *Saccharum spontaneum*, el que ha conferido resistencia a varios organismos patógenos, incluyendo la enfermedad del mosaico (Ramawas y Nagai 1984; Stalker 1980). Virtualmente todos los cultivares comerciales desarrollados por la

Hawaiian Sugar Planter's Association (HSPA) a principios de la década de los 60 contienen genes de las cañas silvestres *S. robustum*, *S. spontaneum* y *S. sinense* (Heinz 1967). El germoplasma silvestre que contiene la caña de azúcar comercial de Hawaii es una de las principales causas de la estabilidad y de la alta productividad de los cultivares en Hawaii; las especies silvestres han proporcionado vigor y resistencia a las plagas y enfermedades. Estas especies también han contribuido significativamente a la productividad de la caña de azúcar en el Caribe.

Por la manera en que la estación experimental de la *Hawaiian Sugar Planter's Association* (HSPA) efectúa sus cruzamientos, es difícil identificar qué especies silvestres han contribuido con sus características específicas en Hawaii. La HSPA usa un método de policruzamiento para aumentar el número de cruzamientos que se pueden realizar en un año. Con este método, varios clones diferentes próximos a la maduración se cortan y se ponen en una solución débil conteniendo ácido sulfúrico, donde sobreviven por un mes aproximadamente. El progenitor femenino entonces recibe polen de los clones vecinos. Las semillas del progenitor femenino se recogen y se dejan germinar para los exámenes; más de un millón de plántulas se prueban cada año, y sólo una fracción diminuta se convierte finalmente en cultivares comerciales.

Superando las barreras del cruzamiento amplio

Las especies silvestres que están estrechamente relacionadas con las cultivadas son relativamente fáciles de cruzar con éstos, pero otras desafían las habilidades y técnicas de los científicos. Como regla general, el cruzamiento amplio es más fácil entre especies del mismo género; sin embargo, se han logrado algunos cultivos híbridos entre plantas de diferentes géneros. Hasta ahora, sin embargo, no ha sido posible cruzar especies de familias diferentes. Muchos de los cruzamientos amplios de rutina realizados actualmente por los mejoradores, como los cruzamientos de maíz x *Tripsacum* en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), no fueron posibles sino hasta este siglo, cuando se conoce más sobre la genética y la citología y se han perfeccionado las microtécnicas para la manipulación del germoplasma vegetal.

Uno de los problemas más comunes del cruzamiento amplio es el cruzamiento de plantas con números cromosómicos no armonizados (diferentes niveles de ploidía y diferentes números cromosómicos básicos). Es más fácil cruzar plantas diploides si cada una contiene dos conjuntos de cromosomas ($2n$) que, por ejemplo, intentar formar un cruzamiento entre una planta diploide ($2n$) y una tetraploide ($4n$), o donde los progenitores del cruzamiento tienen diferentes números cromosómicos básicos, como en los cruzamientos de maíz x *Tripsacum* (el maíz tiene 20 cromosomas, mientras que *Tripsacum* tiene 36). En el caso de la papa, el número cromosómico (x) haploide (n) es 12; la papa diploide por lo tanto tiene 24 cromosomas, la triploide 36, la tetraploide 48, la pentaploide 60 y la hexaploide 72 cromosomas

($6x = 72$). La papa común (*Solanum tuberosum*) es un tetraploide, pero se pueden hallar muchos genes útiles en las papas silvestres, tres cuartos de las cuales son diploides (Smith 1983a).

Las barreras de la ploidía se pueden superar de varias maneras. Una es el cruzamiento de papas diploides y tetraploides para obtener especímenes de una papa diploide con gametos no reducidos. En dichas plantas no se presenta la división por reducción normal en la formación de gametos (células sexuales) y los gametos son $2n$ en vez de n . Esto hace que las células del huevo tengan un conjunto completo de cromosomas (24) en vez de la mitad (12), como es normal. El adoptar la "ruta" de gametos no reducidos ha permitido a los mejoradores introducir a los genes de la papa común una codificación por resistencia a las enfermedades causadas por virus azafrán y por nematodos císticos, a partir de *Solanum chacoense* y *S. vernei*.

Otra manera de cruzar especies con diferentes niveles de ploidía es duplicar el número de cromosomas con colchicina, un producto químico derivado de los bulbos florales del *crocus* otoñal. De esta manera, las papas diploides pueden hibridar con especies triploides y tetraploides. Las características útiles de las especies silvestres perennes de *Medicago*, una importante leguminosa forrajera, han sido transferidas a las especies cultivadas después de una duplicación cromosómica artificial (Von Borstel y Lesins 1977).

Una tercera manera para que los mejoradores pasen los genes entre plantas con diferentes niveles de ploidía es empleando una especie puente. Una planta puente puede cruzarse con una especie silvestre, así como con el cultígeno, y se usa cuando cualquiera de estos dos no podría intercambiar genes de otro modo. Un puente triploide ha permitido el paso de genes deseables de la planta silvestre (*Triticum boeoticum*), una gramínea diploide, al trigo durum (*Triticum turgidum*), un tetraploide (Watson 1970). El trigo durum a la vez ha servido como puente para transmitir resistencia para la enfermedad causada por *Pseudocercospora herpotrichoides* al trigo de panificación (Doussinault *et al.* 1983). Las infecciones graves de *P. herpotrichoides* causan acame (colapso del tallo) y la enfermedad ha producido graves reducciones de rendimiento en los trigales de las Américas, Europa, Nueva Zelanda, Australia y África. Las variedades examinadas mostraron poca resistencia a esta enfermedad fúngica. Se localizaron altos niveles de resistencia a esta enfermedad en una gramínea silvestre (*Aegilops ventricosa*) y se introdujo esta resistencia en el trigo de panificación hexaploide a través del trigo durum tetraploide. Otra gramínea silvestre (*A. speltoides*) se usó como puente para transferir al trigo de panificación la resistencia a la roya amarilla (*Puccinia striiformis*), con base en una gramínea silvestre relacionada (*A. comosa*), autóctona de la zona del mar Egeo (Riley *et al.* 1968).

En ciertos casos, también se ha usado la irradiación para facilitar el cruzamiento amplio (Harlan 1976). Las dosis altas de radiación de onda corta inducen la rotura cromosómica, permitiendo de ese modo nuevas recombinaciones. Las células del tomate, a punto de dividirse (pre-meiosis), han sido bombardeadas con rayos X para

romper las barreras de cruzamiento entre dos especies de papas (Rick 1967). Se ha irradiado la progenie de un cruzamiento entre *Triticum turgidum dicoccoides*, usado como puente, y *Aegilops umbellata*, una fuente de resistencia a la roya de la hoja, para translocar el gen de resistencia de *A. umbellata* a un cromosoma del trigo (Prescott-Allen y Prescott-Allen 1983). En la mayoría de las especies cultivadas, sin embargo, no se usa comúnmente la irradiación para el mejoramiento, aunque hace varios años se pensaba que la irradiación era una herramienta más promisoría. Un gran problema de la irradiación es que puede causar mutaciones nocivas y anomalías. Las cepas que han mutado artificialmente pueden ser útiles para el mejoramiento, pero pueden complicar la ya difícil tarea del cruzamiento amplio.

No importa qué método se use para superar las barreras del cruzamiento amplio, normalmente se requiere un retrocruzamiento considerable con el progenitor de la planta cultivada para lograr una línea agrónomicamente aceptable. Para mejorar el vigor de los cruzamientos amplios, los científicos del CIMMYT usan diferentes progenitores del trigo para el retrocruzamiento. En algunos casos, los cruzamientos iniciales tienen que repetirse numerosas veces antes de obtener una progenie fértil. Las semillas del primer cruzamiento entre especies diferentes a veces se deben tratar con un producto químico llamado giberelina para obligarlas a germinar (Dionne 1963). La giberelina es también utilizada por el CIMMYT para promover el crecimiento de los tubos del polen y para mejorar el desarrollo del endosperma en la semilla F1 de los cruzamientos amplios de trigo. Además, los embriones de los cruzamientos iniciales pueden requerir un cuidadoso cultivo *in vitro* para asegurar su supervivencia. Por ejemplo, la mayoría de los híbridos entre el tomate cultivado y una especie silvestre, *Lycopersicon peruvianum*, una fuente especialmente útil para mejorar el contenido de vitamina C y para obtener resistencia al marchitamiento manchado, al ápice rizado, al marchitamiento por *Verticillium* y nematodo del nudo radical, han tenido que ser asegurados mediante el cultivo de embriones (Rick y Smith 1953).

Especies silvestres en bancos genéticos

A pesar de la importancia que tienen las especies silvestres para el mejoramiento de las cultivadas, ellas han sido generalmente descuidadas en la recolección de germoplasma. Las razones para ignorar las especies silvestres durante los viajes de recolección incluyen el hecho que el cruzamiento amplio es dispendioso y a menudo difícil, que existe poca o ninguna información disponible acerca de las calidades potencialmente útiles de estas especies, como su resistencia a los insectos o a las enfermedades, y que los mejoradores de especies cultivadas se han ocupado generalmente de obtener materiales precoces y de alto rendimiento. Por otra parte, muchas gramíneas y leguminosas silvestres son especialmente difíciles de mantener en bancos genéticos porque el rendimiento de semilla es a menudo muy bajo durante la regeneración; las cubiertas de las semillas se rompen, derramando su contenido en el suelo; y las especies silvestres son sensibles al fotoperíodo (Chang

1976b:26; Harlan 1976). Además, las especies silvestres a menudo demoran mucho tiempo para madurar, lo que significa que las semillas tienen que cosecharse casi diariamente, lo que aumenta los costos, o su tiempo de floración no se sincroniza con el de los cultivares de interés.

Las especies silvestres representan generalmente menos del 2 por ciento de las accesiones de los bancos genéticos (Cuadro 8.2). Sólo se ha recogido y preservado en bancos genéticos, en forma bastante completa, los parientes silvestres del trigo, de la papa (Figura 8.2), del tomate, y, en forma limitada, del maíz. Queda todavía trabajo por hacer en la obtención de más material silvestre para programas de cruzamiento con esas importantes plantas alimenticias. El *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR) da énfasis especial a la colección de especies silvestres en las futuras misiones (IBPGR 1983b:7).

Cuadro 8.2 Especies silvestres como porcentaje de las posesiones totales en las principales colecciones de germoplasma (IBPGR 1983c:8).

| Cultivo | Mantenido por Centros Internacionales de Investigación | Mantenido en Todas las Colecciones |
|---------------------------|--|------------------------------------|
| Cereales | | |
| Arroz | 2.0 | 2.0 |
| Sorgo | 1.4 | 0.5 |
| Millo perla | 0.1 | 0.2 |
| Cebada | 0.001 | 0.5 |
| Trigo | 0 | 10.0 |
| Maíz | 1.0 | 0.02 |
| Millos menores | 0.1 | 0.1 |
| Cultivos de Raíces | | |
| Papa | 2.0 | 20.0 |
| Yuca | 1.0 | 1.2 |
| Batata | 0 | 0.1 |
| Leguminosas | | |
| Frijol | 0.5 | 0.5 |
| Garbanzo | 0.1 | 0.1 |
| Caupí | 0 | 0 |
| Maní | 0.2 | 0.3 |
| Gandul | 0.4 | 0.05 |

Fuente: IBPGR 1983c:8

Las especies silvestres contribuyen cada vez más al mejoramiento de las especies cultivadas (Harlan 1976; Knott y Dvorak 1976). Para algunas de éstas, como el maíz, el trigo y la cebada, las especies silvestres sólo se emplean ocasionalmente en los programas de mejoramiento. Pero para otras, especialmente para la papa común,



Figura 8.2. Especies silvestres de papa tuberosa *Solanum* cosechadas en pruebas de evaluación en el Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú, 1983.

las especies forrajeras y las especies forestales, el germoplasma silvestre se aprovecha con frecuencia. A medida que se recoga y evalúe más especies silvestres, las formas silvestres de las plantas cultivadas serán cada vez más usadas en los programas de mejoramiento. Phillips (1976), por ejemplo, considera que la tendencia en las prácticas de mejoramiento del algodón conduce a una mayor explotación de las especies silvestres, en parte como respuesta al deseo de evitar los daños ambientales que resultan de las intensas aplicaciones de plaguicidas en muchas fincas algodoneras. Los mejoradores generalmente consideran que se utilizará cada vez más las especies silvestres para obtener resistencia a las enfermedades. Por ejemplo, ahora que el germoplasma silvestre de maní ha sido objeto de una mejor recolección y evaluación y que los científicos han logrado cruzar el maní con trece especies silvestres, los mejoradores de esta planta acudieron sin duda con mayor frecuencia a las especies silvestres para obtener resistencia a las plagas y enfermedades (ICRISAT 1985). Los parientes silvestres del maní muchas veces contienen los únicos genes de resistencia a ciertas enfermedades (Musgo 1980).

Los avances de la biotecnología también conducirán a un mayor uso de las especies silvestres en el trabajo de mejoramiento. Muchas especies que actualmente

no se pueden cruzar, ni aun usando técnicas como la duplicación cromosómica y especies puente, probablemente podrán intercambiar genes cuando los métodos de ADN recombinante estén más avanzados (Wolf 1985). Cuando la fusión de protoplastos sea más precisa y se identifiquen vectores efectivos para el ADN recombinante, por ejemplo, se podrá pasar genes entre plantas biológicamente muy separadas.

La biotecnología no hará, sin embargo, que las colecciones de germoplasma de especies silvestres y de variedades cultivadas sean redundantes (Pavón 1984). Tampoco es probable que el tiempo necesario para desarrollar líneas apropiadas a partir de cruzamientos amplios se acorte significativamente. Todavía se necesitará tener paciencia y hacer numerosos retrocruzamientos para desarrollar variedades deseables. Aunque ahora sea posible sintetizar algunos genes en el laboratorio, los bancos siguen siendo esenciales.

Los científicos necesitan modelos de los genes que ocurren naturalmente para descodificarlos y poder copiarlos. Por lo tanto, los avances de la biotecnología aumentarán el valor de los bancos genéticos. Además, algunas plantas están a punto de ser domesticadas, y muchas otras podrían transformarse en especies cultivadas (Hinman 1984). De las 200.000 especies de plantas de floración, 5000 se usan para diversos fines, pero unas 500 especies únicamente han sido domesticadas y menos de 150 son importantes para el comercio o la subsistencia (Wilkes 1984).

Es esencial recoger tanto germoplasma silvestre como sea posible antes de que se extinga. Si bien es cierto que se ha logrado recuperar algo de ADN del cuero de un mamífero extinto, sólo una fracción diminuta de su código genético estaba intacta. Es poco probable que los científicos puedan recrear organismos vivos de especímenes preservados, ya sea preservados en una botella como encurtidos o apretados entre las hojas de un herbario. Como sugiere el título del libro editado por Prance y Elías (1977), la extinción es para siempre.

EL CASO DEL CULTIVAR DE ARROZ IR36

Por ser pocas las personas que tienen la oportunidad de aprender cómo se utilizan los recursos genéticos para mejorar nuestras especies cultivadas, expondremos en detalle la forma en que fueron utilizados materiales cultivados y silvestres del arroz para producir la variedad de arroz más ampliamente sembrada en la historia, la IR36. Es una historia fascinante, pero no es única; se podría escribir historias similares para las variedades populares de trigo, maíz, o leguminosas de granos. Pero la historia de IR36 es un buen ejemplo de cómo trabajan los fitomejoradores y otros científicos agrícolas para producir las plantas que nos alimentan. Esta variedad se transformó en el arroz más cultivado del mundo en sólo unos pocos años, y su rápida adopción es especialmente importante por el gran número de personas que nutre.

La historia de IR36 es también significativa porque esta variedad semi-enana es producto de la cooperación internacional. IR36 fue producido por el *International Rice Research Institute* (IRRI) (Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz) en colaboración con algunos países en desarrollo y naciones industriales. La genealogía de IR36 contiene líneas de arroz de seis países (Figura 9.1). Esta variedad proporciona un buen ejemplo de la tendencia que tiene la investigación agrícola a tomarse en una empresa global e ilustra la importancia de los bancos genéticos y de la cooperación internacional en la conservación y mejoramiento del germoplasma. La historia de IR36 también subraya el valor de los exámenes de germoplasma en localidades donde la presión de enfermedades e insectos es especialmente intensa, e ilustra el uso de materiales escogidos y silvestres en el mejoramiento.

Mejoramiento moderno del arroz

La era moderna de mejoramiento del arroz ha progresado rápidamente desde la Segunda Guerra Mundial, especialmente desde el establecimiento del IRRI en

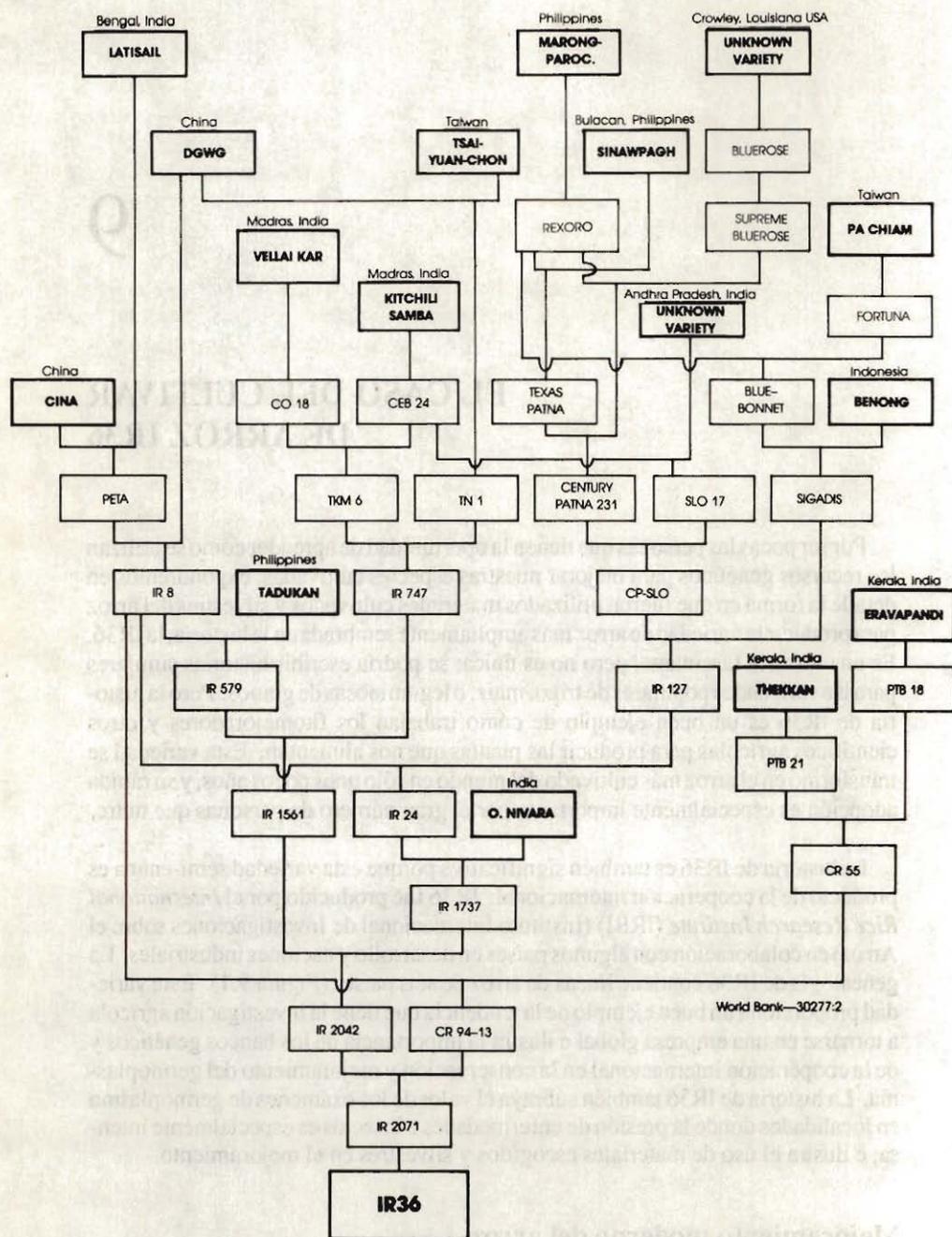


Figura 9.1. Ancestros of IR36. (Información de W.R. Coffman, com. pers.).

Continuación del cuadro 9.1

| Variedad | Año | 1 | 2 | 3 | Retardo | Tungro | SV | PI | AB | BT |
|----------|------|---|----|---|---------|--------|----|----|----|----|
| IR58 | 1983 | R | R | S | R | R | R | R | R | MR |
| IR60 | 1983 | R | R | R | R | R | R | R | R | MR |
| IR62 | 1984 | R | R | R | R | MR | R | MR | R | MS |
| IR64 | 1985 | R | MR | R | R | R | R | MR | R | MR |
| IR65 | 1985 | R | R | S | R | R | R | MR | R | MR |

Abreviaturas:

CHP = Chicharrita Parda

CHV = Chicharra Verde

AB = Añublo Bacteriano

BT = Barrenador del Tallo

PI = Piricularia

S = Susceptible

MS = Moderadamente Susceptible

R = Resistente

MR = Moderadamente Resistente

SV = Saltahojas Verde

Durante 1968 y 1969, los campos de IR8 sufrieron fuertes ataques de añublo bacteriano y en 1970 el virus del tungro causó pérdidas generalizadas en Filipinas. Además, en algunas zonas la gente se quejaba de la inferior calidad de los granos de IR8. El programa de mejoramiento del IRRI, en estrecha cooperación con los programas nacionales, abordó estas inquietudes. Cada una de las variedades desarrolladas después del lanzamiento de IR8 en 1966 tenía más atributos deseables; al principio una mejor calidad de granos y luego una mayor resistencia a ciertas plagas y enfermedades. IR20, liberada en 1969, reemplazó a IR8 en un par de años, pero fue dañada gravemente por el biotipo 1 de la chicharrita parda (*Nilaparvata lugens*) y por el virus del retardo grasoso del crecimiento, en 1973. IR26, que era resistente a la chicharrita parda se liberó en el mismo año, y ya en 1975 había dominado rápidamente la producción de arroz en Filipinas. También se convirtió en la variedad de arroz más ampliamente sembrada en Indonesia y Vietnam. Pero nuevamente, la capacidad de las plagas y enfermedades para mantenerse a la altura de los progresos en variedades nuevas de especies cultivadas se hizo evidente cuando apareció un nuevo biotipo de chicharrita parda, que no podía ser controlado por el tipo de resistencia lograda en IR26. Afortunadamente, los científicos habían previsto la evolución de otra raza de chicharrita parda y, en 1976, la variedad IR36, con mayor resistencia a ese insecto, fue preparada para su distribución. En un año IR36 reemplazó a IR26 como la principal variedad y hoy día es el arroz más ampliamente sembrado en Filipinas (Figura 9.2). En 1982, IR36 cubría 11 millones de hectáreas de las tierras arroceras de Asia, lo que hizo de ella la variedad de arroz más ampliamente sembrada en la historia (Swaminathan 1982).



Figura 9.2. Cosecha de IR36 cerca de Los Baños, Filipinas, enero 1985.

La trayectoria hacia IR36 y más allá

Ganarle la carrera a las actuales y nuevas plagas, enfermedades y dificultades de manejo de los cultivos requiere un equipo de investigación enérgico y bien apoyado, con experiencia en áreas como fitopatología, entomología, fisiología vegetal, agronomía, suelos y fitomejoramiento. Los equipos interdisciplinarios deben ser capaces de identificar los problemas clave y de hallar métodos para superarlos; además, deben poder prever los problemas futuros y elaborar técnicas para manejarlos, preferentemente antes de que disminuya la productividad agrícola. Es por lo tanto esencial realizar una buena investigación sobre la biología y la potencial propagación de las plagas y de las enfermedades, como lo es también realizar un trabajo de calidad en el manejo de los problemas que acompañan comúnmente la adopción de las tecnologías modernas que producen mayores rendimientos. Es casi axiomático que, a medida que aumentan los rendimientos, mayor es el esfuerzo necesario para mantenerlos (Plucknett y Smith 1986b). La agricultura de bajo rendimiento puede ser más estable, pero es a menudo tan improductiva que no resulta lucrativa y es incapaz de alimentar las rápidamente crecientes poblaciones urbanas y rurales.

Durante la década de los 60, los científicos consideraron que la piricularia, el saltahoja verde, el añublo bacteriano y el virus tungro eran limitaciones importantes para la producción de arroz y en consecuencia estudiaron su biología y sus

patrones de virulencia, en forma intensiva. Después de examinar el germoplasma, los científicos procedían a ubicar resistencia a estos problemas. Luego los materiales resistentes pasaban a manos de los fitomejoradores para que las características deseables fueran incorporadas en líneas nuevas más robustas y de alto rendimiento. Cuando era posible, se buscaba más de una fuente de resistencia genética a cada plaga o enfermedad para aumentar las oportunidades de obtener una resistencia más prolongada. Los patólogos y los entomólogos también controlaban las enfermedades y plagas menores en los campos, las cuales podrían ocasionar serios problemas en el futuro. La chicharrita parda y el retardo grasoso del crecimiento recibieron una atención especial porque los cultivadores de arroz en muchas zonas podían hacer varias siembras al año, después de la introducción de las variedades IR, con sus cada vez más cortos períodos de cultivo; los ciclos de cultivo acelerados con una misma variedad crean un ambiente propicio para la evolución rápida de las plagas y enfermedades. La chicharrita parda no sólo causa "quemadura de chicharra" como resultado de la rápida succión de la savia de la planta, sino que también transmite el virus del retardo grasoso del crecimiento. Esta enfermedad vírica de importancia relativamente menor fue, en consecuencia, también seleccionada para un estudio intensivo.

Como se demostró después, la elección del virus del retardo grasoso del crecimiento para un estrecho escrutinio fue muy sabia, puesto que el organismo patógeno causó posteriormente extensos brotes de la enfermedad en las plantaciones de arroz de Asia. Cuando las plantas de arroz se infectan con retardo grasoso del crecimiento en un estado temprano, generalmente no florecen y por lo tanto no producen granos; el virus puede causar pérdidas serias o hasta la pérdida total del rendimiento en los campos infectados (Khush y Maruca 1974). Las plantas susceptibles macollan en exceso, tienen hojas estrechas, de color verde amarillento, con manchas similares a la roya y presentan un grave retardo del crecimiento. Las plantas enfermas, con apariencia de matorral, no producen semillas o producen panículas pequeñas con granos diformes (Khush *et al.* 1977).

La enfermedad del retardo grasoso del crecimiento, transmitida por la chicharrita parda, se convirtió en un problema serio en partes de Filipinas, Tailandia, Sri Lanka, India, Malasia e Indonesia en las décadas de los 60 y de los 70 (Khush *et al.* 1977). Las plantaciones de arroz en Vietnam, Kampuchea, Laos, y Birmania probablemente también fueron afectadas por la virulenta enfermedad (Figura 9.3). En Indonesia, el primer brote registrado de retardo grasoso del crecimiento se presentó en el centro de Java en 1969, y a principios de la década de los 70 la epidemia se había propagado en más de 116.000 hectáreas de plantaciones de arroz. Entre 1974 y 1977 las pérdidas causadas por la enfermedad y su vector en Indonesia excedían tres millones de toneladas de arroz paddy, con un valor de más de US\$500 millones (Palmer *et al.* 1978; Hibino 1984). En 1977 solamente, las pérdidas en la producción de arroz por causa de la enfermedad y de las plagas de insectos alcanzaron 2 millones de toneladas, cantidad suficiente para alimentar a 6 millones de personas durante un año (Conway y McCauley 1983).



Figura 9.3. Distribución aproximada del virus del retardo grasoso del crecimiento y áreas donde se ha presentado la epidemia en campos de arroz. (Tomado de Khush *et al.* 1977).

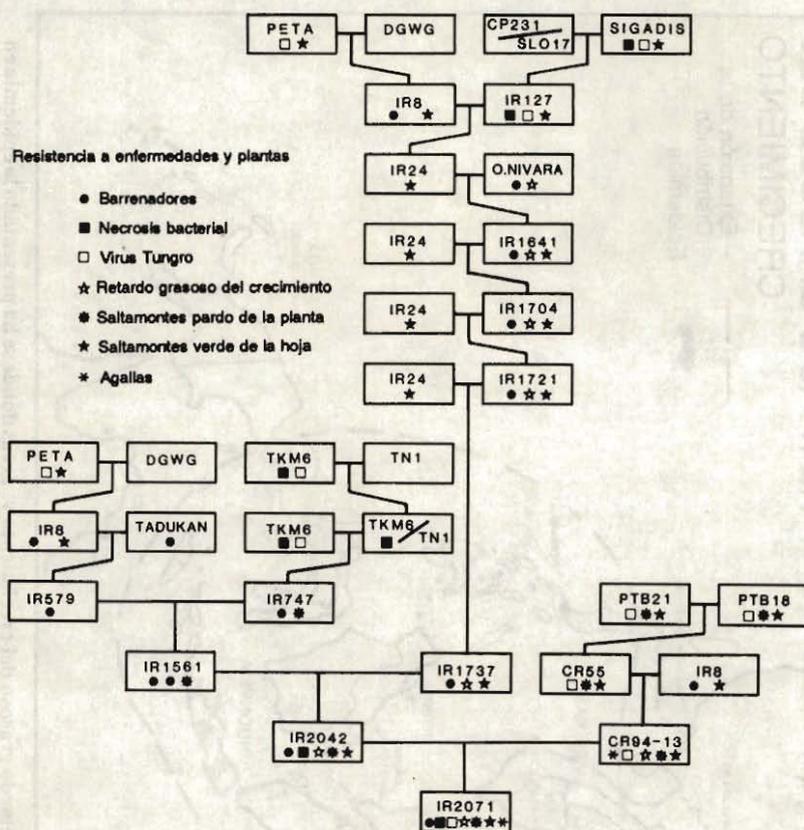


Figura 9.4. Fuentes de resistencia a las enfermedades y plagas en IR36 (IR2071). (Tomado de Swaminathan 1984b).

Se hizo una búsqueda exhaustiva de materiales resistentes al retardo grasoso del crecimiento en el banco genético del IIRI en 1970. Después de examinar cinco mil accesiones y mil líneas mejoradas, sólo una accesión de un arroz silvestre, *Oryza nivara*, recogida en Uttar Pradesh, India, en el año 1963, por un científico del *Central Rice Research Institute* en Cuttack poseía resistencia a la enfermedad (Chang 1976c; Khush *et al.* 1977) (Figura 9.4). De esta única accesión resistente al retardo grasoso del crecimiento, sólo tres plantas contenían un gen de resistencia a la enfermedad (Chang 1985). La accesión de *O. nivara* resistente había llegado al IIRI como parte de una colección de arroz proporcionada por el *Central Rice Research Institute*.

El arroz silvestre resistente crece en zonas naturales y perturbadas en India y partes vecinas de Asia. Sin embargo, *O. nivara* tiene más rasgos indeseables que favorables. Semilla quebradiza a la madurez, hojas que caen, hábito de propagación, aristas largas (aristas tiesas que sobresalen de la cubierta de la semilla),

pericarpio rojo (testa de la semilla), y numerosas semillas estériles se cuentan entre sus características indeseadas. Además de su resistencia al virus del retardo grasoso del crecimiento, las características deseables de *O. nivara* incluyen alta capacidad de macollamiento y resistencia a la piricularia (Khush *et al.* 1977).

Durante el examen selectivo y el trabajo de mejoramiento, el IRRI halló que un solo gen dominante confiere resistencia al retardo grasoso del crecimiento. El gen se llamó Gs y se halló que segregaba independientemente del gen de resistencia a la chicharrita parda, el vector del retardo grasoso del crecimiento. El gen dominante de resistencia a la chicharrita parda se llamó Bph1 (Khush *et al.* 1977).

Hubo que desarrollarse un medio de criar el insecto en el laboratorio para dilucidar el ciclo de vida y otros atributos del virus del retardo grasoso del crecimiento y de la chicharrita parda. La dinámica de su cría y sus hábitos de alimentación se estudiaron en detalle. Se infestaron artificialmente algunos campos experimentales con los menudos insectos pardos y se determinó la capacidad de transmisión del virus por la chicharrita. Se inició el examen selectivo del banco de germoplasma de arroz por resistencia a la chicharrita parda y al virus del retardo grasoso del crecimiento. Como es usual en tales trabajos, habría que desarrollar métodos de examen selectivo para asegurar una selección confiable de líneas con diversos grados de resistencia a la chicharrita o al virus. Hubo que recurrir a algunas técnicas especiales para los estudios de transmisión del virus.

Se halló resistencia a la chicharrita parda en dos líneas (PTB18 y PTB21) del sur de India. Se dio un paso importante hacia la incorporación de resistencia a la chicharrita parda en otras variedades cuando los científicos en India cruzaron las dos líneas para producir CR55. Otra fuente de resistencia al insecto se obtuvo del cruzamiento de TKM6 de Madras, India, con Taichung Native 1, una variedad de Taiwán que produjo IR747.

Mejoramiento de IR36

Trece variedades de arroz de seis países y una especie silvestre relacionada con el arroz cultivado se utilizaron en este proceso (Figura 9.1). Para hacer los cruzamientos, los fitomejoradores del IRRI, dirigidos por Gurdev S. Khush (Figura 9.5), usaron la información básica adquirida por otros científicos acerca de los recursos de germoplasma, las técnicas de examen selectivo y la biología de los organismos patológicos y las plagas. Los cruzamientos iniciales que condujeron al desarrollo de IR36 se hicieron en 1969. A finales de 1970, IR1561 había alcanzado el estado de quinta generación y mostraba resistencia al añublo bacteriano, a los barrenadores del tallo y a la chicharrita parda. Sin embargo, era todavía susceptible al saltahoja verde, al retardo grasoso del crecimiento y al virus del tungro.



Figura 9.5. Gurdev S. Khush, mejorador de arroz, a nivel principal, del International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas, una figura destacada en el desarrollo de IR36, la variedad de arroz más sembrada del mundo.

En julio de 1969, *O. nivara* se cruzó con IR24 para incorporar el gen de resistencia al retardo grasoso del crecimiento en el arroz cultivado. La primera generación (F1) de plantas se inoculó artificialmente en el estado de plántula, y todas fueron halladas resistentes. Estas se retrocruzaron con IR24, y las primeras progenies de retrocruzamiento se inocularon nuevamente con el virus del retardo grasoso del crecimiento, cuando estaban en el estado de plántula. Se utilizó plantas resistentes con buenas características agronómicas, como por ejemplo rompimiento mínimo de la semilla, baja esterilidad y enanismo, para hacer el segundo retrocruzamiento con IR24. La mayoría de las plantas de este retrocruzamiento fueron enanas, tenían muchos brotes (macollamiento alto), ninguna arista sobresalía de las cubiertas de la semilla (sin aristas), no presentaban rompimiento de la semilla y eran muy fértiles. Las progenies del tercer retrocruzamiento, llamadas IR1737, fueron idénticas al progenitor recurrente IR24 (Khush *et al.* 1977) y resistían el retardo grasoso del crecimiento, el saltahojas verde y la piricularia. Además, tenía granos de buena calidad y un excelente potencial de rendimiento. Sin embargo, eran susceptibles a la chicharrita parda, al añublo bacteriano y al virus del tungro.

A principios de 1971, una selección de IR1737 se cruzó con una selección de IR1561 para crear IR2042. Esta última a la vez se cruzó con una línea resistente a la mosca de la agalla y al tungro de India (CR94-13) para producir IR2071. De este cruzamiento se seleccionó IR36. Los complejos procedimientos de evaluación que condujeron a la selección de IR36 de estos cruzamientos se esbozan a continuación.

Las semillas F1 de IR2071 fueron sembradas en enero de 1972, y se inoculó las plántulas nuevamente con el virus del retardo grasoso del crecimiento. Se cosechó las semillas de las plántulas resistentes en abril de 1972. Se sembró la población F2

de IR2071 a mediados de 1972 sin protección de insecticidas en el *Maligaya Rice Research and Training Center*, Nueva Ecija, Luzon Central, Filipinas. La enfermedad del tungro estaba muy difundida en Luzon Central en 1972. Las poblaciones de barrenador del tallo eran también mayores allí que en el IRRI. Se eliminó las plantas que presentaban daños causados por el tungro o por el gusano barrenador. Las plantas resistentes se cosecharon para formar la generación F3 que, sembrada en el IRRI, fue expuesta a una intensa presión de chicharritas pardas, añublo bacteriano, piricularia y saltahojas verde, usando técnicas diseñadas para las condiciones de viveros bajo mallas y de campo.

Se empleó una técnica especial de examen selectivo para el retardo grasoso del crecimiento en la generación F4 (Figura 9.6). Se usó IR24, altamente susceptible a la chicharrita parda y al retardo grasoso del crecimiento, para acumular poblaciones grandes de chicharrita parda y para servir como variedad testigo. También se hicieron evaluaciones en el campo también para añublo bacteriano, piricularia y saltahojas. Una línea de maduración temprana, llamada IR2071-625-1, parecía vigorosa y no mostraba síntomas de retardo grasoso del crecimiento. Una evaluación posterior mostró que también era resistente al añublo bacteriano, a la piricularia, al saltahojas verde y a la chicharrita parda. En septiembre de 1973, se cosecharon a granel las semillas de IR2071-625-1.

En septiembre de 1973, se sembró una pequeña parcela para el incremento de semilla, la cual se cosechó en febrero de 1974, cuando se hicieron 400 selecciones de plantas. Estas selecciones se sembraron en parcelas individuales a finales de febrero de 1974. La parcela 252 se veía uniforme y al momento de la cosecha, en mayo de 1974, se identificó como IR2071 625-1-252. Esta reelección de IR2071-625-1 entró en la prueba de repetición de campo del IRRI, en junio de 1974 y se probó en otras pruebas coordinadas.

Entretanto, la incidencia de tungro en Filipinas había retrocedido considerablemente a finales de 1973, por lo que fue imposible seleccionar variedades resistentes a esa enfermedad en ese país. En consecuencia, se enviaron las semillas de las líneas F5 de IR2071, junto con otros varios miles de líneas mejoradas, a Indonesia, en enero de 1974, para sembrar en Langrang, en el sur de Sulawesi, donde el tungro era prevaleciente. En esa prueba se confirmó la resistencia de IR2071-625-1 al tungro.

En mayo de 1974, se enviaron semillas de líneas promisorias F6 al *Central Rice Research Institute* en Cuttack, India, para seleccionar por resistencia a la mosca de la agalla. Las poblaciones de mosca de la agalla aumentaron marcadamente durante septiembre y octubre, e IR2071 625-1-252 resistió la intensa presión durante aquellos meses. Entretanto, en el IRRI se examinó algunas líneas F6 para determinar su resistencia a los barrenadores del tallo durante la estación de crecimiento de julio-octubre de 1974.

Esta estrategia de examinar las líneas en zonas con alta presión de enfermedades e insectos, con la cooperación de varios programas nacionales permitió comprobar

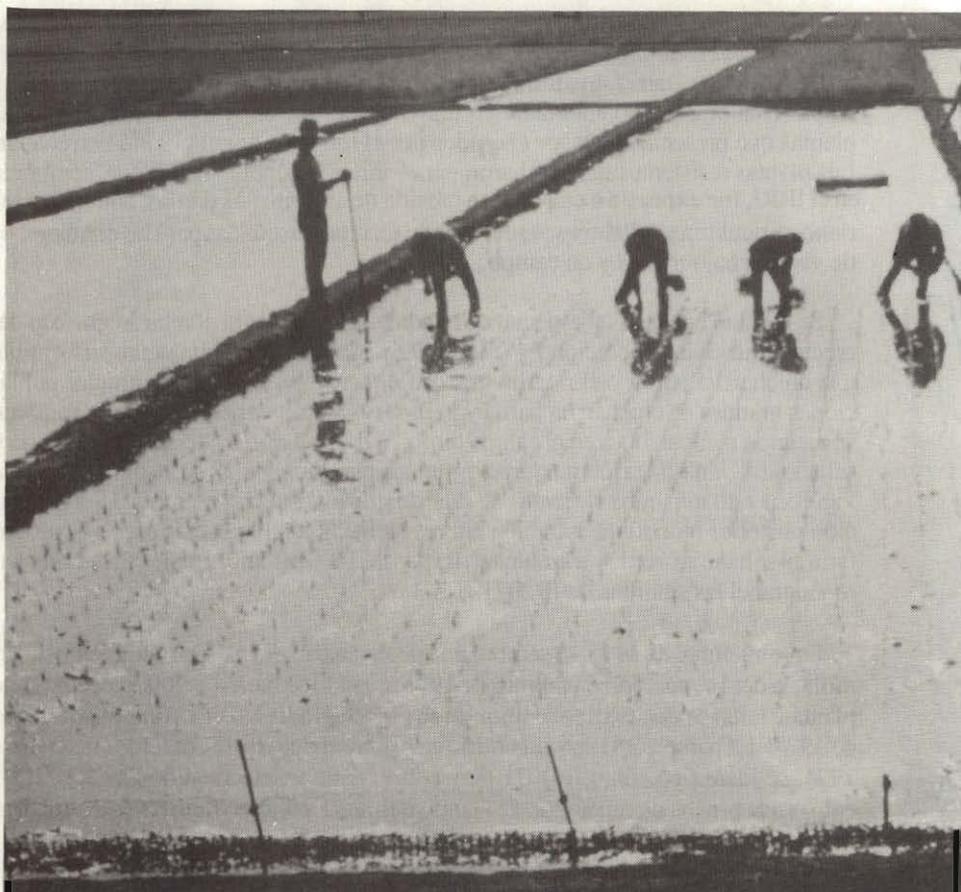


Figura 9.6. Pruebas de siembra para evaluar líneas de arroz.

la resistencia múltiple de IR2071-625-1-252 a la piricularia, al añublo bacteriano, al retardo grasoso del crecimiento, al tungro, al saltahojas verde, a la chicharrita parda, al barrenador del tallo y a la mosca de la agalla, a finales de 1974. En el mismo año, dos estaciones de cultivo, en pruebas replicadas de rendimiento, habían establecido el alto potencial de rendimiento de la línea. La línea también tenía un buen tipo de grano y una alta recuperación de molinería.

A principios de 1975, IR2071-625-1-252 estaba preparada para entrar en las pruebas de comportamiento de los *Philippine Seed Board Lowland Cooperative Performance Tests*. Durante dos estaciones de crecimiento en 1975, la línea promisoría superó a todas las otras introducciones tempranas en estas pruebas. En marzo de 1976, el Grupo de Mejoramiento Varietal del Arroz (*Rice Varietal Improvement Group*) de la Junta de Semillas de Filipinas, (*Philippine Seed Board*), recomendó el denominar IR2071-625-1-252, IR36. Esta recomendación fue aprobada



International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas, 1968.

por la Junta de Semillas en mayo de 1976. IR36 estaba lista para la siembra generalizada.

Un año después de su distribución, IR36 reemplazó a IR26, hasta entonces la variedad de arroz dominante en las Filipinas. En 1980-81, 2.73 millones de hectáreas, o sea el 78 por ciento de la zona productora de arroz de las Filipinas, estaba sembrada con variedades modernas, de alto rendimiento. De la zona sembrada con variedades modernas, el 90 por ciento correspondía a IR36.

IR36 también fue bien recibida por los agricultores de otros países. En Indonesia, por ejemplo, se recomendó IR36 en 1977 y en un año se convirtió en la variedad de arroz más ampliamente sembrada en el país. En 1980-81, IR36 ocupaba 5.3 millones de hectáreas de los 9.3 millones de hectáreas sembradas con arroz en el país. En Vietnam, la chicharrita parda ha sido una plaga seria, especialmente cuando apare-

ció el biotipo 2 en 1977. En ese año, Vietnam inició un programa para repartir IR36 entre los agricultores, después de importar más que 250 toneladas de semilla de IR36 de las Filipinas. En 1981, los cultivos de IR36 cubrían unos 2.1 millones de hectáreas. La mayor parte de IR36 fue cultivada en Vietnam del Sur, pero algo se sembró también en Vietnam del Norte. En India, IR36 se recomendó para Orissa en 1977 y para el occidente de Bengala en 1978. IR36 ahora crece en el occidente de Bengala, Kerala, Andhra Pradesh, Orissa y Madhya Pradesh, y ha sido recomendado como una variedad para toda la India por el comité de distribución (*Central Variety Release Committee*), en 1981. También se siembran con IR36 algunas zonas importantes de Kampuchea, Laos, Bangladesh, Sri Lanka y Malasia. IR36 es también una variedad recomendada en varios países africanos, como la República Centroafricana, Madagascar y Zambia.

Evaluación

Varios factores explican el espectacular lanzamiento de IR36. En primer lugar, IR36 es una línea de maduración temprana, con semillas listas para la cosecha a los 107-110 días, y de alto rendimiento. En segundo lugar, los granos de IR36 son largos, delgados y translúcidos con buenas calidades de molinería. En tercer lugar, resiste muchas de las principales plagas y enfermedades del arroz, incluyendo el saltahojas verde, la chicharrita parda, el barrenador del tallo, la piricularia, el añublo bacteriano, el tungro y el retardo grasoso del crecimiento. En cuarto lugar, IR36 resiste la mosca de la agalla en India y Sri Lanka. Aún más, IR36 tolera la salinidad y la alcalinidad del suelo, la toxicidad de hierro y boro, la deficiencia de zinc en las tierras húmedas y la deficiencia de hierro y la toxicidad de aluminio en las regiones más secas. IR36 sobrevive también en zonas de sequía moderada.

Hasta ahora, los rendimientos de IR36 son relativamente estables. La variedad produce sistemáticamente entre cuatro y seis toneladas por hectárea en los campos de los agricultores y hasta nueve toneladas por hectárea en las pruebas experimentales. En verdad, se estima que IR36 es responsable de cinco millones de toneladas adicionales de arroz cada año (Kahn 1985:242). Sin embargo, no se puede depender de IR36 indefinidamente. Aun las superestrellas sucumben finalmente en la carrera de variedades de relevo a las nuevas enfermedades, plagas u otros retos ambientales. Ya en algunas partes de India, Filipinas, Tailandia y Taiwán, las variedades con el gen de resistencia de *Oryza nivara* están mostrando signos de infección con el virus del retardo grasoso del crecimiento, lo que sugiere que nuevamente han evolucionado las cepas del virus (Hibino 1984). Una nueva enfermedad vírica, el retardo harpamiento del crecimiento y otro virus desconocido comenzaron a atacar a IR36 en ciertas zonas, en 1982 (Lewin 1982). Los informes de prensa señalan que IR36 se está volviendo susceptible al virus del tungro en ciertas partes de Filipinas¹.

Después de ocupar por diez años vastas zonas de Asia, es de esperar que IR36 sea amenazada por mutaciones de las plagas y enfermedades ya existentes o por la

aparición de otras nuevas. La ocupación de extensas zonas por unas pocas variedades no conduce necesariamente a la inestabilidad del rendimiento - pero siempre existe ese peligro, y es importante que las líneas de reemplazo estén listas para la distribución cuando los cultivares actuales ya no sirvan. Irónicamente, el éxito mismo de IR36 será causa de su desaparición.

La declinación de IR36 se percibe en el horizonte, pero recientemente han desarrollado nuevas variedades de alto rendimiento, como IR60, IR62 e IR64, que están listas para reemplazarla (Cuadro 9.1). Los sucesores de IR36 son resistentes a un abanico aún más amplio de enfermedades y plagas y maduran más rápidamente. Dentro de diez años, IR36 puede haber desaparecido, pero habrá contribuido enormemente a la alimentación de la población de Asia. Permanecerá como una variedad testigo de la habilidad de los científicos para usar los recursos genéticos y realizar un fitomejoramiento estimulante e innovador, y sus genes serán el fundamento de las líneas que se distribuirán en el futuro.

NOTAS

- 1 Times Journal, Manila, Filipinas, 21 septiembre 1984.

FUTURO DE LOS BANCOS GENÉTICOS

Los bancos genéticos son en su mayor parte una creación del siglo XX. Antes de 1900, la mayoría de los recursos de germoplasma estaban en manos de los agricultores; los gobiernos y los científicos intervenían poco en la preservación y explotación de la diversidad genética de las plantas. En el caso de algunas especies cultivadas, especialmente plantas tropicales comerciales, fueron los jardines botánicos, los programas de mejoramiento operados por las autoridades coloniales y los recolectores privados quienes conservaban las principales reservas de germoplasma. A principios de 1900, la Unión Soviética y los Estados Unidos iniciaron importantes programas de fitomejoramiento y favorecieron la recolección y un uso más sistemático del germoplasma de las especies cultivadas. Las primeras expediciones de recolección de plantas fueron por lo general extensivas, como lo fueron los numerosos viajes de Vavilov, y el germoplasma servía esencialmente como colecciones de trabajo para uso de los fitomejoradores. Ante la incipiente pérdida de las variedades tradicionales y de sus parientes silvestres en sus zonas naturales, se recurrió a principios de los años 40 al almacenamiento en frío para las reservas de germoplasma.

El notable desarrollo de los bancos genéticos, especialmente durante la última década, se debe en parte a una serie de reuniones de expertos, organizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en la década de los 60. Estas reuniones destacaron la urgente necesidad de conservar los recursos genéticos, en estos tiempos de rápidos y profundos cambios ecológicos y culturales en las zonas de origen de muchas de las especies cultivadas. De la persistente atención brindada por las autoridades públicas y la comunidad científica a estos problemas, surgió en 1974 el instrumento internacional idóneo para la implementación de un programa de acción: se trata del *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR), Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos.

El desarrollo de una red global de bancos genéticos ha sido la principal misión del IBPGR desde sus inicios. Esta red de bancos genéticos incluye colecciones a

largo plazo a bajas temperaturas, así como bancos genéticos de campo para plantas con semillas que no toleran ni el secamiento ni la congelación o para aquellas especies cultivadas que se propagan vegetativamente. En 1974 sólo cinco o seis bancos genéticos a largo plazo estaban en funcionamiento, y la mayoría de ellos ubicados en países industrializados. En 1986, funcionaban cerca de cincuenta de estos bancos genéticos y algunos más se encontraban en construcción o en la etapa de proyecto. Durante sus primeros diez años de existencia, el IBPGR ha patrocinado la recolección y el almacenamiento de más de 100.000 muestras de germoplasma.

Los crecientes esfuerzos para recoger y asegurar el buen funcionamiento del germoplasma han producido otros beneficios. Una parte significativa de la comunidad científica mundial ha podido participar en el asesoramiento, planificación y realización de las actividades en recursos fitogenéticos. Cientos de individuos se han capacitado para llevar a cabo el trabajo necesario. El germoplasma fluye regularmente entre todos los países, y actualmente la mayoría de los fitomejoradores poseen colecciones de materiales de mucho mejor calidad.

A pesar de los notables avances en la recolección, queda todavía mucho por hacer. Los primeros esfuerzos de recolección seguían un modelo oportunista, recopilando una muestra variada, pero a menudo incompleta, de la diversidad genética disponible. Hoy, la recolección tiende a proyectarse hacia zonas específicas con el objeto de completar colecciones, de recoger material en peligro de extinción y de obtener plantas con rasgos específicos. Si bien la colección de germoplasma de algunos de los principales cereales está casi completa, queda todavía mucho que recolectar en otras especies cultivadas.

La actividad de los bancos genéticos ha recorrido un largo camino, más queda muchos problemas por resolver. Muchos materiales recogidos no han sido adecuadamente analizados o evaluados; la documentación de las colecciones suele ser incompleta. Todo esto hace que algunos bancos genéticos sean de poca utilidad para los mejoradores y constituyen una fuga improductiva de los escasos fondos destinados a la investigación agrícola. En otras palabras no todos los bancos genéticos trabajan eficientemente, y no existe una fuente aseguradora de financiamiento para la mayoría de los bancos de germoplasma a largo plazo. El mal funcionamiento se debe, en ciertos casos, a los altos costos de la electricidad, en otros, a la mala calidad de los equipos: son demasiado numerosos los bancos genéticos que parecen estufas en vez de instalaciones para la congelación de semillas.

Una inquietud ampliamente compartida por los especialistas en germoplasma es la falta de una base de conocimientos para el trabajo en recursos genéticos. Se realiza poca o ninguna investigación sobre algunos problemas, presentes y futuros de los bancos genéticos, como lo sería por ejemplo, estudios sobre fisiología de la semilla en condiciones de humedad y temperatura reducida, problemas de sanidad de la semilla antes del almacenamiento y durante éste, manipulación de las semillas que no toleran la congelación, así como tamaño y alcance de las muestras que se almacenan.

Afortunadamente, los científicos, los donantes y los gobiernos están cada vez más conscientes de la necesidad de conservar y mejorar el uso del germoplasma de las especies cultivadas. La perspectiva general es hoy día mucho más clara que a principios de la década de los 70, cuando entre los científicos agrícolas surgió la inquietud ante la merma, cada día mayor, de la base genética de nuestras plantas cultivadas, inquietud que alcanzó rápidamente la conciencia del público y de las autoridades políticas. Hoy día, no cabe la menor duda de necesidad de continuar el esfuerzo iniciado y proseguir con la recolección del germoplasma de las especies cultivadas, si se quiere incrementar las posibilidades de mejoramiento de la agricultura.

Bancos genéticos y países en desarrollo

Gran parte del germoplasma de especies cultivadas y de sus formas silvestres todavía sin recoger se encuentran en las zonas tropicales. Los gobernantes del Tercer Mundo, agobiados por muchos problemas urgentes suelen negarse a poner parte de sus escasos recursos financieros en la recolección, almacenamiento y evaluación del germoplasma vegetal porque no están convencidos de la importancia de estas labores. Actualmente, existen nuevas tecnologías que hacen más factible el almacenamiento de colecciones cada vez más diversificadas de plantas cultivadas en bancos genéticos *ex situ* y a bajas temperaturas y hay que convencer a los países en desarrollo para que las utilicen. Reservas genéticas de este tipo son inversiones factibles y aconsejables, porque las instalaciones de almacenamiento a mediano plazo son accesibles y deseables para la mayoría de las naciones. La preservación del germoplasma vegetal concierne a todos los países y hay que motivarlos para que participen actualmente en la importante tarea de recolección y utilización de los recursos genéticos.

Los bancos genéticos pueden adaptarse a las condiciones de muchas naciones pequeñas que poseen pocos fondos y escasas reservas de germoplasma. Para colecciones modestas basta mantener en buenas condiciones de funcionamiento los secadores de semilla. La mayoría de las naciones pequeñas no tiene suficiente experiencia en fitomejoramiento para usar eficazmente el germoplasma que almacenan; por lo tanto es de primordial importancia que esos países desarrollen mejor su capacidad de fitomejoramiento. Las instalaciones a mediano plazo pueden satisfacer las necesidades de la mayoría de los fitomejoradores, a menos que se trate de un país con gran dotación de germoplasma o con un deseo de conservar, por razones específicas, en almacenamiento a largo plazo el germoplasma requerido para sus necesidades.

En verdad, muchos países en desarrollo ya han construido o planean construir modernos bancos genéticos. Algunas naciones, tales como Indonesia, han establecido comités nacionales de recursos genéticos y han formulado planes laborales a largo plazo. México está ampliando sus esfuerzos en la conservación de recursos genéticos, ha construido una instalación de almacenamiento de germoplasma a

largo plazo en Zacatecas, está construyendo un banco genético a mediano plazo en Chihuahua, y planea erigir otra instalación en Oaxaca o Veracruz. Los brasileños están también invirtiendo grandes sumas en su banco genético en Brasilia, y su agencia nacional de recursos genéticos, CENARGEN (Centro Nacional de Recursos Genéticos), es un excelente ejemplo de una instalación de conservación bien equipada y atendida.

Existe un aumento significativo en el número de bancos genéticos instalados en los países en desarrollo. El IBPGR ha tratado de rectificar el anterior desequilibrio en la repartición de los bancos de germoplasma, cuando la mayoría de las colecciones se mantenían en los países industrializados. Hoy día, el hemisferio sur está bien dotado de bancos genéticos (Ford-Lloyd y Jackson 1984).

Semillas de discordia

Recientemente surgió una discusión sobre quién debe poseer, controlar y beneficiarse con los bancos de germoplasma. Gran parte de la discusión se centra en la adquisición y distribución de las accesiones de los bancos genéticos (Mackenzie 1983; Mooney 1983; Tucker 1984; Walsh 1984). Algunos se quejan de que los bancos genéticos son manejados principalmente por las naciones industrializadas y dependen de la buena voluntad de empresas privadas. Los críticos del sistema actual de bancos genéticos a menudo ignoran el importante flujo de materiales genéticos desde los países industrializados hacia el Tercer Mundo, así como el apoyo financiero de los primeros a los centros internacionales de investigación agrícola que proporcionan la mayor parte del germoplasma de cultivos alimentarios a los países en desarrollo.

Para contrarrestar este prejuicio acerca del actual sistema de bancos genéticos, algunas personas han sugerido que el IBPGR debe ser controlado por alguna organización "neutral", como las Naciones Unidas. Los donantes del IBPGR (algunos de ellos gobiernos del Tercer Mundo) y los centros internacionales de investigación agrícola del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI), una organización "neutral" por definición, temen que una moción en ese sentido comprometería la independencia y la autonomía del IBPGR.

En 1981, ciertos gobiernos del Tercer Mundo, encabezados por Libia, México y Perú, propusieron que la red actual de bancos genéticos se pusiera bajo la jurisdicción de la FAO y esa propuesta fue discutida en la conferencia bienal de la FAO en noviembre 1983 (FAO 1983a,b). Los países miembros de la FAO acordaron crear una empresa internacional de recursos fitogenéticos (*International Undertaking on Plant Genetic Resources*), sin compromiso legal, y se estableció una comisión internacional en recursos fitogenéticos de la FAO para supervisar esta empresa. La comisión internacional se reunió por primera vez en Roma en marzo de 1985. Una propuesta para crear un banco genético internacional único para alojar los cultivos de todo el germoplasma del mundo fue prontamente rechazada, por considerarse irrealista y científicamente inmanejable.

El *International Undertaking on Plant Genetic Resources* estableció algunos principios a los cuales los países debían adherir para la recolección, el mantenimiento y el intercambio de germoplasma vegetal. La empresa incluye líneas elite y mejoradas actuales, así como reservas genéticas especiales. La inclusión de materiales mejorados y experimentales ha despertado inquietud en aquellos países que reconocen los derechos de las variedades establecidas. El IBPGR ha insistido siempre que los bancos genéticos a mediano y a largo plazo no deben atestar sus colecciones con líneas mejoradas. Los bancos genéticos deben dedicarse a coleccionar variedades primitivas, parientes silvestres y cultivares obsoletos, alojando así un amplio espectro de la variabilidad genética.

El *International Undertaking on Plant Genetic Resources* sugiere que los arreglos internacionales actuales sean debidamente consolidados y legalizados para asegurar el desarrollo de una red bien coordinada a nivel internacional entre los centros nacionales, regionales e internacionales, incluyendo una red internacional de colecciones básicas de bancos genéticos, bajo el auspicio y la jurisdicción de la FAO. No resulta claro cómo la actual red podría amalgamarse bajo el control de la FAO, de manera que la comisión internacional en recursos fitogenéticos ha solicitado estudiar el asunto.

Hasta la fecha, la *International Undertaking on Plant Genetic Resources* ha progresado poco. Algunos países que son miembros clave de la FAO, como Estados Unidos, no apoyan esta entidad, si bien aprueban algunos de sus principios. Otros países, como Brasil e India, originalmente receptivos a esta empresa, están cambiando de parecer. Por otra parte, la Unión Soviética no es miembro de la FAO y por lo tanto no está obligada a acatar sus decisiones. Es difícil evaluar el impacto potencial de la *International Undertaking* en aquellos países que rehusan acatar sus mandatos, ni prever los efectos que tendrá sobre los esfuerzos colectivos actuales. Los acuerdos bilaterales sobre germoplasma vegetal, como el que existe entre China y los Estados Unidos, ofrecen una posible alternativa. Brasil parece inclinarse por esa solución por lo menos en cuanto a cultivos de exportación, como el del cacao y del anacardo (*Anacardium occidentale*). En forma similar, la República Democrática Alemana ha suscrito convenios bilaterales con Iraq, Italia y Mongolia para intercambiar germoplasma vegetal a través de academias. Convenios de este tipo conducen a menudo a un intercambio de personal y otros beneficios mutuos.

Existe también una incógnita preocupante: a saber si, en caso de que el manejo de los recursos fitogenéticos por una entidad internacional resultare insatisfactorio, este hecho no provocaría reticencias en la comunidad donante, resultando en una reducción del apoyo para las labores de conservación de las especies vegetales (Wolf 1985). Por otra parte, las dilatadas discusiones entre miembros de la FAO pueden conducir a la parálisis, precisamente cuando más necesarios son la recolección, la evaluación y el intercambio de germoplasma (Ford Lloyd y Jackson 1984).

A pesar de existir algunos problemas aún sin resolver, el actual sistema de bancos genéticos, cuenta con mucha buena voluntad. La colaboración internacional para

la adquisición e intercambio de germoplasma es ya una realidad. Consideramos que los esfuerzos deberían orientarse hacia el mejoramiento del sistema actual, aportando mayor aporte financiero y más oportunidades de capacitación.

Como sea que opere la red global de bancos genéticos en el futuro, si bajo un paraguas legal patrocinado por la FAO o informalmente como ahora, es necesario que el IBPGR, u otra organización similar, fije normas, desarrolle las tecnologías apropiadas a través de investigaciones estratégicas y actúe como un cuerpo no político coordinador de los programas de todos los países. Para ser efectiva, tal organización debe ser científicamente fiable, merecedora de la confianza de todo el mundo a fin de poder gozar de un sólido apoyo financiero.

Tareas futuras

En los capítulos anteriores se han esbozado, algunas de las deficiencias específicas de los actuales esfuerzos para conservar y utilizar el germoplasma. Nuestro objetivo en el presente capítulo es destacar algunas de las importantes áreas que requieren una atención urgente por parte de los investigadores.

Fisiología de la semilla, sanidad de la semilla, ecología de las plantas, fitogenética poblacional, taxonomía, criopreservación y cultivo de tejidos constituyen áreas críticas especialmente importantes a las cuales urge prestar atención. Los efectos de la preservación a largo plazo en el germoplasma no son bien comprendidos, como tampoco lo son las condiciones de almacenamiento necesarias para algunas especies, especialmente aquellas con semillas que no pueden secarse ni congelarse fácilmente. Además de los diferentes requerimientos de almacenamiento y de manipulación de las diversas especies cultivadas, las variedades de una especie destinada al almacenamiento de germoplasma a veces necesitan una atención especial. En el *Institute of Plant Breeding* en la Universidad de Filipinas, Los Baños por ejemplo, los científicos han descubierto que no todas las variedades de banano son aptas a la conservación *in vitro* estándar.

Se necesita más investigación en las ramas de la recolección, caracterización, evaluación, multiplicación, almacenamiento y perfeccionamiento del germoplasma para alcanzar mayor eficiencia en su uso. Persisten los problemas de sanidad de la semilla; de hecho algunos bancos genéticos parecen tener más éxito en el almacenamiento de organismos patógenos que en el de semillas. Se necesita además evaluar cuanta variabilidad genética para cada especie cultivada debe almacenarse en otras palabras, ¿qué tan amplia debe ser la red? Una mejor comprensión de la variación presente en las poblaciones de campo es la clave para responder a este interrogante. El IBPGR siempre ha recalcado la importancia de la recolección, pero al mismo tiempo se requieren muchos más estudios sobre la ecogeografía de las plantas cultivadas y de sus parientes silvestres. En el pasado, la recolección fue generalizada y extensa, respondiendo al objetivo de acumular grandes colecciones de germoplasma; en el futuro, las misiones de recolección serán más selectivas,

concentrándose en zonas prioritarias y en los acervos genéticos silvestres relacionados con las especies cultivadas.

El debate sobre la propiedad del germoplasma y su distribución hace que muchas naciones han tomado mejor conciencia de la necesidad de la conservación genética. Además de la atención a las áreas forestales, a los animales domésticos y a los microbios, ¿qué otros pasos deben dar las naciones en el futuro inmediato para asegurar la conservación de sus riquezas naturales?

En primer lugar, aunque sea posible concebir una red internacional de bancos genéticos nacionales, regionales e internacionales operando en conjunto, la experiencia ha demostrado que el enfoque regional está con frecuencia condenado al fracaso. El banco genético nórdico es un modelo exitoso, pero se trata aquí de cinco países cooperantes que comparten muchas condiciones políticas y culturales. En la realidad, las relaciones entre países muy próximos son a menudo tensas e inestables, como lo atestiguan la debilidad o el colapso de muchas compañías aéreas y asociaciones económicas regionales. En pocas partes del mundo existe un grupo de naciones que gustosamente mancomunarían sus recursos para la recolección y demás labores en germoplasma. En la actualidad, un sistema de programas nacionales apoyados por doce centros internacionales de investigación agrícola parece más realista y por lo tanto es el que prevalece.

En segundo lugar, no todas las naciones necesitan establecer y mantener bancos genéticos a largo plazo. Muchos países del Tercer Mundo tienen necesidades más urgentes y estarían mejor servidos por programas agresivos de introducción de plantas y por el aumento de su capacidad de fitomejoramiento. Después de la atención dada a los bancos genéticos durante recientes reuniones internacionales, algunos países, que a estas alturas no necesitan mantener colecciones a perpetuidad, han decidido desarrollar bancos genéticos a largo plazo. Para el futuro previsible, un sistema ideal consistiría en fuertes centros internacionales de recursos genéticos vinculados con cierto número de programas nacionales bien administrados.

En tercer lugar, cualquier país que haya acordado financiar y mantener un banco genético debe comprometerse a garantizar la continuidad del esfuerzo. Pocos países han estado dispuestos a aceptar, o siquiera a considerar, los requerimientos mínimos antes definidos. La adherencia a la empresa iniciada por la FAO no garantiza un compromiso permanente. Los bancos genéticos que se instalan alegremente con el apoyo de donantes están en peligro de terminar súbitamente sus actividades, si no se materializan los compromisos de financiamiento a largo plazo. Esta es una de las razones por las cuales al IBPGR insiste en la duplicación de las colecciones.

En cuarto lugar, todos los programas deben cumplir realmente el principio de libre disponibilidad de los materiales para los usuarios de buena fe. Queda por verse si la nueva comisión de la FAO identificará a los incumplidores y si tomará las medidas necesarias. Por décadas, una política de buena voluntad ha dado como resultado una disponibilidad relativamente libre de germoplasma; tal tipo de cooperación informal es difícil de regular mediante requisitos normativos.

En quinto lugar, los curadores de los bancos genéticos del mundo deben actualizar sus enfoques y acoger ideas frescas. Como primer paso, los curadores deben usar los datos de pasaporte para clasificar sus accesiones y establecer sus orígenes. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el IBPGR han iniciado un proyecto cooperativo especial en Europa para activar dicha tarea. Es mejor tener 500 accesiones recogidas sistemáticamente de zonas muy diferentes que tener 5000 accesiones recogidas arbitrariamente. Las posesiones no sistematizadas complican el trabajo de los curadores, elevan los costos de conservación y desperdician el tiempo de los mejoradores.

Cuando hayan determinado el origen de las accesiones, los curadores deberán lograr que los arreglos colaborativos funcionen rápidamente para así completar el inventario de sus colecciones y ampliar la red. No es útil que los curadores recalquen el número de accesiones que administran, como si los números por sí solos indican el valor de una colección; aquí rige el mismo principio que el de las bibliotecas. Cada accesión de un banco genético debe ser justificada, en la misma forma en que las adquisiciones de una biblioteca deben ser selectivas, por razones de espacio, presupuesto y uso.

Los bancos genéticos hasta ahora se han centrado en las especies cultivadas, especialmente en las alimenticias, pero la conservación de germoplasma se aplica también al ganado, a las especies forestales, a las plantas medicinales y a los microorganismos. Los bancos genéticos pecuarios, por ejemplo, apenas empiezan a recibir serias consideraciones (Brown 1984). El semen y los embriones de algunos mamíferos pueden congelarse y almacenarse por varios meses, hasta por años, pero este logro podría resultar en una espada de doble filo. En efecto, así como el uso de variedades mejoradas de plantas de amplia adaptación, la tecnología de embriones congelados puede conducir a una reducida base genética de los hatos bovinos. Al administrar hormonas, se puede inducir a las vacas deseables a producir un número inusual de huevos; estos a la vez pueden ser fertilizados *in vitro* por el semen de toros superiores. Los embriones resultantes pueden ser congelados y posteriormente insertados en vacas sustitutas. Al eludir la reproducción natural en aras de desarrollar hatos altamente productivos, se corre el riesgo de desarrollar millones de cabezas de ganado bovino con una composición genética muy similar. Pero la tecnología de congelación de embriones también puede facilitar la conservación de razas que están a punto de desaparecer, como el ganado de leche Dutch Belted, los cerdos Hereford, las ovejas Lincoln y los caballos de tiro belgas. La conservación de los acervos genéticos pecuarios merece atención inmediata antes de que peligren más razas.

La diversidad genética de las especies forestales también debe ser conservada en bancos genéticos y en reservas naturales para asegurar un abastecimiento confiable de madera y leña para las generaciones futuras. En los Estados Unidos, las especies maderables son básicamente nativas y hay una abundancia asegurada de germoplasma silvestre *in situ* (Krugman 1985). Los programas de mejoramiento de especies forestales son relativamente recientes, establecidos principalmente du-

rante los últimos treinta años y la mayoría de las siembras de árboles son genéticamente similares a sus contrapartes silvestres. Debido a la rica base genética de árboles forestales en los Estados Unidos, las siembras de árboles con base en este germoplasma tienen un buen desempeño en más de ochenta países. La situación de los árboles tropicales usados para estabilización de laderas y provisión de leña, madera y forraje es menos favorable, como resultado del desmonte incontrolado, del sobrepastoreo y de la excesiva recolección de leña.

El programa de recursos genéticos de Brasil ha sido pionero en la fundación de un banco de semilla para plantas medicinales con miras a mejorar el rendimiento de los productos útiles de las plantas para la industria farmacéutica (CENARGEN 1984). Algunas colecciones de ciertos microorganismos son mantenidas por los *Microbiological Resource Centers* (MIRCENS), una red de centros de investigación en diversas regiones apoyada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Carreras en bancos genéticos

Un problema que merece consideración es la administración del personal en los bancos genéticos, especialmente en países en desarrollo. La escasez de buenos especialistas en bancos genéticos no se limita al Tercer Mundo. Los operadores de bancos genéticos en las naciones industrializadas también encuentran dificultades para obtener personal competente. Para ayudar a ampliar el trabajo en recursos fitogenéticos en los países en desarrollo, el IBPGR ha patrocinado capacitación de postgrado para cientos de científicos de países en desarrollo. El *International Rice Research Institute* (IRRI) ha comenzado recientemente un curso de capacitación para especialistas en germoplasma de arroz. Es probable que se dicten cursos similares en un futuro cercano para abarcar otros cultivos.

Actualmente el trabajo en los bancos genéticos no se considera tan gratificante como otras ramas de la ciencia. El trabajo con germoplasma no es muy visible y algunas personas lo consideran demasiado rutinario. En muchos casos es visto como un mero servicio adicional que se les da a los mejoradores, y no como un campo de investigación lleno de problemas importantes y fascinantes. Si se espera que los jóvenes sobresalientes hagan carrera en los bancos genéticos, las recompensas deben ser más tangibles. Una manera de mejorar el perfil de trabajo en los bancos genéticos y de reclutar mentes brillantes para la causa de la conservación y la utilización del germoplasma, es incentivando a los científicos de los bancos genéticos a enfocar su trabajo hacia problemas críticos y a publicar sus resultados en revistas especializadas e interdisciplinarias.

Seguridad financiera para los bancos genéticos

Una gran preocupación para la mayoría de los curadores de los bancos genéticos es conseguir la estabilidad de los recursos financieros. Los costos de electricidad

sólo para el almacenamiento en frío pueden ser prohibitivos y todos los bancos genéticos lucha para pagar los costos de recolección, evaluación y multiplicación de sus accesiones. Tanto los bancos genéticos como las bibliotecas requieren un constante apoyo para mantener las colecciones y las fallas que ocurren en la recolección se deben a menudo a los inadecuados recursos financieros.

No se sabe a ciencia cierta cuántos recursos financieros se requieren para garantizar la seguridad financiera de los bancos genéticos, pero los estimados EUAS\$55 millones que se gastaron en 1982 (Plucknett *et al.* 1983) se aproximan probablemente a la cantidad gastada en 1985. Se necesitan muchas más evaluaciones porque los costos de multiplicar, envasar y luego despachar las accesiones para satisfacer las crecientes solicitudes aumentarán indudablemente. Los bancos genéticos requerirán en un futuro cercano entre EUAS\$100 y EUAS\$150 millones por año, si han de adaptarse a la mayor carga laboral y funcionar sin inconvenientes.

Un bien dotado fondo internacional de germoplasma sería un mecanismo seguro para apoyar la creciente necesidad de conservación y utilización de los recursos fitogenéticos. Un fondo de este tipo debe ser gobernado por científicos, quienes conocen a fondo las necesidades y prioridades y no propondrían el uso de los fondos para fines políticos. Dicho cuerpo científico deberá permanecer en contacto con los avances de la biotecnología.

Para tener un impacto duradero sobre la conservación y el uso de germoplasma, la dotación del fondo debe ser suficientemente amplia, entre EUAS\$50 y EUAS\$75 millones por año, para proporcionar ayuda financiera a los bancos genéticos. El presupuesto debe además ser suficientemente flexible para responder a situaciones de emergencia.

Obtener una dotación considerable, o por lo menos compromisos serios, de fuentes privadas y públicas, es cosa factible; así se tendrían recursos financieros anuales que podrían ponerse en fideicomiso para ese fin específico. El total requerido para garantizar un nivel mínimo de seguridad a los bancos genéticos es relativamente pequeño comparado con los gastos totales de la investigación agrícola en el mundo. Los países en desarrollo gastan solamente EUAS\$1.3 mil millones por año en investigación agrícola (Picciotto 1985).

Aunque la mayor parte del apoyo conseguido hasta ahora para el trabajo en germoplasma ha provenido de fuentes públicas, el sector privado muestra cierto interés en mejorar la conservación y evaluación de germoplasma. Pioneer Hi-Bred, por ejemplo, ha otorgado EUAS\$1.5 millones, para entrega sobre un período de cinco años, al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para investigación en germoplasma de maíz. El apoyo de Pioneer a la investigación es ejemplar y tenemos la esperanza de que otras compañías privadas sigan este ejemplo.

Bancos genéticos en el siglo veintiuno

En el año 2000, el trabajo de los bancos genéticos habrá sin duda avanzado en varias áreas importantes: se habrá recogido, almacenado y evaluado más del 90 por ciento de la variación restante de las principales especies cultivadas; los fitomejoradores tendrán sin duda acceso a catálogos computarizados que describan las accesiones y señalen por lo menos algunos de sus caracteres más importantes; el perfeccionamiento del germoplasma habrá identificado fuentes genéticas útiles y muchas estarán ya incorporadas en líneas progenitoras; las líneas progenitoras se habrán cruzado lo suficiente para establecer sus patrones de herencia.

La mayoría de los parientes silvestres cercanos de las plantas habrá sido adecuadamente recogida y el cruzamiento amplio será mucho más utilizado como fuente de recursos genéticos frescos con resistencia a los insectos, a las enfermedades y a los estreses ambientales. Además, a medida que las técnicas del ADN recombinante se tornan más complejas y confiables, el límite de los parientes de las plantas se hará más amplio y la recolección de especies silvestres abarcará más allá de las razas nativas. Algunos bancos genéticos tendrán bibliotecas genéticas de las cuales los genes se podrán recuperar fácilmente para insertarlos en el material mejorado. El Ministerio de Agricultura japonés, por ejemplo, ha destinado EUAS530.000 para descifrar las secuencias genéticas de las reservas de semilla del Ministerio y para instalar una biblioteca genética (Witt 1985:64). La biotecnología proporcionará nuevas tecnologías que permitirán a los fitomejoradores traspasar ciertas barreras del mejoramiento genético.

Los bancos genéticos incluirán una amalgama internacional de instalaciones *ex situ* complementarias, incluyendo colecciones de cultivo de tejidos, del germoplasma primario de la mayoría de las especies cultivadas. Algunos parientes silvestres se almacenarán en bancos genéticos *ex situ*, pero muchos se mantendrán en áreas naturales protegidas, ampliamente estudiadas, para la distribución y variabilidad de las poblaciones enfocadas.

En el año 2000, los avances en la investigación sobre bancos genéticos habrán aclarado las condiciones apropiadas de conservación para la mayoría de las especies cultivadas; se habrá mejorado los métodos de recolección y manejo para algunas especies cultivadas propagadas vegetativamente, y, se conocerá la función de la criopreservación en el almacenamiento de germoplasma. Y, para finales de este siglo, la mayoría de los países con importantes recursos un germoplasma o con programas de fitomejoramiento, o con ambos, tendrán por lo menos cierta capacidad para almacenar y manipular el germoplasma vegetal.

El desarrollo de los bancos genéticos, producto de este siglo, ha avanzado mucho, pero queda mucho por hacer. La respuesta que dé el mundo al reto de conservar y usar los recursos genéticos, determinarán que proporción de la diversidad genética de las plantas y otros organismos sobrevivirá para la humanidad del próximo siglo.

APENDICES

Apéndice 1. Centros internacionales de investigación agrícola del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI).

| Acrónimo | Centro | Año Establecimiento | Programas Invest. |
|----------|--|---------------------|--|
| IRRI | International Rice Research Institute | 1960 | Arroz |
| CIMMYT | International Maize and Wheat Improvement Center | 1964 | Maíz, trigo, triticale, cebada |
| IITA | International Institute of Tropical Agriculture | 1965 | Maíz, arroz, caupí, batata, Ñame, yuca |
| CIAT | Centro Internacional 1968 de Agricultura Tropical | | Yuca, frijol, arroz, pastos |
| WARDA | West Africa Rice Development Association | 1971 | Arroz |
| CIP | International Potato Center | 1972 | Papa |
| ICRISAT | International Crops Research Institute the Semi-Arid Tropics | 1972 | Garbanzo, gandul, millo perla, sorgo, maní |
| ILRAD | International Lab. for Research on Animal Diseases | 1974 | <i>Trypanosomiasis theileriosis</i> |
| IBPGR | International Board for Plant Genetic Resources | 1973 | Recursos en genética vegetal |
| ILCA | International Livestock Center for Africa | 1974 | Sistemas de producción de ganado |
| IFPRI | International Food Policy Research Institute | 1975 | Políticas alimentarias |

Continuación del Apéndice 1

| Acrónimo | Centro | Año Establec | Programas Invest. |
|----------|---|--------------|---|
| ICARDA | International Center for Agricultural Research in the Dry Areas | 1976 | Trigo, cebada triticale, haba, lenteja, garbanzo forrajes |
| ISNAR | International Service for National Agricultural Research | 1980 | Investig. Agric. Nacional |

Nota: Muchos de los centros también poseen programas de investigación en aspectos económicos o en sistemas de producción. Para localización de los centros consulte la Figura 2.5.

Apéndice 2. Acrónimos de instituciones internacionales, regionales y nacionales (públicas y privadas) que poseen bancos genéticos importantes.

| Acrónimo | Institución y localidad |
|----------|--|
| AES | Agricultural Experiment Station, Australia |
| AES | Agricultural Experiment Station, República de Corea |
| AICMIP | All India Coordinated Millet Improvement Programme, India |
| ARARI | Aegean Regional Agricultural Research Organization, Turquía |
| ARI | Agricultural Research Institute, Burma |
| ARO | Agricultural Research Organization, Malawi |
| ASP | American Sorghum Project, República Árabe de Yemen |
| AVRDC | Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, China |
| BGC | Barley Germplasm Center, Japón |
| BRI | Bangladesh Rice Research Institute, Bangladesh |
| CARI | Central Agricultural Research Institute, Sri Lanka |
| CARS | Chitedze Agricultural Research Station, Israel |
| CATIE | Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica |
| CENARGEN | Centro Nacional de Recursos Genéticos, Brasil |
| CGI | Crop Germplasm Institute, China |
| CGR | Cotton Genetic Research, EE.UU. |
| CIAT | Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia |
| CICR | Central Institute of Cotton Research, India |
| CIFEP | Centro de Investigaciones Fitotécnicas y Ecogenéticas de Pairumani, Bolivia |
| CIMMYT | Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México |
| CIP | Centro Internacional de la Papa, Perú |
| CNIA | Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Argentina |
| CNPDS | Centro Nacional de Pesquisa de Seringueira e Dende, Brasil |
| CNPT | Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, Brasil |
| CNU | Choong-Nam National University, República de Corea |
| CPRI | Central Potato Research Institute, India |
| CRIFC | Central Research Institute for Food Crops, Indonesia |
| CRIG | Cocoa Research Institute of Ghana, Ghana |
| CRRI | Central Rice Research Institute, India |
| CRU | Cacao Research Unit, Trinidad y Tobago |
| CSIRO | Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia |
| CTC | Centro de Tecnologia Copersucar, Brasil |
| CTCRI | Central Tuber Crops Research Institute, India |
| CU | Cambridge University, Reino Unido |
| DARS | Darul Aman Research Station, Afganistán |
| DGRST | Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, Camerún |
| EBS | Experimental Breeding Station, Polonia |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Brasil |
| FAL | Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, República Federal de Alemania |
| FONAIAP | Fondo Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria, Venezuela |
| FSAE | Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, Bélgica |
| FSC | Fiji Sugar Corporation, Fiji |
| FTRS | Fruit Tree Research Station, Japón |
| GGB | Greek Gene Bank, Grecia |
| HSPA | Hawaiian Sugar Planters' Association, EE.UU. |
| IAC | Instituto Agronómico Campinas, Brasil |

Continuación del Apéndice 2

| Acrónimo | Institución y localidad |
|-----------------|---|
| IAR | Institute of Agricultural Research, Etiopía |
| IARI | Indian Agricultural Research Institute, India |
| IBP | Institute of Plant Breeding, Reino Unido |
| ICA | Instituto Colombiano Agropecuario, Colombia |
| ICARDA | International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Siria |
| ICCP | National Institute for Cereal and Industrial Crops, Rumania |
| ICRISAT | International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, India |
| IG | Instituto del Germoplasma, Italia |
| IGPB | Institute of Genetics and Plant Breeding, Checoslovaquia |
| IHAR | Plant Breeding and Acclimatization Institute, Polonia |
| IHR | Indian Institute of Horticultural Research, India |
| IITA | International Institute of Tropical Agriculture, Nigeria |
| IMPA | Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar, México |
| IMR | Institute of Maize Research, Yugoslavia |
| INIA | Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, España |
| INIA | Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, México |
| INICA | Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña, Cuba |
| INIPA | Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria, Perú |
| INRA | Institut National de la Recherche Agronomique, Francia |
| INTA | Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina |
| IPB | Institute of Plant Breeding, Filipinas |
| IPB | Institute of Plant Breeding, Finlandia |
| IPIGR | Institute of Plant Introduction and Genetic Resources, Bulgaria |
| IRA | Institut de Recherches Agronomiques, Madagascar |
| IRAT | Institut de Recherches Agronomiques Tropicales, Francia |
| IRCA | Institut de Recherches sur le Caoutchouc, Francia |
| IRCC | Institut de Recherches du Café et du Cacao, Francia. |
| IRCT | Institut de Recherches du Coton et des Textiles, Francia |
| IRFA | Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes, Francia |
| IRPIS | Inter-Regional Potato Introduction Station, EE.UU. |
| IRRI | International Rice Research Institute, Filipinas |
| ISRA | Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Senegal |
| ISU | Iowa State University, EE.UU. |
| IVT | Institute for Horticultural Plant Breeding, Países Bajos |
| JII | John Innes Institute, Reino Unido |
| JNRC | Jospeh Nickerson Research Center, Reino Unido |
| KNAES | Kyushu National Agricultural Experiment Station, Japón |
| KU | Kasetsart University, Tailandia |
| KSB | Koitozon Seed Bank, Malasia |
| LAA | Liaoning Agricultural Academy, China |
| MITA | Mayaguez Institute of Tropical Agriculture, Puerto Rico |
| MI | Maize Institute, Portugal |
| MRI | Maize Research Institute, Checoslovaquia |
| MSES | Meringa Sugar Experiment Station, Australia |
| MU | Malawi University, Malawi |
| NARS | National Agricultural Research Station, Kenia |
| NBI | National Biological Institute, Indonesia |
| NBPGR | National Bureau of Plant Genetic Resources, India |

Continuación del Apéndice 2.

| Acrónimo | Institución y localidad |
|----------|---|
| NCSU | North Carolina State University, EE.UU. |
| NGB | Nordic Gene Bank, Suecia |
| NIAR | National Institute of Agricultural Research, Ruanda |
| NIAS | National Institute of Agricultural Sciences, Japón |
| NIAVT | National Institute for Agricultural Variety Testing, Hungría |
| NRCG | National Research Center for Groundnut, India |
| NRIT | National Research Institute of Tea, Japón |
| NRPIS | Northeastern Regional Plant Introduction Station, EE.UU. |
| NSSL | National Seed Storage Laboratory, EE.UU. |
| NSWDA | New South Wales Department of Agriculture, Australia |
| NU | Nairobi University, Kenia |
| NVRS | National Vegetable Research Station, Reino Unido |
| OBCI | Oil Bearing Crops Institute, China |
| ORSTOM | Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer, Francia |
| OSU | Oklahoma State University, EE.UU. |
| PARC | Pakistan Agricultural Research Council, Paquistán |
| PAU | Punjab Agricultural University, India |
| PBI | Plant Breeding Institute, Reino Unido |
| PCARRD | Philippine Council for Agricultural Research and Resources Development, Filipinas |
| PGI | Plant Germplasm Institute, Japón |
| PGRC | Plant Genetic Resources Center, Etiopía |
| PGRO | Plant Gene Resources Office, Canadá |
| PORIM | Palm Oil Research Institute of Malasia |
| RBG | Royal Botanic Gardens, Reino Unido |
| RICTP | Research Institute for Cereals and Technical Plants, Rumania |
| RIPP | Research Institute of Plant Production, Checoslovaquia |
| RRI | Rice Research Institute, Tailandia |
| RRIM | Rubber Research Institute of Malaysia, Malasia |
| SAA | Shandong Agricultural Academy, China |
| SBI | Sugarcane Breeding Institute, India |
| SCRI | Scottish Crop Research Institute, Reino Unido |
| SFS | Sugarcane Field Station, EE.UU. |
| SIRI | Sugarcane Industry Research Institute, Jamaica |
| SPA | Shensi Province Academy, China |
| SRPIS | Southern Regional Plant Introduction Station, EE.UU. |
| SVP | Foundation for Agricultural Plant Breeding, Países Bajos |
| TAMU | Texas Agricultural and Mining University, EE.UU. |
| TARI | Taiwan Agricultural Research Institute, Taiwan, China |
| THRS | Thike Horticultural Research Station, Kenia |
| TISTR | Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Tailandia |
| TRIEA | Tea Research Institute of East Africa, Kenia |
| TRFCA | Tea Research Foundation of Central Africa, Malawi |
| TU | Tohoku University, Japón |
| UB | University of Birmingham, Reino Unido |
| UC | University of California, EE.UU. |
| UF | University of Florida, EE.UU. |
| UM | University of Missouri, EE.UU. |

Continuación del Apéndice 2

| Acronimo | Institución y localidad |
|----------|--|
| UNA | Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú |
| UP | Universidad Politécnica, España |
| UPLB | University of the Philippines en Los Baños, Filipinas |
| USDA | United States Department of Agriculture, EE.UU. |
| USSCFS | United States Sugar Crops Field Station, EE.UU. |
| UWI | University of the West Indies, Trinidad y Tobago |
| VIR | Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, URSS |
| VPI | Virginia Polytechnic Institute, EE.UU. |
| WARDA | West Africa Rice Development Association, Liberia |
| WICSCB | West Indies Central Sugar Cane Breeding Station, Barbados |
| WRPIS | Western Regional Plant Introduction Station, EE.UU. |
| ZGK | Zentralinstitut für Genetik und Kulturpflanzenforschung, República Democrática Alemana |

Apéndice 3. Países con instalaciones para el almacenamiento de germoplasma, actualmente en funcionamiento o en construcción, a marzo de 1985.

Instalaciones de almacenamiento

| País | Largo plazo | Corto-medio plazo |
|-------------------|-------------|-------------------|
| Afganistán | No | Sí |
| Algeria # | Sí | Sí |
| Argentina | Sí | Sí |
| Australia | Sí | Sí |
| Austria | Sí | Sí |
| Bangladesh | Sí | Sí |
| Bélgica | Sí | Sí |
| Bolivia # | No | Sí |
| Brasil | Sí | Sí |
| Bulgaria | Sí | Sí |
| Burkina Faso | No | Sí |
| Canadá | Sí | Sí |
| Chile | Sí | Sí |
| China # | Sí | Sí |
| Colombia | Sí | Sí |
| Costa Rica | Sí | Sí |
| Cuba # | Sí | Sí |
| Chipre | No | Sí |
| Checoslovaquia | No | Sí |
| Ecuador # | No | Sí |
| Egipto # | No | Sí |
| Etiopía | Sí | Sí |
| Fiji | Sí | Sí |
| Francia | No | Sí |
| Alemania Dem. | Sí | Sí |
| Alemania Fed. | Sí | Sí |
| Ghana | Sí | Sí |
| Grecia | Sí | Sí |
| Hungría | Sí | Sí |
| India | No | Sí |
| Indonesia | Sí | Sí |
| Iran # | Sí | Sí |
| Iraq | No | Sí |
| Israel | Sí | Sí |
| Italia | Sí | Sí |
| Costa de Marfil # | Sí | Sí |
| Japón | Sí | Sí |
| Kenia # | Sí | Sí |
| Corea del Sur | Sí | Sí |
| Malawi | No | Sí |
| Malasia # | Sí | Sí |
| Mauricio # | No | Sí |
| México | Sí | Sí |
| Mónaco | Sí | Sí |
| Mozambique | Sí | Sí |

Continuación del apéndice N° 3

| País | Largo plazo | Corto-medio plazo |
|--|-------------|-------------------|
| Países Bajos | Sí | Sí |
| Niger | Sí | Sí |
| Nigeria | Sí | Sí |
| Países Nórdicos (Islandia, Finlandia, Noruega, Suecia, Dinamarca) | Sí | Sí |
| Pakistán | No | Sí |
| Papua Nueva Guinea # | No | Sí |
| Paraguay | No | Sí |
| Perú | Sí | Sí |
| Filipinas | Sí | Sí |
| Polonia # | Sí | Sí |
| Portugal # | Sí | Sí |
| Islas Salomón | No | Sí |
| Suráfrica | Sí | Sí |
| España | Sí | Sí |
| Sudán # | Sí | Sí |
| Suiza | No | Sí |
| Siria | No | Sí |
| Tailandia | Sí | Sí |
| Togo | Sí | Sí |
| Tunisia # | Sí | Sí |
| Turquía | Sí | Sí |
| Uganda | No | Sí |
| Reino Unido | Sí | Sí |
| EE.UU. | Sí | Sí |
| URSS | Sí | Sí |
| Zambia # | No | Sí |
| Zimbabue # | Sí | Sí |

Nota: Se excluyen los centros internacionales de investigación agrícola, la mayoría de los cuales se encuentran en la lista del Apéndice I.

: Una o más instalaciones de almacenamiento de germoplasma, en construcción en 1985.

Apéndice 4. Colecciones básicas de cultivos de semilla en la red del *International Board for Plant Genetic Resources*, marzo de 1985.

| Cultivo | Institución y localidad |
|--------------------------|---|
| CEREALES | |
| Cebada | PGRO, Ottawa, Canadá NGB, Lund, Suecia PGRC, Addis Abeba, Etiopía |
| Maíz | NIAS, Tsukuba, Japón NSSL, Fort Collins, EE.UU. NIAS, Tsukuba, Japón TISTR, Bangkok, Tailandia VIR, Leningrado, URSS Portuguese Gene Bank, Braga |
| Millos | PGRC, Addis Abeba, Etiopía |
| <i>Eleusine spp.</i> | ICRISAT, Hyderabad, India |
| <i>Eragrostis spp.</i> | PGRC, Addis Abeba, Etiopía |
| Millos hindúes menores | IARI, Nueva Delhi, India |
| <i>Panicum miliaceum</i> | ICRISAT, Hyderabad, India |
| <i>Pennisetum spp.</i> | PGRO, Ottawa, Canadá ICRISAT, Hyderabad, India NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| <i>Setaria italica</i> | ICRISAT, Hyderabad, India |
| Avena | PGRO, Ottawa, Canadá NGB, Lund, Suecia |
| Arroz | |
| Especies africana | IITA, Ibadán, Nigeria |
| indica, javanica | IRRI, Los Baños, Filipinas |
| Formas mediterráneas | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| sinica (japonica) | NIAS, Tsukuba, Japón |
| Especies silvestres | IRRI, Los Baños, Filipinas |
| Centeno | Banco Genético Polaco, Radzikow NGB, Lund, Suecia |
| Sorgo | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. ICRISAT, Hyderabad, India |
| Trigo | VIR, Leningrado, URSS NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. IG, Bari, Italia |
| <i>Triticum y</i> | |
| <i>Aegilops spp.</i> | |
| silvestres | PGI, Univ. Kyoto, Japón |
| LEGUMBRES | |
| Garbanzo | ICRISAT, Hyderabad, India |
| Haba | IG, Bari, Italia |
| Maní | ICRISAT, Hyderabad, India INTA, Pergamino, Argentina |
| Especies perennes | |
| silvestres | CENARGEN, Brasilia, Brasil |
| Lupin | ZKG, Gatersleben, Rep. Dem. Alemana |

Continuación del apéndice 4

| Cultivo | Institución y localidad |
|---|---|
| Arveja | INIA, Madrid, España IG, Bari, Italia Banco Genético Polaco, Radzikow |
| <i>Phaseolus</i> | |
| Especies silvestres | FSAE, Gembloux, Bélgica |
| Especies cultivadas | CIAT, Cali, Colombia NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. FAL, Braunschweig, Rep. Fed. de Alemania |
| Gandul | ICRISAT, Hyderabad, India |
| Soya | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| Especies perennes silvestres | CSIRO, Canberra, Australia |
| Vigna | |
| Especies silvestres | FSAE, Gembloux, Bélgica |
| <i>V. radiata</i> | IPB, Los Baños, Filipinas |
| <i>V. radita</i> | AVRDC, Taiwán, China |
| <i>V. unguiculata</i> | IITA, Ibadán, Nigeria NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| <i>Lotus tetragonolobus</i> | IPB, Los Baños, Filipinas TISTR, Bangkok, Tailandia |
| CULTIVOS DE RAICES | |
| Yuca | CIAT, Cali, Colombia |
| Papa | CIP, Lima, Perú |
| Batata | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. AVRDC, Taiwán, China NIAS, Tsukuba, Japón |
| HORTALIZAS, SEMILLAS OLEAGINOSAS, ABONOS VERDES, FORRAJES | |
| <i>Allium</i> spp. | NVRS, Wellesbourne, Reino Unido NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. NIAVT, Tapioszele, Hungría NIAS, Tsukuba, Japón |
| Amaranto | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| <i>Capsicum</i> | IARI, Nueva Delhi, India CATIE, Turrialba, Costa Rica IVT, Wageningen, Países Bajos |
| Crucíferas | |
| <i>Brassica carinata</i> | PGRC, Addis Abeba, Etiopía FAL, Braunschweig, Rep. Fed. de Alemania |
| <i>B. oleracea</i> | NVRS, Wellesbourne, Reino Unido IVT, Wageningen, Países Bajos |
| Semillas oleaginosas y abonos verdes: | |
| <i>B. campestris</i> | FAL, Braunschweig, Rep. Fed. de Alemania |
| <i>B. juncea</i> , <i>B. napus</i> y <i>Sinapis alba</i> | PGRO, Ottawa, Canadá |
| Hortalizas y forrajes: | |
| <i>B. campestris</i> | NVRS, Wellesbourne, Reino Unido |

Continuación del apéndice 4.

| Cultivo | Institución y localidad |
|---|--|
| <i>B. juncea</i> , <i>B. napus</i> | FAL, Braunschweig, Rep. Fed. de Alemania |
| Cultivos crucíferos | NIAS, Tsukuba, Japón |
| Repollo | IVT, Wageningen, Países Bajos NVRs, Wellesbourne, Reino Unido |
| Rábano | FAL, Braunschweig, Rep. Fed. de Alemania |
| Especies silvestres | NVRs, Wellesbourne, Reino Unido TU, Sendai, Japón UP, Madrid, España |
| Berenjena | IVT, Wageningen, Países Bajos NSSL, Fort Collins, Colorado., EE.UU. |
| Quimbombó | NSSL, Fort Collins, Colorado., EE.UU. |
| Calabazas | |
| Especies de <i>Benincasa</i> , <i>Luffa</i> , <i>Momordica</i> , y <i>Trichosanthes</i> | IPB, Los Baños, Filipinas |
| Especies de <i>Cucumis</i> y <i>Citrullus</i> | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. INIA, Madrid, España |
| <i>Cucurbita</i> spp. | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| Tomate | CATIE, Turrialba, Costa Rica ZGK, Gatersleben, Rep. Dem. Alemana NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. IPB, Los Baños, Filipinas |
| Hortalizas | |
| Especies y formas del sudeste de Asia | IPB, Los Baños, Filipinas |
| CULTIVOS INDUSTRIALES | |
| Remolacha | FAL, Braunschweig, Rep. Fed. de Alemania NGB, Lund, Suecia GGB, Thessaloniki, Grecia |
| Algodón | GGB, Thessaloniki, Grecia |
| Semilla de caña de azúcar | NSSL, Fort Collins, Colorado, EE.UU. |
| Tabaco | GGB, Thessaloniki, Grecia |
| Arboles | |
| Combustible y estabilización ambiental | RBG, Kew, Reino Unido |

Nota: Ver acrónimos en el Apéndice 2.

Apéndice 5. Bancos genéticos de campo dentro de la red del *International Board for Plant Genetic Resources*, marzo de 1985.

| Cultivo | Institución y localidad |
|---------|-------------------------|
|---------|-------------------------|

CULTIVOS DE RAICES Y TUBERCULOS

| | |
|--------|---|
| Yuca | CIAT, Cali, Colombia CENARGEN, Brasil* INIA, México IITA, Ibadán, Nigeria* |
| Batata | AVRDC, Taiwán, China |

FRUTALES

| | |
|----------|--|
| Banano | Banana Board, Jamaica* PCARRD, Filipinas DGRST, Camerún |
| Cítricos | FTRS, Tsukuba, Japón* INIA, Valencia, España IRFA, Córcega, Francia* USDA** CENARGEN, Brasil* IHR, India* |

CULTIVOS INDUSTRIALES

| | |
|----------------|--|
| Cacao | UWI, Trinidad y Tobago CATIE, Turrialba, Costa Rica |
| Caña de azúcar | SBI, Coimbatore, India* USDA, Florida, EE.UU. |

PERENNES

| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| <i>Allium</i> spp. | |
| Materiales de día corto | Universidad Hebrea, Israel* |
| Materiales de día largo | RIPP, Olomouc, Checoslovaquia |
| Maní | |
| Perennes silvestres | CENARGEN, Brasil |
| Soya | |
| Perennes silvestres | CSIRO, Australia |

Nota: Ver acrónimos de instituciones que poseen colecciones de germoplasma de especies cultivadas en el Apéndice 2.

* en discusión o espera de acuerdo formal.

** localidad en proceso de acuerdo.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, M.W.; ELLINGBOE, A.H.; ROSSMAN, E.C. 1971. Biological uniformity and disease epidemics. *Bioscience* 21:1067-1070.
- ALLARD, R. W. 1970. Problems of maintenance. **In:** Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. O. H. Frankel, E. Bennett, — R. D. A.H. Bunting, J. R. Harlan, E. Schreiner (Eds.). Philadelphia, F.A. Davis. p. 491-494.
- . 1970b. Taxonomy and the biological species concept in cultivated plants. **In:** Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. O. H. Frankel, E. Bennett (Eds.). Oxford, Blackwell Scientific Publications. p. 49-68.
- ARNOLD, M.H.; ASTLEY, D.; BELL, E.A.; BLEADSDALE, J.K.A.; BUNTING, A.H.; BURTLEY, J.; CALLOW, J.A.; COOPER, J.P.; DAY, P.R.; ELLIS, R.H.; FORD-LLOYD, B.V.; GILES, R.J.; HAWKES, J.G.; HAYES, J.D.; HENSHAW, G.G.; HESLOP-HARRISONSON, J.; HEYWOOD, V.H.; INNES, N.L.; JACKSON, M.T.; JENKINS, G.; LAWRENCE, M.J.; LESTER, R.N.; MATTHEWS, P.; MUMFORD, P.M.; ROBERTS, R.H.; SIMMONDS, N.W.; SMARTT, J.; SMITH, R.D.; TYLER, B.; WATKINS, R.; WHITMORE, T.C.; WITHERS, L.A. 1986. Plant gene conservation. *Nature* 319:615.
- ASHTON, P.S. 1981. Tropical botanical gardens: Meeting the challenge of declining resources. *Longwood Program Seminar* 13:55-57.
- AYENSU, E.E. 1978. The role of science and technology in the economic development of Ghana. **In:** Science, technology and economic development: A

historical and comparative study. W. Beranek, G. Ranis (Eds.). New York. p. 288-340.

BAJAJ, Y.P.S. 1979. Technology and prospects of cryopreservation of germplasm. *Euphytica* 28:267-285.

———. 1983. Cryopreservation and international exchange of germplasm. **In:** Plant cell culture in crop improvement. S. K. Sin, K. L. Giles (Eds.). New York, Plenum. p. 19-41.

BAKER, H. G. 1970a. Plants and civilization. Belmont, California, Wadsworth Publishing Co.

———. 1971. Human influences on plant evolution. *Bioscience* 21:108.

BASS, L. N. 1984. Germplasm preservation. **In:** Conservation of crop germplasm: An international perspective. L. Brown, T. T. Chang, M. M. Goodman, Q. Jones (Eds.). Madison, Wisconsin. p. 55-67.

BEARDSLEY, T. 1985. US patent rights march on. *Nature* 317:568.

BECK, B. D. 1982. Historical perspectives of cassava breeding in Africa. **In:** Root crops in eastern Africa: Workshop Held in Kigali (1980, Rwanda). Proceedings. Ottawa, International Development Research Centre. p. 13-18.

BECWAR, M. R.; STANWOOD, P.C.; LEONHARDT, K.W. 1983. Dehydration effects on freezing characteristics and survival in liquid nitrogen of desiccation-tolerant and desiccation-sensitive seeds. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108:613-618.

BERNARD, C. J. 1945. Le jardin botanique de Buitenzorg et les institutions de botanique appliquée aux Indes Néerlandaises. **In:** New York Board for the Netherlands Indies, Surinam y Curacao. P. Honig, F. Verdon (Eds.). p. 10-15.

BHATTI, M. S.; AKBAR, M.; SOOMRO, A.A. 1983. Pakistan. **In:** Rice Germplasm Conservation Workshop. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute/International Board for Plant Genetic Resources. p. 35-36.

BOGORAD, L. 1983. Overview of the potential and prospects in genetic engineering of plants. **In:** Chemistry and world food supplies: The new frontiers, Chemrawn II. L. W. Shemilt (Ed.). Oxford, Pergamon Press. p. 553-562.

BOSEMARK, N. O. 1979. Genetic poverty of the sugarbeet in Europe. **In:** Conference on Broadening the Genetic Base of Crops (1978, Wageningen, Netherlands). Proceedings. A. C. Reven, A.M. Van Harten (Eds.). Wageningen, PUDOC. p. 29-35.

- BOSTER, J. 1983. A comparison of the diversity of Jivaroan gardens with that of the tropical forest. *Human Ecology* 11:47-68.
- BOYER, J. S. 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218:443-448.
- BRANDES, E. W.; SARTORIS, G.B. 1936. Sugarcane: Its origin and improvement. In: *Yearbook of agriculture*. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture. p. 561-623.
- BRETSCHNEIDER, E. 1935. History of European botanical discoveries in China. Leipzig, K. F. Koehlers Antiquarium. v. 1. s.p.
- BREWBAKER, J. L. 1979. Diseases of maize in the wet lowland tropics and the collapse of the classic Maya civilization. *Economic Botany* 33:101-118.
- BROCKWAY, L. H. 1979. Science and colonial expansion: The role of the British Royal Botanic Gardens. New York, Academic Press.
- BROWN, L. R.; WOLF, E.C. 1985. Reversing Africa's decline. Washington, D.C., Worldwatch Institute. Document no. 65.
- BROWN, N. J. 1982. Biological diversity: The global challenge. In: U.S. Strategy Conference on Biological Diversity (1981). Proceedings. Washington, D. C., Department of State Publication 9262. p. 22-27.
- BROWN, W. L. 1982. Genetic diversity: Serious business for crop protection and maintenance. In: U.S. Strategy Conference on Biological Diversity (1981). Proceedings. Washington, D.C., Department of State Publication 9262. p. 13-17.
- . 1984. Conservation of gene resources in the United States. In: *Plant genetic resources: A conservation imperative*. C. W. Yeatman, D. Kafton, G. Wilkes (Eds.). Boulder, Colorado, Westview Press. p. 31-41.
- BROWNING, J. A. 1974. Relevance of knowledge about natural ecosystems to development of pest management programs for agro-ecosystems. *Proceedings of the American Phytopathological Society* 1:191-199.
- ; FREY, K. J. 1969. Multiline cultivars: A means of disease control. *Annual Review of Phytopathology* 7:355-382.
- BURGESS, J. 1984. The revolution that failed. *New Scientist* 104(1428):26-29.
- BURKILL, I. H. 1918. The establishment of the Botanic Gardens, Singapore. *The Gardens' Bulletin (Singapur)* 2(2):55-63.

- CANDOLLE, A. DE. 1855. *Géographie botanique raisonnée: Ou, exposition des faits principaux et des lois concernant la distribution géographique des plantes de l'époque actuelle*. Paris, V. Masson.
- . 1902. *Origin of cultivated plants*. New York, Appleton.
- CARNEIRO, R. L. 1983. The cultivation of manioc among the Kuikuru of the upper Xingu. In: *Adaptive responses of native Amazonians*. R. B. Hames, W. T. Vickers (Eds.). Nueva York, Academic Press. p. 65-111.
- CENARGEN. 1984. *Plantas medicinales-retorno a los origenes*. Brasil, Centro Nacional de Recursos Genéticos. CENARGEN Informa 1:5.
- CHANG, T. T. 1976a. The rice cultures. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 275:146-157.
- . 1976b. *Manual on genetic conservation of rice germ plasm for evaluation and utilization*. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute.
- . 1976c. Exploitation of useful gene pools in rice through conservation and evaluation. *Society for the Advancement of Breeding Researchers in Asia and Oceania* 8 (1): 11-16.
- . 1980. The rice genetic resources program of IRRI and its impact on rice improvement. In: *Rice improvement in China and other Asian countries*. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. p. 85-105.
- . 1983a. Genetic resources of rice. *Outlook on Agriculture* 12(2):57-62.
- . 1983b. Guidelines for the cold storage of orthodox crop seeds in the humid tropics. *International Board for Plant Genetic Resources, Regional Committee for Southeast Asia Newsletter* 7(2/3):23-26.
- . 1984a. Conservation of rice genetic resources: Luxury or necessity? *Science* 224:251-256.
- . 1984b. Genetics. *Asia Week* 10(49):94.
- . 1984c. The role and experience of an international crop-specific genetic resources center. In: *Conservation of crop germplasm-an international perspective*. Crop Science Society of America. p. 35-45.
- . 1985. Evaluation and documentation of crop germplasm. *Iowa State Journal of Research* 59:379-397.

- CHANG, T.T.; BROWN, W.L.; BOONMAN, J. G.; SNEEP, J.; LAMBERTS, H. 1979. Crop genetic resources. In: Plant breeding perspectives. J. Sneepe, A. J. T. Hendriksen (Eds.). Wageningen, PUODOC. p. 83- 103.
- ; ADAIR, C.R.; JOHNSTON, T.H. 1982. The conservation and use of rice genetic resources. *Advances in Agronomy* 35:37-91.
- CHAPMAN, C.G.D. 1984. On the size of a genebank and genetic variation it contains. In: Crop genetic resources: Conservation and evaluation. J. H. W. Holden, J. T. Williams (Eds.). Londres, George Allen and Unwin. p. 102-119.
- CHEN, Y. 1983. Malasia. In: Rice Germplasm Conservation Workshop. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute, International Board for Plant Genetic Resources. p. 33-34.
- CHERNELA, J. M. s.f. Classificação e seleção indígena de grupos subespecíficos de *Manihot esculenta* na área do Rio Vaupésno noroeste da Amazonia. In Congreso Nacional de Botânica (35). Anais. (En prensa).
- CHITRAKON, S.; SOMRITH, B.; SUTTHI, C. 1983. Tailandia. In: Rice Germplasm Conservation Workshop, Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute, International Board for Plant Genetic Resources. p. 40-41.
- CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). 1980. CIAT Report 1980. Cali, Col.
- . 1984a. CIAT enters the biotechnology era. *CIAT International* 4(1):3.
- . 1984b. CIAT 1984: A summary of major achievements during the period 1977-1983. Cali, Col.
- . 1984c. External program review: Rice program report. Cali, Col.
- . 1985. Annual Report: Genetic resources unit highlights. Cali, Col.
- CIMMYT. (CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO). 1984. CIMMYT 1983 annual report. El Batán, Méx.
- CIP (CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA). 1984. Potatoes for the developing world. Lima, Perú.
- . 1985. Annual report 1984. Lima, Perú.

- CLAWSON, D. L. 1985. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Economic Botany* 39:56-67.
- COCK, J. H. 1985. Cassava: New potential for a neglected crop. Boulder, Colorado, Westview Press.
- COMEAU, A. 1984. Barley yellow dwarf virus resistance in the genus *Avena*. *Euphytica* 33:49-55.
- CONWAY, R.; MCCAULEY, D.S. 1983. Intensifying tropical agriculture. The Indonesian experience. *Nature* 302:288-289.
- COOK, S. F.; BORAH, W. 1979. Essays in population history: Mexico and California. Berkeley, University of California Press. v. 3.
- CREECH, J. L. 1970. Tactics of exploration and collection. In: Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. O. H. Frankel, E. Bennett, R. D. Brock, A. H. Bunting, J. R. Harlan, E. Schreiner (Eds.). Filadelfia, F.A. Davis. p. 221- 229.
- CRILL, P.; JONES, J.P.; BURGIS, D.S.; WOLTZ, S.S. 1982. Controlling *fusarium* wilt of tomato with resistant varieties. In: Evolution of the gene rotation concept for rice blast control: A compilation of ten research papers. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute. p. 1-7.
- ; BURGIS, D.S.; JONES, J.P.; AUGUSTINI, J. 1982. Tomato variety development and multiple disease control with host resistance. In: Evolution of the gene rotation concept for rice blast control: A compilaion of ten research papers. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute. P. 37-66.
- ; NUQUE, L.; ESTRADA, B.A.; BANDONG, J.M. 1982. The role of varietal resistance in disease management. In: Evolution of the gene rotation concept for rice blast control: A compilation of ten research papers. Los Baños, Filipinas, International Rice Reserch Institute. p. 103-121
- CRIST, R. E. 1971. Migration and population change in the Irish Republic. *American Journal of Economics and Sociology* 30:253-258.
- CROSBY, A. W. 1972. The Columbian exchange: Biological and cultural consequences of 1492. Westport, Connecticut, Greenwood Press.
- CROWE, S.; HAYWOOD, S.; JELLICOE, G. PATTERSON. 1972. The gardens of Mughul India: A history and a guide. Londres, Thames y Hudson.
- CRULS, G. 1949. Aparencia do Rio de Janeiro. São Paulo, Bra.; Livraria José Olympio.

- CUNNINGHAM, I. S. 1984. Frank N. Meyer: Plant hunter in Asia. Ames, Iowa State University Press.
- DANIELS, J.; SMITH, P. PATTON, N. 1975. The origins of sugarcane and centres of diversity in *Saccharum*. In : South East Asian plant genetic resources. J.T. Willias, C. H. Laoureux, N. Wulijarni-Soetjipto (Eds). Bogor, Indonesia, International Board for Plant Genetic Resources, SEAEO, Regional Center for Tropical Biology/BIOTROP, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian y Lembaga Biologi Nasional, LIPI. p. 91-107.
- DENEVAN, W. M. 1983. Adaptation, variation, and cultural geography. Professional Geographer 35:399-406.
- DIONNE, L. A. 1963. Studies on the use of *Solanum acaule* as a bridge between *Solanum tuberosum* and species in the series *Bulbocastana*, *Cardiophylla* and *Pinnatisecta*. Euphytica 12:263-269.
- DOUGLAS, J. E. 1980. Successful seed programs: A planning and management guide. Boulder, Colorado, Westview Press.
- DOUSSINAULT, G.; DELIBES, A.; SANCHEZ-MONGE, R.; GARCIA-OLMEDO, F. 1983. Transfer of a dominant gene for resistance to eyespot disease from a wild grass to hexaploid wheat. Nature 303:698-700.
- DUBLIN, H. J.; RAJARAM, S. 1982. The CIMMYT's international approach to breeding disease-resistant wheat. Plant Disease 66:967-972.
- DUNLAP, V. C. 1967. The United Fruit Company and the Lancetilla Experiment Station. In: International Symposium on Plant Introduction (1966, Tegucigalpa, Hond.). Proceedings. Tegucigalpa, Hond., Escuela Agrícola Panamericana. p. 33-41.
- DUVICK, D. N. 1983. Improved conventional strategies and methods for selection and utilization of germplasm. In: Chemistry and world food supplies: The new frontiers: Chemrawn II. L. W. Shemilt (Ed.). Oxford, Pergamon Press.
- . 1984. Genetic diversity in major farm crops on the farm and in reserve. Economic Botany 38:161-178.
- EARNEST, E. 1940. John and William Bartram, botanists and explorers. Philadelphia, University of Pennsylvania Press.
- ECKHOLM, E. P. 1982. Down to earth: Environment and human needs. New York, W. W. Norton.
- EHRlich, P.; EHRlich, A. 1983. Extinction: The causes and consequences of the disappearance of species. New York, Ballantine Books.

- ESQUINAS-ALCAZAR, J. T. 1981. Genetic resources of tomatoes and wild relatives. Roma, International Board for Plant Genetic Resources.
- . 1982. Recursos fitogenéticos de la región andina. *Plant Genetic Resources Newsletter* 52:31-36.
- EVANS, L. T. 1975. Impressions of research on agricultural plants in the USSR. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 41:147-155.
- EVENSON, R. W. 1983. Intellectual property rights and agribusiness research and development: Implications for the public agricultural research system. *American Journal of Agricultural Economics* 65:967-975.
- EYRE, A. 1966. *The botanic gardens of Jamaica*. Londres, Andre Deutsch.
- FAIRCHILD, D. 1938. *The world was my garden: Travels of a plant explorer*. New York, Charles Scribner's Sons.
- FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). 1983a. *Plant genetic resources: Report of the Director-General*. Roma.
- . 1983b. *Report of the conference of FAO, Twenty-second Session*. Roma.
- . 1985. *Information note on the seed improvement and development programme*. Roma. AGP/SIDP/85/15.
- FARIS, D. G. 1984. ICRISAT's research on pigeonpea. In: *Grain legumes in Asia*. Patancheru, India, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. p. 17-20.
- FEISTRITZER, W. P. 1975. *General seed technology*. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FELDMAN, M. 1976. Wheats. In: *Evolution of crop plants*. N. W. Simmonds (Ed.). Londres, Longman. p. 120-128.
- FERREZ, G.; MOUILLOT, M. 1965. A muito leal e heróica cidade de Sao Sebastiao do Rio de Janeiro. Raymundo de Castro Maya, Candido Guinle de Paula Machado, Fernando Machado Portella, (Eds.). Rio de Janeiro, Bra., Banco Boavista S.A.
- FISCHBECK, G. 1981. The usefulness of gene banks: Perspectives for the breeding of plants. In: *The use of genetic resources in the plant kingdom*. Ginebra, Union Internationale pour la Protection des Obtentions Vegetales. p. 15-26.

- FORD-LLOYD, B.; JACKSON, M. 1984. Plant gene banks at risk. *Nature* 308:683.
- FOSTER, B. 1984. Native plant gene conservation in British Columbia. In: Plant genetic resources: A conservation imperative. C. W. Yeatman, D. Kafton, G. Wilkes (Eds.). Boulder, Colorado, Westview Press. p. 63-70. (AAAS Selected Symposia Series no. 87).
- FRANKEL, O. H. 1970. Genetic conservation in perspective. In: Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. O. H. Frankel, E. Bennett, R. D. Block, A. H. Bunting, J. R. Harlan, E. Schreiner (Eds.). Philadelphia, F. A. Davis. p. 469- 489.
- . 1975. Genetic conservation-why and how. In: South East Asian plant genetic resources. J. T. Williams, C. H. Lamoureux, N. Wulijarni- Soetjpto (Eds.). Bogor, Indonesia, International Board for Plant Genetic Resources, SEAMEO Regional Center for Tropical Biology/BIOTROP, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, y Lembaga Biologi Nasional-LIPI. p. 16-32.
- . 1977. Natural variation and its conservation. In: Genetic diversity in plants. A. Muhammed, R. Aksel, R. VonBorstel (Eds.). New York, Plenum Press. p. 21-44.
- . 1981. Conservation of genes, gene banks and patents. In: The biological manipulation of life. H. Messel (Ed.). Sydney, Pergamon Press. p. 212.
- ; BENNETT, E. (Eds.). 1970. Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. Oxford, Blackwell.
- ; HAWKES, J. G. (Eds.). 1975. Crop genetic resources for today and tomorrow. Cambridge, Cambridge University Press.
- . SOULE, M. E. 1981. Conservation and evolution. Cambridge (Ing.), University Press.
- FREY, K. J.; BROWNING, J. A.; SIMONS, M.D. 1973. Management of host resistance genes to control diseases. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 80:160-180.
- FRY, W. E. 1982. Principles of plant disease management. New York, Academic Press.
- GALINAT, W. C.; MANGELSDORF, P.C.; PIERSEN, L. 1956. Estimates of teosinte introgression in archaeological maize. *Botanical Museum Leaflets* 17:101-124.

- GALLOWAY, J. H. 1985. Tradition and innovation in the American sugar industry, c. 1500-1800: An explanation. *Annals of the Association of American Geographers* 75:334-351.
- GARDNER, G. 1846. Travels in the interior of Brazil, principally through the northern provinces, and the gold and diamond districts, during the years 1836- 1841. Londres, Reeve Brothers.
- GILL, K. S.; NANDA, G.S.; SINGH, G. 1984. Stability analysis over seasons and locations of multilines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 33:489-495.
- GLACKEN, C. J. 1976. Traces on the Rhodian shore: Nature and culture in western thought from ancient times to the end of the eighteenth century. Berkeley, University of California Press.
- GODDEN, D. 1984. Plant breeders' rights and international agricultural research. *Food Policy* 9(3): 206-218.
- GOMEZ, P. L. 1985. Mejoramiento genético de la papa. Manuscrito.
- GOODLAND, R. 1985. Wildland management in economic development. First International Wildlife Symposium, IX World Forestry Congress and the Wildlife Society of Mexico. Keynote address. Méx.
- GOODMAN, M. M. 1976. Maize. In: Evolution of crop plants. N. W. Simmonds (Ed.). Londres, Longman. p. 128-136.
- GRASSEL, C. O. 1965. Introgression between *Saccharum* and *Miscanthus* in New Guinea and the Pacific area. In International Congress of Sugar Cane Technologists (12., Puerto Rico). Proceedings. Amsterdam, Elsevier. p. 995-1003.
- GRILICHES, Z. 1958. Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations. *Journal of Political Economy* 66:419-431.
- HAHN, S. K. 1978. Breeding cassava for resistance to bacterial blight. *PANS* 24:480-485.
- ; TERRY, E. R.; LEUSCHNER, K.; AKOBUNDU, I.O.; OKALI, C.; LAL, R. 1979. Cassava improvement in Africa. *Field Crops Research* 2:193-226.
- ; TERRY, E. R.; LEUSCHNER, K. 1980. Breeding cassava for resistance to cassava mosaic disease. *Euphytica* 29:673-683.
- ; HOWLAND, A. K.; TERRY, E. R. 1980. Correlated resistance of cassava to mosaic and bacterial blight diseases. *Euphytica* 29:305-311.

- HAMMONS, R. O. 1976. Peanuts: Genetic vulnerability and breeding strategy. *Crop Science* 16:527-530.
- HANNEMAN, R. E. 1976. The inter-regional potato introduction project (IR-1). In: Planning Conference on the Exploration and Maintenance of Germ Plasm Resources. Lima, Centro Internacional de la Papa.
- HANSON, J.; WILLIAMS, J. T. ; FREUND, R. 1984. Institutes conserving crop germplasm: The IBPGR global network of genebanks. Roma, International Board for Plant Genetic Resources.
- HARDON, J.J. 1976. Oil palm. In: Evolution of crop plants. N.W. Simmonds (Ed.). Londres, Longman. p. 225-229.
- HARDY, R.W.F. 1983. Chemical, biological, genetic, and agronomic approaches to improved or alternative technologies to provide fixed nitrogen. In: Chemistry and world food supplies: The new frontiers, Chemrawn II. L.W. Shemilt, (Ed.). Oxford, Pergamon Press. p. 585-599.
- . 1984. Biotechnology: Status, forecast and issues.
Prepared as technology sector forecast for Symposium on Technological Frontiers and Foreign Relations.
- HARLAN, H. V.; MARTINI, M.L. 1936. Problems and results in barley breeding. In: Yearbook of agriculture. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. p. 303-346.
- HARLAN, J. R. 1965. The possible role of weed races in the evolution of cultivated plants. *Euphytica* 14:173-176.
- . 1972. Genetics of disaster. *Journal of Environmental Quality* 1:212-215.
- . 1975a. Our vanishing genetic resources. *Science* 188:618-621.
- . 1975b. Crops and man. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy/Crop Science Society of America.
- . 1976. Genetic resources in wild relatives of crops. *Crop Science* 16:329-333.
- . 1984. Evaluation of wild relatives of crop plants. In: Crop genetic resources: Conservation and evaluation. O.H. Frankel, E. Bennett, R.D. Brock, A.H. Bunting, J.R. Harlan, E. Schreiner (Eds.). Philadelphia, F.A. Davis. p. 212-222.

- HARRINGTON, J. F. 1970. Seed and pollen storage for conservation of plant gene resources. **In:** Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. O. H. Frankel, E. Bennett, R. D. Brock, A. H. Bunting, J. R. Harlan, E. Schreiner (Eds.). Filadelfia, F. A. Davis. p. 501-521.
- HART, W. E. 1919. The botanic garden of Pamplemousses. Royal Botanic Gardens, Kew. Bulletin of Miscellaneous Information 5:279-286.
- HARTLEY, C. 1939. The clonal variety for tree planting: Asset or liability? Phytopathology 29:9.
- HARVEY, J. 1981. Mediaeval gardens. Londres, B.T. Batsford.
- HAWKES, J. G. 1958. Significance of wild species and primitive forms for potato breeding. Euphytica 7:257-270.
- . 1969. The ecological background of plant domestication. **In:** The domestication and exploitation of plants and animals. P.J. Ucko, G.W. Dimbleby (Eds). p. 17-29.
- . 1977a. Plant gene pools—an essential resource for the future. Journal of the Royal Society of Arts 125:224-235.
- . 1977b. The importance of wild germplasm in plant breeding. Euphytica 26:615-621.
- . 1978. The taxonomist's role in the conservation of genetic diversity. **In:** Essays in plant taxonomy. H.E. Street (Ed.). New York, Academic Press. p. 775-783.
- . 1979. Genetic poverty of the potato in Europe. **In:** Broadening the Genetic Base of Crops (1978, Wageningen, Netherlands). Conference Proceedings. C. Zeven, A.M. Van Hartenp. (Eds.). Wageningen, PUDOC. p. 19-27.
- . 1980. The taxonomy of cultivated plants and its importance in plant breeding research. **In:** Perspectives in world agriculture. Farnham Royal, Slough, England Commonwealth Agricultural Bureaux. p. 49-66.
- . 1981. Biosystematic studies of cultivated plants as an aid to breeding research and plant breeding. Kulturpflanze 29:327-335.
- . 1982. Genetic conservation of "recalcitrant species"— an overview. **In:** Crop genetic resources: The conservation of difficult material. L.A. Withers, J.T. Williams (Eds). Paris, IUBS/IBPGR. p. 83-92.
- . 1983. The diversity of crop plants. Cambridge, massachusetts, Harvard University Press.

- HAWKES, J.G. 1985. Plant genetic resources: The impact of the International Agricultural Research Centers. Washington, D.C., Consultative Group on International Research. World Bank Study Paper no. 3.
- HEALEY, B. J. 1975. The plant hunters. New York, Charles Scribner's Sons.
- HEINRICH, E. A. 1984. Perspectives and directions for the continued development of insect resistant varieties. **In:** Annual Meeting of the Entomological Society of America (1984).
- Presented at: Symposium on Plant Resistance to Insects Research Varieties.
- HEINZ, D. J. 1967. Wild *Saccharum* species for breeding in Hawaii. **In:** International Society of Sugarcane Technologists (12., 1965, Puerto Rico). Proceedings. Elsevier, Amsterdam. p. 1037- 1043.
- HEMMING, J. 1978a. Red gold: The conquest of the Brazilian indians, 1500-1760. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- . 1978b. The search for El Dorado. Londres, Michael Joseph.
- HEPPER, F. N. 1982. Royal Botanic Gardens, Kew: Gardens for science and pleasure. Londres, Her Majesty's Stationary Office.
- HESTER, J. H. 1983. Plant, science, and human needs: The New York Botanical Garden gears up. *Orion* 2(4):24-31.
- HIBINO, H. 1984. Rice grassy stunt virus: Current research and prospects. Bhubaneswar, Orissa, India.
- Presented at: Workshop on the RTV Collaborative Project.
- HINMAN, C. W. 1984. New crops for arid lands. *Science* 225:1445-1448.
- HOLDEN, J. H. W. 1984. The second ten years. **In:** Crop genetic resources: Conservation and evaluation. J.H.W. Holden, J.I. Williams (Eds.). Londres, George Allen and Unwin. p. 277-285.
- HOLTUM, R. E. 1984. Tropical Botanic Gardens, past, present and future. **In:** International Symposium on Botanic Gardens of the Tropics (Penang, Malasia). Keynote address.
- HOOYKAAS-VAN SLOGTEREN, G.M.S., P.J.J. HOOYKAAS, P.J.J.; SCHILP-EROORT, R.A. 1984. Expression of ti plasmid genes in monocotyledonous plants infected with *Agrobacterium tumefaciens*. *Nature* 311:763-764.
- HOWARD, R. A. 1954. A history of the botanic garden of St. Vincent, British West Indies. *Geographical Review* 44:381-393.

HUAMAN, Z. 1982. The world potato collection maintained at CIP. Lima.

Presented at: International Germ Plasm Course.

HUAMAN, J.; HAWKES, G.; ROWE, P.R. 1980 *Solaum ajanhuiri*: An important diploid potato cultivated in the Andean altiplano. *Economic Botany* 34:335-343.

HUMBOLDT, A. VON. 1818. Personal narrative of travels to the equinoctial regions during the years 1799-1804. Londres, Longman. v. 1.

HUSSAINI, S. H., GOODMAN M. M., TIMOTHY D.H. 1977. Multivariate analysis and the geographical distribution of the world collection of finger millet. *Crop Science* 17:257-263.

HYAMS, E.; MACQUITTY, W. 1969. Great botanical gardens of the world. Londres, MacMillan.

HYLAND, H. L. 1977. History of U.S. plant introduction. *Environmental Review* 4(77):26-33.

———. 1984. History of plant introduction in the United States. In: *Plant genetic resources: A conservation imperative*. C. W. Yeatman, D. Kafton, G. Wilkes (Eds.). Boulder, Colorado, Westview Press. pp. 6-14. (AAAS Selected Symposia Series no. 87)

IARI. (INDIAN AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE). 1980. The new production technology for barley. New Delhi, IARI. Research Bulletin no. 24.

IBPGR. (INTERNATIONAL BOARD FOR PLANT GENETIC RESOURCES). 1976. IBPGR Advisory Committee on Sorghum and Millets Germplasm: In First Meeting Held (1976, Hyderabad, India). Report. Roma, International Board for Plant Genetic Resources, ICRISAT.

———. 1980. Directory of germplasm collections. *International Board for Plant Genetic Resources*.

———. 1983a. Practical considerations affecting the collection and exchange of samples of wild species and primitive cultivars. Roma, IBPGR.

———. 1983b. IBPGR Advisory committee on *in vitro* storage: Report of the first meeting. Roma.

———. 1983c. Crop genetic resources for all. Roma.

- IBPGR (INTERNATIONAL BOARD FOR PLANT GENETIC RESOURCES). 1983d. Kodo millet descriptors. Roma.
- . 1983e. Pear descriptors. Roma.
- . 1984a. Annual report 1983. Roma.
- . 1984b. The IBPGR in its second decade: An updated strategy and planning report. Rome.
- . 1985a. IBPGR Advisory committee on *in vitro* storage: Report of the second meeting. Rome.
- . 1985b. IBPGR Advisory committee on seed storage: Report of the third meeting. Rome.
- . 1985c. Ecogeographical surveying and *in situ* conservation of crop relatives. Rome.
- . 1985d. Annual report 1984. Rome.
- ICARDA. (INTERNATIONAL CENTER FOR AGRICULTURE IN THE DRY AREAS). 1984. A genetic resource program at ICARDA: Strategies and a five-year work program. Aleppo, Siria.
- ICRISAT. (INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI- ARID) 1978. ICRISAT annual report 1977-1978. Patancheru, India.
- . 1985. Proceedings of an International Workshop on Cytogenetics of *Arachis*, ICRISAT Center, (1983, Patancheru, India). Patancheru, India.
- IITA. 1983. IITA research highlights '82. Ibadan, Nigeria.
- . 1985. IITA research highlights 1984. Ibadan, Nigeria.
- INGRAM, G. B.; WILLIAMS, J.T. 1984. *In situ* conservation of wild relatives of crops. In: Crop genetic resources: Conservation and evaluation. J.H.W. Holden, J. T. Williams (Eds.). Londres, George Allen and Unwin. p. 163-179.
- INNES, N. L. 1975. Genetic conservation and the breeding of field vegetables for the United Kingdom. Outlook on Agriculture 8:301-305.
- IRRI. (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE) 1980. IRRI germplasm bank: Treasure of mankind. Los Baños, Filipinas. Report no. 3/80:2.

- IRRI. 1984. Annual report for 1983. Los Baños, Filipinas.
- JAIN, H. K. 1982. Plant breeders' rights and genetic resources. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 42(2):121-128.
- ; BANERJEE, S. K. 1982. Problems of seed production and procedures of varietal release in India. *Seed Research* 10:1-17.
- JENNINGS, D. L. 1976. Cassava. In: *Evolution of crop plants*. N. W. Sommonds (Ed.). Londres, Longan. p. 81-84.
- JOHNSON, R.; ALLEN, D. J. 1975. Induced resistance to rust diseases and its possible role in the resistance of multiline varieties. *Annals of Applied Biology* 80:359-363.
- JOHNSON, V. A.; BEEMER, H. L. 1977. Wheat in the Peoples' Republic of China. Washington, D. C., National Academy of Sciences.
- JONES, M. G. K. 1985. Transformation of cereal crops by direct gene transfer. *Nature* 317:579-580.
- JONES, W. O. 1959. Manioc in Africa. California, Stanford University Press.
- KAHN, E. J. 1985. The staffs of life. Boston, Little, Brown and Company.
- KARTHA, K. K., MROGINSKI, L. A.; PAHL, K.; LEUNG, N. L. 1981. Germplasm preservation of coffee (*Coffea arabica* L.) by *in vitro* culture of shoot apical meristems. *Plant Science Letter* 22:301- 308.
- KCLRS. 1983. Wheat varieties: Special press release. Topeka, Kansas Crop and Livestock Reporting Service, Kansas State Board of Agriculture.
- KERR, W. E.; CLEMENT, C. R. . 1980. Práticas agrícolas de consecuencias genéticas que possibilitaram aos índios da Amazonia uma melhor adaptação as condicoes ecológicas da região. *Acta Amazonica* 10:251-261.
- ; POSEY, D. A. 1984. Informações adicionais sobre a agricultura dos Kayapó. *Interciencia* 9:392-400.
- KHUSH, G. S. 1977. Disease and insect resistance in rice. *Advances in Agronomy* 29:265-341.
- . s.f. IRRI breeding program and its worldwide impact on increasing rice production. In: *Gene manipulation in plant improvement*. New York, Plenum Press.

- KHUSH, G. S.; LING, K.C. 1974. Inheritance of resistance to grassy stunt virus and its vector in rice. *Journal of Heredity* 65:134-136.
- ; LING, K.C.; AQUINO, R.C.; AGUIERO, V.M. 1977. Breeding for resistance to grassy stunt in rice. *In: International Congress of the Society for the Advancement of Breeding Researchers in Asia and Oceania (SABRAO). (3). Proceedings. Plant Breeding Papers* 1(4b):3-9.
- KINGDON-WARD, F. 1924. *The romance of plant hunting*. Londres, Edward Arnold.
- KLOSE, N. 1950. *America's crop heritage: The history of foreign plant introduction by the Federal Government*. Ames, Iowa State College Press.
- KNOTT, D. R.; DVORAK, J. 1976. Alien germ plasm as a source of resistance to disease. *Annual Review of Phytopathology* 14:211-235.
- KONZAK, C. F. 1984. Role of induced mutations. *In: Crop breeding: A contemporary guide*. P. B. Vose, S. G. Blixt (Eds.). Oxford, Pergamon Press. p. 216-292.
- ; KLEINHOF, A.; ULLRICH, S.E. 1984. Induced mutations in seed-propagated crops. *In: Plant Breeding Reviews*. J. Janick (Ed.). Westport, Connecticut, Avi Publishing Co. v. 2, p. 13-72.
- KRUGMAN, S. L. 1985. Forest genetics and foreign policy. *Iowa State Journal of Research* 59:529-539.
- KYAW, U. O. 1983. Burma. *In: Rice Germplasm Conservation Workshop (1983)*. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute/International Board for Plant Genetic Resources. p. 29-30.
- LEAF, M. J. 1983. The Green Revolution and cultural change in a Punjab village, 1965-1978. *Economic Development and Cultural Change* 31:227-270.
- LEHMAN, C. O. 1979. The Gatersleben gene bank. *In: Conference on Broadening the Genetic Base of Crops (1978, Wageningen, Netherlands). Proceedings*. A. C. Zeven, A. M. Van Harten (Eds.). Wageningen, PUDOC. p. 111-116.
- LEUSCHNER, K. 1981. Screening for resistance against the green spider mite. *In: Tropical root crops: Research strategies for the 1980s*. E. R. Terry, K.A. Oduro, F. Cavens (Eds.). Ottawa, International Development Research Centre. p. 75-78.

- LEUSCHNER, K. 1982. Pest control for cassava and sweet potato. In: Root crops in eastern Africa. (1980, Kigali, Rwanda). Proceedings. Ottawa, International Development Research Centre. p. 60-64.
- LEWIN, R. 1982. Never-ending race for genetic variants. *Science* 218:877.
- LEWIS, L. N. 1985. Genetic engineering: One leg of a three-legged stool. *California Agriculture* 39 (1-2):2.
- LUCAS, G. B. 1980. The war against blue mold. *Science* 210:147-153.
- LUTHRA, J. K.; RAO, M.V. 1979. Escape mechanism operating in multilines and its significance in relation to leaf rust epidemics. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 39:38-49.
- LYMAN, J. M. 1984. Progress and planning for germplasm conservation of major food crops. *Plant Genetic Resources Newsletter* 60:3-21.
- MACFADYEN, J. T. 1985. A battle over seeds: The Third World asks for a share of gene stocks bred in northern laboratories-from southern seed. *Atlantic* 256(5): 36-44.
- MACKENZIE, D. 1983. Seeds of conflict over food genes. *New Scientist* 1390:870-871.
- MACPHAIL, I. 1972. *Hortus botanicus*: The botanic garden and the book. Lisle, Illinois, Sterling Morton Library/Newberry Library.
- MAJID, A.; HENDRANATA, A. 1975. Selection and conservation problems in *Hevea* with special reference to Indonesia. In: South East Asian plant genetic resources. J. T. Williams, C. H. Lamoureux, N. Wulijarni-Soetjipto (Eds.). Bogor, Indonesia, International Board for Plant Genetic Resources, SEAMEO Regional Center for Tropical Biology/BIOTROP. p. 171-177.
- MANGELSDORF, P. C.; MACNEISH, R.S.; GALINAT, W.C. 1967. Prehistoric wild and cultivated maize. In: The prehistory of the Tehuacan Valley. I. Environment and subsistence. D. S. Byers (Ed.). Austin, University of Texas Press. p. 178-200.
- MARTIN, J. P. 1965. The commercial sugar cane varieties of the world and their resistance and susceptibility to the major diseases. In: International Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists (12., Puerto Rico). Proceedings. Amsterdam, Elsevier. p. 1212-1225.
- MASSART, J. 1945. Notes javanaises. In: Science and scientists in the Netherlands Indies. P. Honig, F. Verdoorn (Eds.). New York, Board for the Netherlands Indies. p. 231-240.

- MAY, R.M. 1985. Evolution of pesticide resistance. *Nature* 315:12-13.
- MCALISTER, L.N. 1984. Spain and Portugal in the New World, 1492-1700. Minneapolis, University of Minnesota Press.
- MCDONALD, D. 1984. ICRISAT's research on groundnut. In: Grain legumes in Asia. Patancheru, India, ICRISAT. p. 14-23.
- MCCLEAN, T. 1981. Medieval English gardens. New York, Viking Press.
- MELENDEZ, H.; LOPEZ, M.A.U.; ESPINOZA, J. A.; LAUCK, V.W.G.; LOPEZ, F.A.I.; RODRIGUEZ, A. M.; CHAVEZ, F.O.; APONTO, L.P.; BELTRAN, P.R.; PALMA, J.V. 1981. Sabanera y Costeña: Dos nuevas variedades de yuca para el trópico húmedo de México. Tabasco, Huimanguillo, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, INIA, Centro de Investigaciones Agrícolas del Golfo Centro, Campo Experimental Huimanguillo. Folleto Técnico no. 1.
- MENGESHA, M. H. 1984. International germplasm collection, conservation, and exchange at ICRISAT. In: Conservation of crop germplasm: An international perspective. W.L. Brown, T.T. Chang, M.M. Goodman, Q. Jones (Eds.). Crop Science Society of America. p. 47-54.
- MICHE, A.; Maluszynski, A.; Donini, B. 1985. Plant cultivars derived from mutation induction or the use of induced mutations in cross breeding. Viena, Food and Agriculture Organization/International Atomic Energy Agency. Mutation Breeding Review no. 3.
- MOONEY, P. R. 1979. Seeds of the earth: A private or public resource? Ottawa, Inter Pares.
- _____. 1983. The law of the seed: Another development and plant genetic resources. *Development Dialogue* (Suecia) 1983: 1-2.
- MOSS, J. P. 1980. Wild species in the improvement of groundnuts. In: Advances in legume science. R. J. Suerfield, A. H. Bunting (Eds.). Kew, Royal Botanic Gardens. p. 525-535.
- MURATA, M.; ROOS, E.E.; TSUCHIYA, T. 1981. Chromosome damage induced by artificial seed ageing in barley. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 23:267-280.
- MURPHY, C. F. 1985. The National Plant Germplasm System (NPGS): Report of acting assistant to Deputy Administrator to Regional Technical Committees. (Mimeo).

- MYERS, N. 1983. *A wealth of wild species: Storehouse for human welfare*. Westview Press.
- . 1984. *The primary source: Tropical forests and our future*. New York, W. W. Norton.
- NAS. 1972. *Genetic vulnerability of major crops*. Washington, D. C., National Academy of Sciences.
- NASULGC. 1983. *Emerging biotechnologies in agriculture: Issues and policies*. Washington, D.C., Committee on Biotechnology, National Association of State Universities and Land-Grant Colleges, Division of Agriculture.
- NEVO, E.; BROWN, A.H.D.; ZOHARY, D. 1979. Genetic diversity in the wild progenitor of barley in Israel. *Experientia* 35:1027-1029.
- NG, N. Q. 1979. Plant exploration in central Nigeria. *In: Genetic resources exploration*. Ibadan, Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture. p. 76-81.
- ; JACQUOT, M.; ABIFARIN, A.; GOLI, K.; GHESQUIERE, A.; MIEZAN, K. 1983. Rice genetic resources collection and conservation activities in Africa and Latin America: Programs of IITA, WARDA, IDESSA, IRAT, and ORSTOM. *In: Rice Germplasm Conservation Workshop (1983)*. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute/The International Board for Plant Genetic Resources. p. 45-52.
- NOORSYAMSI, H.; HIDAYAT, O. 1974. The tidal swamp rice culture in South Kalimantan. *Contributions from the Central Research Institute for Agriculture* 10:1-18.
- NRC. (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 1984. *Amaranth: Modern prospects for an ancient crop*. Washington, D. C., National Academy Press.
- OKA, H. I. 1983. Conservation of heterogeneous rice populations. *In: Rice Germplasm Conservation Workshop (1983)*. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute/The International Board for Plant Genetic Resources. p. 45-52.
- OSTER, G.; OSTER, S. 1985. The great breadfruit scheme: A beautiful tree still bears the stigma of its past. *Natural History* 94(3):35-41.
- PALMER, L. T., SOEPRIAMAN, Y.; KARTAATMADJA, S. 1978. Rice yield losses due to brown planthopper and rice grassy stunt disease in Java and Bali. *Plant Disease Reporter* 62:962-965.

- PANDEY, H. N. 1984. Development of multilines in durum wheat cultivars. *Rachis* 3:9-10.
- PATIÑO, V. M. 1963. Plantas cultivadas y animales domésticos en América equinoccial. Cali, Col., Imprenta Departamental. v. 2.
- PEACOCK, W. J. 1984. The impact of molecular biology on genetic resources. **In:** Crop genetic resources: Conservation and evaluation. J.W.H. Holden, J. T. William (Eds.). Londres, George Allen y Unwin. p. 268-276.
- PERMAR, J. H. 1945. Catalog of plants growing in the Lancetilla Experimental Garden at Tela, Honduras. San Pedro Sula, Compañía Editora de Honduras.
- PHILLIPS, L. L. 1976. Cotton. **In:** Evolution of crop plants. N.W. Simmonds (Ed.). Londres, Longman. p. 196-200.
- PHILLIPS, R. L. 1984. Implications of molecular genetics in plant breeding and opportunities for collaboration. Wayzata, Minnesota.
- Presented at: Plant Breeding Research Forum.
- PICCIOTTO, R. 1985. National agricultural research: Testing the feasibility of agricultural research schemes in developing nations. *Finance and Development* 22(2):45-48.
- PIONEER. 1982. Plant breeding research: An investment in food security (A summary of findings of the 1982 Plant Breeding Research Forum sponsored by Pioneer Hi-Bred International, Inc.). Des Moines, Iowa, Pioneer Hi-Bred International.
- PLUCKNETT, D. L.; SMITH, N.J.H. 1982. Agricultural research and Third World food production. *Science* 217:215-220.
- . 1984. Networking in international agricultural research. *Science* 225:989-993.
- . 1986a. Historical perspectives on multiple cropping. **In:** Multiple cropping. C. A. Francis (Ed.). New York, MacMillan. p. 20-39.
- . 1986b. Sustaining agricultural yields: As productivity rises, maintenance research is needed to uphold the gains. *Bioscience* 36:40-45.
- ; SMITH, N.J.H.; WILLIAMS, J.T.; MURTHI ANISHETTY, N. 1983. Crop germplasm conservation and developing countries. *Science* 220:163-169.

- POPOVSKY, M. 1984. The Vavilov affair. Hamden, Connecticut, Archon Books.
- PORTO, P. C. 1936. Plantas indígenas e exóticas provenientes da Amazonia, cultivadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. *Rodriguesia* 2(5):93-157.
- POSEY, D. A. 1984. A preliminary report on diversified management of tropical forest by the Kayapó Indians of the Brazilian Amazon. *Advances in Economic Botany* 1:112-126.
- . 1985. Indigenous management of tropical forest ecosystems: The case of the Kayapó Indians of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems* 3:139-158.
- PRANCE, G. T.; ELIAS, T.S. (Eds.). 1977. Extinction is forever. Bronx, New York Botanical Garden.
- PRESCOTT-ALLEN, R.; PRESCOTT-ALLEN, C. 1982a. The case for *in situ* conservation of crop genetic resources. *Nature and Resources* 18:15-20.
- . 1982b. Economic contributions of wild plants and animals to developing countries. Washington, D.C. Report to the U.S. AID/MAB Program.
- . 1983. Genes from the wild: Using wild genetic resources for food and raw materials. Londres, International Institute for Environment and Development.
- PREST, J. 1981. The garden of Eden: The botanic garden and the recreation of paradise. New Haven, Connecticut, Yale University Press.
- PURSEGLOVE, J. W. 1959. History and functions of botanic gardens with special reference to Singapore. *The Gardens' Bulletin (Singapur)* 17(2):125-154.
- . 1974. Tropical crops: Dicotyledons. New York, Wiley.
- . 1975. Tropical crops: Monocotyledons. New York, Wiley.
- RAJAPAKSE, H. 1984. The role of botanic gardens in Sri Lanka. Penang, Malasia, Presented at: International Symposium on Botanic Gardens of the Tropics.
- RAMAWAS, S.; NAGAI, C. 1984. Chromosome variability in progenies of selfed *Saccharum spontaneum*. In: Annual report 1983. D. J. Heinz, M. K. Carlson (Eds.). Aiea Hawaiian Sugar Planters' Association. p. 7-8.
- RASTOGI, K. B.; SAINI, S. S. 1984. Inheritance of resistance to pea blight (*Ascochyta niodella*) and induction of resistance in pea (*Pisum sativum* L.).

- RAVEN, P. H. 1976. Ethics and attitudes. **In:** Conservation of threatened plants. J. B. Simmons, R. I. Beyer, P. E. Brandham, G. L. Lucas, V. T. H. Parry (Eds.). New York, Plenum Press. p. 155-179.
- . 1981. Research in botanical gardens. *Bot. Jahrb. Syst.* 102(1-4):53-72.
- RIBEYROLLES, C. 1941. Brasil pitoresco. São Paulo, Livraria Martins.
- RICK, C. M. 1967. Exploiting species hybrids for vegetable improvement. **In** International Horticultural Congress (18). Proceedings. p. 217-229.
- . 1973. Potential genetic resources in tomato species: Clues from observations in native habitats. **In:** Genes, enzymes, and populations. A. M. Srb (Ed.). New York, Plenum Press. p. 255-269.
- . 1979. Potential improvement of tomatoes by controlled introgression of genes from wild species. **In:** Conference: Broadening the Genetic Base of Crops (1978, Wageningen, Netherlands). Proceedings. A. C. Zeven, A. M. Van Harten (Eds.). Wageningen, PUDOC. p. 167-173.
- ; SMITH, P. G. 1953. Novel variations in tomato species hybrids. *American Naturalist* 87:359-373.
- RICKETT, H. W. 1956. The origin and growth of botanic gardens. *The Garden Journal of New York Botanical Garden* 6(5):133-135, 157-159.
- RIDLEY, H. N. 1903. Annual report on the botanic gardens for the year 1902. Singapore, Government Printing Office.
- . 1907. Annual report on the botanic gardens of Singapore and Penang for the year 1906. Singapore, Kelly y Walsh.
- . 1910. The abolition of the botanic gardens of Penang. *Agricultural Bulletin of the Straits and Federated Malay States* 9(3):97-105.
- . 1911. Annual report on the botanic gardens of Singapore for the year 1910. Singapore, Government Printing Office.
- RILEY, R.; CHAPMAN, V.; JOHNSON, R. 1968. Introduction of yellow rust resistance of *Aegilops comosa* into wheat by genetically homocologous recombination. *Nature* 217:383-384.
- ROBERTS, E. H. 1983. Seed preservation facilities and procedures for national centres of developing countries. **In:** Rice Germplasm Conservation Workshop (1983). Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute/International Board for Plant Genetic Resources. p. 71-76.

- ROCA, W. M.; RODRIGUEZ, J.A.; MAFLA, G.; ROA, J. 1984. Procedures for recovering cassava clones distributed *in vitro*. Cali, Col., Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- ROSS, H. 1979. Wild species and primitive cultivars as ancestors of potato varieties. In: Conference: Broadening the Genetic Base of Crops, (1978, Wageningen, Netherlands). Proceedings. A.C. Zeven, A.M. Van Hartens, (Eds.). Wageningen, PUDOC. p. 237-245.
- ROSS, R. W.; ROWE, P.R. 1969. Utilizing the frost resistance of diploid *Solanum* species. American Potato Journal 46:5-13.
- RUGENDAS, J. M. 1941. Viagem pitoresca através do Brasil. Sao Paulo, Livraria Martins.
- RUTGER, J. N. 1983. Applications of induced and spontaneous mutation in rice breeding and genetics. Advances in Agronomy 36:383-413.
- RYERSON, K. A. 1933. History and significance of the foreign plant introduction work of the United States Department of Agriculture. Agricultural History 7:110- 128.
- . 1967. The history of plant exploration and introduction in the United States Department of Agriculture. In: International Symposium on Plant Introduction (1966, Tegucigalpa, Hond.). Tegucigalpa, Hond., Escuela Agrícola Panamericana. p. 1-19.
- SARAVIA, L.; LESINO, G. 1983. Unconventional energy seed storage facility for genetic conservation. Roma, International Board for Plant Genetic Resources.
- SASTRAPRADJA, D. S. 1982. Regional viewpoints on the theme of the keynote address: The Indonesian viewpoint. In: General Meeting and Conference of the International Association of Botanic Gardens (9.). Camberra. p. 18-21.
- ; PRANA, M.S. 1980. The viewpoint on conservation and the role of botanic gardens in conservation. Buletin Kebun Raya 4(6):175-182.
- SASTRAPRADJA, S.; Davis, T.A. 1983. The Bogor botanic garden: A plant paradise. Hemisphere 27(6):321-327.
- ; DAVIS, T.A. 1984. The Bogor botanic garden. Garuda Magazine 4(2):22-27.
- ; SASTRAPRADJA, D.S.; SOETISNA, U. s.f. The botanic gardens of Indonesia: How the public make use of them. (Manuscrito).

- SAUER, C. O. 1938. Theme of plant and animal destruction in economic history. *Journal of Farm Economics* 20:765-775.
- . 1969. *Agricultural origins and dispersals: The domestication of animals and foodstuffs*. Cambridge, Massachusetts, M.I.T. Press.
- SAUER, J. D. 1967. The grain amaranths and their relatives: A revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Gardens* 54:103-137.
- SCHRODER, J.; SCHELL, J. 1983. Applications of genetic engineering to plant and animal production. In: *Chemistry and world food supplies: The new frontiers*, Chemrawn II. L. W. Shemilt (Ed.). Oxford, Pergamon Press. p. 563-568.
- SCHROEDER, C. A. 1967. Avocado introduction in southern California. In: *International Symposium on Plant Introduction (1966, Tegucigalpa, Hond.)*. Proceedings. Tegucigalpa, Hond., Escuela Agrícola Panamericana. p. 61-69.
- SCOWCROFT, W. R. 1984. Genetic variability in tissue culture: Impact on germplasm conservation and utilization. Roma, International Board for Plant Genetic Resources.
- SHARMA, S. C. 1984. Botanic gardens of India, present status and future development. Penang, Malasia.
- Presented at: International Symposium on Botanic Gardens of the Tropics.
- SHAW, T. 1976. Early crops in Africa. In: *Origins of African plant domestication*. J. R. Harlan, J. M. J. De Wet, A.B.L. Stemler (Eds.), La Haya, Mouton. p. 107-153.
- SHEBESKI, L. H. 1983. The application of wide crosses to plants. In: *Chemistry and world food supplies: The new frontiers*. Chemrawn II. L. W. Shemilt, (Ed.). Oxford, Pergamon Press. p. 569-576.
- SHENG-JI, P. 1984. Botanical gardens in China. Honolulu, University of Hawaii Press. (Harold L. Lyon Arboretum Lecture Series no. 13).
- SILVA, A. R. 1976. Application of the genetic approach to wheat culture in Brazil. In: *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. M. J. Wright (Ed.). Ithaca, New York, Cornell University Agricultural Experiment Station. p. 223-231.
- SIMMONDS, N. W. 1979. *Principles of crop improvement*. Londres, Longman.

- SINGH, J. 1980. Co-ordinated maize improvement project: Its organization and significant landmarks in recent years in the history of maize improvement. In: Breeding, production and protection methodologies of maize in India. J. Singh (Ed.). Nueva Delhi, Indian Agricultural Research Institute. p. 14-32.
- SMITH, J.S.C. 1984. Genetic variability within U.S. hybrid maize: Multivariate analysis of isozyme data. *Crop Science* 24:1041-1046.
- SMITH, N. 1983a. New genes from wild potatoes. *New Scientist* 98:558-565.
- . 1983b. Triticale: The birth of a new cereal. *New Scientist* 97:98-99.
- . 1984. Review of B. Weinstein, the Amazon rubber boom, 1850-1920 *Hispanic American Historical Review* 64(3): 589.
- . 1985. A plague on manioc. *Geographical Magazine* 57:539-540.
- . 1986. Botanic gardens and germplasm conservation. Honolulu, University of Hawaii Press. s.p. (Harold L. Lyon Arboretum Lecture Series).
- SMITH, R. D. 1984. The influence of collecting, harvesting and processing on the viability of seed. In: Seed management techniques for genebanks: A report of a workshop held at the Royal Botanic Gardens (Kew, U.K.). J.B. Dickie, S. Linington, J. T. Williams (Eds.). Roma, International Board for Plant Genetic Resources. p. 42-82.
- SMITH, S. 1984. A plant breeders' perspective on genetic diversity: A reply to Pat Mooney's law of the seed. *Diversity* 6:19-23.
- SOLA, F. DE. 1967. Introduction. In: International Symposium on Plant Introduction (1966, Tegucigalpa, Hond.). Proceedings. Tegucigalpa, Hond., Escuela Agrícola Panamericana. p. 5-7.
- SOUZA, P. F. 1945. The Brazilian forests. In: Plants and plant science in Latin America. F. Verdoorn (Ed.). Waltham, Massachusetts, *Chronica Botanica*. p. 111-119.
- SPRAGUE, E. W.; PALIWAL, R.L. 1984. CIMMYT's maize improvement programme. *Outlook on Agriculture* 13:24-31.
- STALKER, H. T. 1980. Utilization of wild species for crop improvement. *Advances in Agronomy* 33:111-147.
- STEELE, A. R. 1964. Flowers for the King: The expedition of Ruiz and Pavon and the flora of Peru. The mystery of Florida's citrus canker. *Science* 226:322-323.

- STEELE, A. R. 1984b. Pests prevail despite pesticides. *Science* 226:1293.
- . 1985. Plants can be patented now. *Science* 230:363.
- SUNESON, C. A. 1960. Genetic diversity: A protection against plant diseases and insects. *Agronomy Journal* 52:319-321.
- SWAMINATHAN, M. S. 1982. Beyond IR36: Rice research strategies for the 80s. Washington, D.C., Work Bank.
- Presented at: International Centers' Week.
- . 1983. Genetic conservation: Microbes to man. New Delhi, India.
- . 1984a. Rice. *Scientific American* 250:81-93.
- . 1984b. Agricultural production. *The Lancet* 8415:1329-1332.
- SYLVAIN, P. G. 1955. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. *Turrialba* 5(1-2):37-53.
- TAC. (TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE). 1985. Report on the second external program and management review of the International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). Roma, TAC, Consultative Group on International Agricultural Research, Food and Agricultural Organization of the United Nations. s.p.
- TACHARD, G. 1686. Voyage de Siam des pères jesuites. Paris, Arnould Seneuze y Daniel Horthemels.
- TAY, C. S., HWANG, Y. K.; KUO, W. H. 1984. 1984 Progress report: Genetic resources and seed unit. Shanhua, Taiwan, Asian Vegetable Research and Development Center.
- TERRY, E. R.; Hahn S.K. 1982. Increasing and stabilizing cassava and sweet-potato productivity by disease resistance and crop hygiene. In: Root crops in eastern Africa: Workshop held in Kigali, Rwanda (1980). Proceedings. Ottawa, International Development Research Centre. p. 47-52.
- THEOBALD, W. L. 1982. A tropical garden for the nation. *International Plant Propagators' Society Combined Proceedings for 1982* 32:246-251.
- TIMOTHY, D. H. 1972. Plant germ plasm resources and utilization. In: The careless technology: Ecology and international development. M. T. Farvar, J. P. Milton (Eds.). The Natural History Press.

- TIMOTHY, D. H. ; GOODMAN, M.M. 1979. Germplasm preservation: The basis of future feast or famine; genetic resources of maize-an example. In: The plant seed: Development, preservation, and germination. I. Rubenstein, R. L. Phillipps, C. E. Green, B. G. Gengebach (Eds.). New York, Academic Press. p. 171-200.
- TSITSIN, N. V.; LUBIMOVA, V.F. 1959. New species and forms of cereals derived from hybridization between wheat and couch grass. *American Naturalist* 93:181-191.
- TUCKER, W. 1984. Seeds of discord: The U.N. and scientists clash over control of plant genes. *Barron's* 64(30):26.
- TURNER, B. L. 1974. Prehistoric intensive agriculture in the Mayan lowlands. *Science* 185:118-124.
- ULLSTRUP, A. J. 1972. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970-1971. *Annual Review of Phytopathology* 10:37-50.
- UNDP (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM; IBPGR INTERNATIONAL BOARD FOR PLANT GENETIC RESOURCES). 1984. European cooperative programme for the conservation and exchange of crop genetic resources, forages working group: Report of a working group held at the Fodder Crops and Pasture Institute (1984, Larissa, Greece). Roma, UNDP, IBPGR.
- USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1971. The national program for conservation of crop germ plasm (A progress report on Federal/State Cooperation). Washington, D.C., USDA.
- VALLS, J.F.M. 1985. Groundnut germplasm management in Brazil. In: International Workshop on Cytogenetics of Arachis, ICRISAT, Center (1983, Patancheru, India). Proceedings. Patancheru, India, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. p. 43-45.
- VAN DER MAESEN, L.J.G. 1984. Seed storage, viability and rejuvenation. In: Genetic resources and their exploitation. J. R. Witcombe, W. Erskine (Eds.). La Haya, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk. p. 13-22.
- VAN DER PLANK, J. E. 1963. Plant diseases: Epidemics and control. New York, Academic Press.
- VANGORKOM, K. W. 1945. Chapters in the history of cinchona. II. The introduction of cinchona into Java. In: Science and scientists in the Netherlands Indies. P. Honing, F. Verdoorn (Eds.). New York, Board for the Netherlands Indies. p. 182-187.

- VAN LEERSUM, P. 1945. Chapters in the history of cinchona. III. Junghuhn and cinchona cultivation. In: Science and scientists in the Netherlands Indies. P. Honing, V. Verdoorn (Eds.). New York, Board for the Netherlands Indies. p. 190-193.
- VAVILOV, N. I. 1940. The new systematics of cultivated plants. In: The new systematics. J. Huxley (Ed.). Oxford, Clarendon Press. p. 549-566.
- . 1949. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Waltham, Massachusetts, Chronica Botanica Company.
- . 1957. World resources of cereals, leguminous seed crops and flax, and their utilization in plant breeding. Moscú, Academy of Sciences of the U.S.S.R.
- VERGARA, B. S. 1984. Adaptability and use of *Indica* varieties in high-latitude areas. Fukuoka, Japón.
- Presented at: International Crop Science Symposium.
- VON BORSTEL, R. C.; LESINS, K. 1977. On germ plasm conservation with special reference to the genus *Medicago*. In: Genetic diversity in plants. R. A. Muhammed, R. Aksel, R. C. Von Borstel (Eds.). Nueva York, Plenum Press. p. 45-50.
- VOON, P. K. 1976. Western rubber planting enterprise in Southeast Asia, 1876-1921. Kuala Lumpur, Malasia, Penerbit Universiti Malaya.
- WALBOT, V.; CULLIS, C.A. 1985. Rapid genomic change in higher plants. Annual Review of Plant Physiology 36:367-396.
- WALSH, J. 1984. Seeds of dissension sprout at FAO: Third World nations vote change in system to conserve germ plasm over objections of industrial countries which fund the program. Science 223:147-148.
- WATKINS, J. V. 1976. Plant introduction gardens of the Caribbean. In: International Symposium on Plant Introduction (1966, Tegucigalpa, Hond.). Tegucigalpa, Hond., Escuela Agrícola Panamericana. p. 27-31.
- WATSON, I. A. 1970. The utilization of wild species in the breeding of cultivated crops resistant to plant pathogens. In: Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. O. H. Frankel, E. Bennett, R.D. Brock, A.H. Bunting, J. R. Harlan, E. Schreiner (Eds.). Filadelfia, F.A. Davis. p. 441-457.
- . 1979. The recognition and use in multilines of genes for specific resistance to rust. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 39:50-59.

- WEINSTEIN, B. 1983. The Amazon rubber boom, 1850-1920. California, Stanford University Press.
- WEISSICH, P. R. 1982. Text of illustrated paper describing Honolulu Botanic Garden's history, physical set-up and goals. Kennett Square, Spring, Pennsylvania.
- Presented at: Longwood Gardens, Kennett Square, Spring Pennsylvania.
- WETTER, R. L. 1984. The application of plant tissue cultures to plant production: An overview. Ottawa.
- WILKES, H. G. 1972. Maize and its wild relatives. *Science* 177:1071-1077.
- . 1977a. The world's crop plant germplasm: An endangered resource. *Bulletin of the Atomic Scientists* 33(2):8-16.
- . 1977b. Hybridization of maize and teosinte in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Economic Botany* 31:254-293.
- . 1983. Current status of crop plant germplasm. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences* 1(2):133-181.
- . 1984. Germplasm conservation toward the year 2000: Potential for new crops and enhancement of present crops. In: *Plant genetic resources: A conservation imperative*. C.W. Yeatman, D. Kafton, G. Wilkes (Eds.). Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science. p. 131-164.
- . 1985. Teosinte: The closest relative of maize. *Maydica* 30:209-223.
- WILLIAMS, J. T. 1982. Genetic conservation of wild plants. *Nature and Resources* 18:14-15.
- . 1984a. A decade of crop genetic resource research. In: *Crop Genetic Resources: Conservation and evaluation*. J.H.W. Holden, J. T. Williams (Eds.). Londres, George Allen y Unwin. p. 1-17.
- . 1984b. The international germplasm program of the International Board for Plant Genetic Resources. In: *Conservation of crop germplasm: An international perspective*. W. L. Brown, T. T. Chang, M. M. Goodman, Q. Jones (Eds.). Crop Science Society of America. p. 21-25.
- WITHERS, L. A. 1980. Tissue culture storage for genetic conservation. Roma, International Board for Plant Genetic Resources.

- WITHERS, L. A. 1980. Tissue culture storage for genetic conservation. Roma, International Board for Plant Genetic Resources.
- WITHERS, L. A. 1982. Storage of plant tissue cultures. **In:** Crop genetic resources: The conservation of difficult material. L. A. Withers, J. T. Williams (Eds.). Paris, IUBS. Ser. B42:49-82.
- WITT, S. C. 1985. Briefbook: Biotechnology and genetic diversity. San Francisco, California Agricultural Lands Project.
- WOLF, E. 1959. Sons of the savoring earth. Chicago, University of Chicago Press.
- WOLF, E. C. 1985. Conserving biological diversity. **In:** State of the world: A Worldwatch Institute report on progress toward a sustainable society. L. R. Brown, E. C. Wolf, L. Starke, W. U. Chandler, C. Flavin, S. Postel, C. Pollock (Eds.). New York, W.W. Norton. p. 124-146.
- WOLF, M. S.; BARRETT, J.A. 1980. Can we lead the pathogen astray? *Plant Disease* 64:148-155.
- WOOLLEY, C. L. 1930. The Sumerians. Oxford, Clarendon Press.
- WYCHERLEY, P. R. 1959. The Singapore Botanic Gardens and rubber in Malaya. *The Gardens' Bulletin (Singapur)* 17(2):175-186.
- XUAN, V.; LUAT, N.V. 1983. Vietnam. **In:** Rice Germplasm Conservation Workshop (1983), Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute/International Board for Plant Genetic Resources. p. 42- 43.
- YNGAARD, F. 1983. A procedure for packing long-term storage seed. *Plant Genetic Resources Newsletter* 54:28-31.
- ZOHARY, D. 1970. Centers of diversity and centers of origin. **In:** Genetic resources in plants: Their exploration and conservation. O. H. Frankel, E. Bennett (Eds.). Oxford Blackwell Scientific Publications. p. 33-42.

WOLFE, L. A. 1952. The effect of temperature on the growth of the larva of the house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 45: 1-10.

WOLFE, L. A. 1953. Studies on the biology of the house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 46: 1-10.

WOLFE, L. A. 1954. Biology and ecology of the house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 47: 1-10.

WOLFE, L. A. 1955. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 48: 1-10.

WOLFE, L. A. 1956. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 49: 1-10.

WOLFE, M. S. 1957. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 50: 1-10.

WOLFE, M. S. 1958. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 51: 1-10.

WOLFE, M. S. 1959. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 52: 1-10.

WOLFE, M. S. 1960. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 53: 1-10.

WOLFE, M. S. 1961. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 54: 1-10.

WOLFE, M. S. 1962. The house fly, *Musca domestica* L. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 55: 1-10.