

CONSERVACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS



Isaura Martín Martínez. Dra. Ingeniero Agrónomo.
Centro de Recursos Fitogenéticos (CRF)
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)



CONSERVACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS

1. RECURSOS FITOGENÉTICOS. CONCEPTO.

Desde la aparición de la vida en la Tierra hace unos 3.000 millones de años, el proceso evolutivo ha originado una enorme diversidad de especies e individuos que mediante los procesos de selección permanente se han adaptado a las diferentes condiciones del globo. Esta variabilidad genética acumulada resulta esencial para el equilibrio del sistema y constituye lo que se denomina germoplasma del planeta.

Dentro de este conjunto, los "recursos fitogenéticos" comprenden la diversidad genética correspondiente al mundo vegetal que se considera poseedora de un valor para el presente o el futuro. Bajo esta definición se incluyen normalmente las categorías siguientes: variedades de especies cultivadas, tanto tradicionales como comerciales; especies silvestres o asilvestradas afines a las cultivadas o con un valor actual o potencial, y materiales obtenidos en trabajos de mejora genética (Esquinas- Alcázar 1993).

Los recursos fitogenéticos constituyen un patrimonio de la humanidad de valor incalculable y su pérdida es un proceso irreversible que supone una grave amenaza para la estabilidad de los ecosistemas, el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria del mundo.

2. DIVERSIDAD DE LAS PLANTAS CULTIVADAS

Con la aparición de la agricultura hace unos 10.000 años el hombre empieza a intervenir de forma decisiva la evolución natural de las plantas que cultiva, dando lugar al proceso conocido como "domesticación". Las poblaciones de plantas cultivadas empiezan a sufrir fuertes presiones selectivas debidas a las prácticas agrícolas, siendo el resultado la aparición de características morfológicas y fisiológicas peculiares como pueden ser el gigantismo en los frutos, el aumento de la producción, la reducción de la dehiscencia de las semillas, la



Fig. 1.- Variabilidad de espigas y granos de cebada. Composición realizada con muestras del espigario del CRF-INIA.



Fig. 2.- En muchas zonas españolas aún puede encontrarse una elevada diversidad genética, principalmente en especies hortícolas cultivadas en pequeños huertos. En la foto se muestra la variabilidad encontrada en calabazas en una expedición realizada en Murcia en el año 1997. En la esquina superior izquierda aparece una "calabaza de vino" utilizada tradicionalmente como recipiente.

germinación rápida y uniforme o la pérdida de capacidad de competir con la vegetación natural.

Los cultivos primitivos se fueron extendiendo desde sus lugares de origen, transportados por migraciones primero y rutas comerciales después, encontrándose condiciones diversas de clima, suelo, vegetación y otros factores ambientales. De esta forma, las poblaciones de plantas cultivadas evolucionaron de forma diferente según las características de las nuevas zonas y las distintas prácticas agrícolas utilizadas y, en numerosos casos, se produjeron intercambios de genes o formación de híbridos con las especies silvestres de las nuevas localidades.

El resultado de la acción del hombre y la selección natural a lo largo de miles de años sobre miles de especies, ha sido el establecimiento de una diversidad vegetal constituida por un enorme número de variedades y genotipos locales, caracterizados por su adaptación a las necesidades humanas y al medio ambiente.

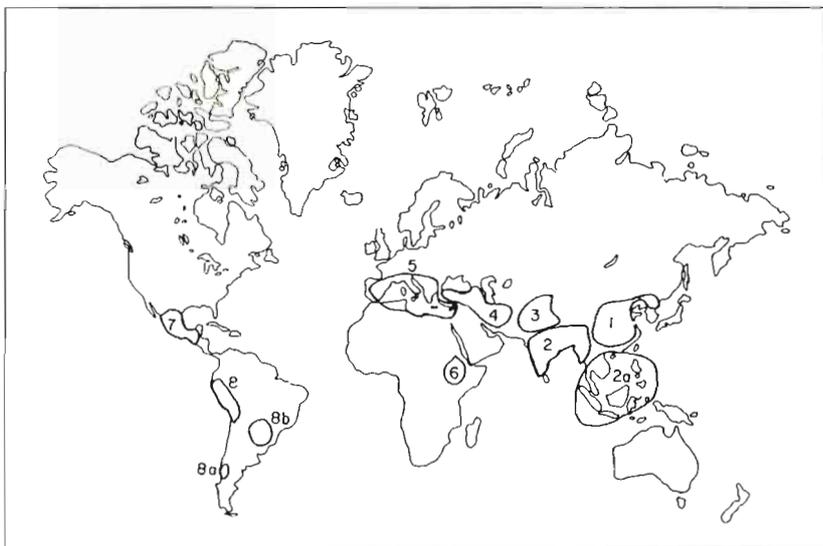


Fig. 3.- Centros de origen de las plantas cultivadas según N.I. Vavilov.



El primer estudio sistemático sobre la variación de las principales plantas cultivadas fue realizado en los años 20 y 30 por Nicolai Vavilov, el cual identificó 8 centros geográficos de máxima diversidad genética para especies cultivadas: América Central y Méjico, Sudamérica (área Andina, Brasil-Paraguay y Chile), Área Mediterránea, Etiopía, Asia Central, Oriente Próximo, China, India e Indo-Malasia. Los trabajos de Vavilov permanecen actualmente válidos en lo esencial y pueden considerarse los más importantes de la historia de los recursos fitogenéticos (Vavilov, 1951).

3. LA EROSIÓN GENÉTICA

Hasta fechas relativamente recientes la diversidad de las plantas cultivadas se ha mantenido e incrementado de forma eficaz en los eco-



Fig. 4.- En España, la algarroba (*Vicia articulata*) es uno de los ejemplos más representativos del proceso de erosión genética. Por su rusticidad y su extraordinaria calidad como pienso, esta especie fue en el pasado la leguminosa grano más sembrada en nuestro país después del garbanzo. Sin embargo, su superficie de cultivo ha descendido drásticamente en las últimas décadas hasta llegar en la actualidad a cifras irrelevantes.



Fig. 5.- Muchas variedades locales se mantienen aun en cultivo para autoconsumo. Un ejemplo son los "tomates de colgar" que pueden encontrarse en muchas localidades españolas y son conservados durante varios meses en la forma que aparece en la foto (Cáceres, 1996). Según la información recogida de agricultores, las telarañas que acaban recubriendo los frutos favorecen la conservación.

sistemas agrarios. Sin embargo, desde hace 200 años, como consecuencia del desarrollo agrícola e industrial y la progresiva unificación de hábitos culturales y alimenticios, el número de cultivos y la heterogeneidad dentro de los mismos han ido descendiendo progresivamente y, en la actualidad, el 90% de la alimentación mundial está basada en sólo unas 30 especies vegetales y unas docenas de variedades.

La pérdida de diversidad se acentuó entre los años 1940-50 cuando el desarrollo de la mejora genética dio lugar a la introducción de variedades comerciales, uniformes y mucho más adaptadas a las técnicas modernas de cultivo y a los nuevos sistemas de comercialización, siendo incuestionable el beneficio obtenido de ello por una población mundial creciente y subalimentada. Sin embargo, como contrapartida, las variedades modernas, con una base genética muy reducida, han ido desplazando a innumerables variedades tradicionales, heterogéneas y



Fig. 6.-En algunas zonas de Asturias pervive el cultivo de variedades locales de trigos vestidos ("escandas") para la elaboración de pan. En la foto, tomada en 1995, se muestra la recolección manual de una parcela de escandas, en la que la separación de las espigas se realiza utilizando dos varas.

menos productivas, pero altamente adaptadas a su ambiente local y poseedoras de una gran diversidad genética. La consecuencia paradójica es que la aplicación masiva de los logros de la mejora vegetal ha puesto en marcha un proceso que destruye los materiales esenciales de abastecimiento de los propios fitomejoradores.

El problema de la erosión genética de las variedades locales se ve agravado, además, por la desaparición de especies y formas silvestres de las plantas cultivadas, debida a procesos como la deforestación masiva o la degradación y contaminación de los hábitats naturales que, en definitiva, no son sino resultados de la explotación abusiva de los recursos del planeta.

La pérdida de variabilidad genética supone una limitación de la capacidad de responder a nuevas necesidades y un incremento de la vulnerabilidad de nuestros cultivos frente a cambios ambientales o aparición de nuevas plagas o enfermedades. La hambruna que en el siglo XIX produjo la muerte y emigración de millones de irlandeses es probablemente el ejemplo más dramático constatado del peligro de la

uniformidad genética. La estrecha base genética de las patatas cultivadas en ese momento en Europa hizo que un ataque de tizón (*Phytophthora infestans*) arrasase unas cosechas que constituían la base de la alimentación de Irlanda en esa época. Otro desastre agrícola causado por la uniformidad de los cultivos tuvo lugar en Estados Unidos en 1970, donde un ataque de taladro (*Helminthosporium maydis*) destruyó más del 50% de los maizales del Sur, siendo este hecho el detonante para que este país iniciase una política de conservación de recursos fitogenéticos. Muchos casos similares se han multiplicado recientemente, poniendo en peligro la estabilidad económica y social de algunos países.

El reconocimiento de la erosión genética como un problema grave tiene lugar en los años 50, cuando el desarrollo agrícola empieza a alcanzar a las regiones del planeta con mayor diversidad genética, siendo en este momento cuando se empiezan a poner en marcha medidas globales para preservar los recursos fitogenéticos. En el ámbito internacional, la reunión Técnica organizada por FAO en 1961, "Plant Exploration and Introduction", puede considerarse el punto de partida en el desarrollo del proceso coordinado de conservación de recursos fitogenéticos. Sucesivas actividades y reuniones promovidas por este organismo establecieron las directrices para solucionar los problemas técnicos relacionados con la recolección, conservación, evaluación, etc. del germoplasma y sus resultados se han plasmado en dos libros de obligada referencia: "Genetic Resources in Plant: Their Exploration and Conservation" (Frankel y Bennett, 1970) y "Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow" (Frankel y Hawkes, 1975).

En 1983, se estableció el "Sistema Mundial de la FAO para la Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura", cuyos objetivos son *asegurar la conservación y promover la disponibilidad y utilización sostenible de los recursos genéticos, para las generaciones presentes y futuras* (FAO, 1996).

Hoy en día, la mayoría de países son conscientes del grave problema que supone la erosión genética y de la urgente necesidad de tomar medidas, tanto técnicas como políticas, para preservar y utilizar de forma racional la diversidad aún existente.



4. MÉTODOS DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS.

La conservación puede aplicarse en teoría a tres niveles de organización: génica, de organismo y ecológica. Con el avance de las técnicas de ingeniería genética, es posible que en el futuro lleguen a establecerse bancos de ADN; sin embargo, por el momento los genes se conservan agrupados en individuos o en ecosistemas.

Los métodos de conservación de recursos fitogenéticos pueden clasificarse de esta forma en dos grandes categorías: métodos de conservación *ex situ* y métodos de conservación *in situ*. Estos últimos consisten en preservar las variedades o poblaciones vegetales en sus hábitats originales, mientras que en los primeros la conservación se realiza en los denominados bancos de germoplasma.

4.1. CONSERVACIÓN *EX SITU*

La conservación *ex situ* implica el desarrollo de colecciones de recursos fitogenéticos y presenta ventajas de tipo práctico frente a la conservación *in situ* ya que, al concentrarse el material genético y la información asociada al mismo, se reducen costes, se mejora el control y se facilita enormemente el suministro de material a científicos y usuarios en general. Sin embargo, este tipo de conservación, por su carácter estático, tiene el inconveniente intrínseco de no permitir la continuación de los procesos evolutivos. Asimismo, no se puede dejar de tener en cuenta el riesgo de pérdida de materiales por accidentes o por erosión genética dentro del propio banco, aspecto que puede ser muy importante si no existen medios suficientes para un adecuado desarrollo del trabajo y que ha producido pérdidas irreemplazables en las colecciones de instituciones tan importantes y emblemáticas como el Instituto Vavilov de San Petersburgo.

Actualmente se estima que existen alrededor de 6 millones de muestras almacenadas en todo el mundo en colecciones *ex situ* en más de 1.300 bancos de germoplasma (FAO, 1996).

El trabajo de los bancos de germoplasma comprende las actividades siguientes: adquisición del material, conservación propiamente dicha,



Fig. 7.- Escena de recogida de muestras de semillas de variedades locales (Avila, 1999) suministradas por una agricultora. El grupo de expedición está constituido por tres personas del CRF-INIA (dos en la foto a la derecha) acompañadas por un agente comarcal (a la izquierda). La colaboración prestada por los agentes comarcales agrarios es un factor fundamental en el éxito de las expediciones de recolección.

multiplicación, caracterización/evaluación, documentación e intercambio. Para designar a cada muestra diferente dentro de una colección se utiliza el término "entrada", aunque es frecuente también el empleo del anglicismo "accesión".

4.1.1. Adquisición del material

La adquisición de muestras por parte de un banco de germoplasma puede realizarse mediante expediciones de recolección o mediante donaciones de otros bancos.

La organización de expediciones para la recolección de plantas data de muy antiguo, citándose siempre la promovida por la reina Hatsheput de Egipto en el siglo XIII antes de Cristo para buscar esencias vegetales. En el siglo XVIII y XIX el desarrollo de los jardines botánicos hizo que se multiplicaran los viajes en busca de especies



Fig. 8.- Una tarea esencial en las expediciones de recolección es la recogida de información. En la foto (Almería, 1997) un expedicionario anota los datos de interés que le suministra un anciano campesino. La mayor parte de los agricultores españoles que cultivan variedades locales son de avanzada edad y en la mayoría de los casos no tienen un relevo generacional.

exóticas y, a principios del siglo XX, la labor de Vavilov implicó la recolección de más de 50.000 muestras de especies cultivadas en más de 50 países (IPGRI, 1995). Sin embargo, no es hasta mediados del siglo XX cuando se empiezan a realizar expediciones de recolección de recursos fitogenéticos con un carácter sistemático y científico.

Las recolecciones de germoplasma pueden ser de tipo específico, cuando se busca un material determinado, o de tipo general, cuando se lleva a cabo una recolección sistemática en un área, sin hacer especial énfasis en especies particulares. Previamente a la recolección propiamente dicha se realiza un trabajo de planificación en el que se estudia el material y la zona a recolectar, y se realizan los contactos locales adecuados. Las prioridades de recolección deben establecerse en función del riesgo de pérdida de material vegetal y de su importancia económica o social. El número y la composición del equipo de recolección

dependen del tipo de expedición y, en términos generales, resultan preferibles pequeños equipos de 2-3 personas que incluyan a un experto en taxonomía, especialmente si se trata de especies silvestres, y a alguien familiarizado con la lengua y costumbres locales. En expediciones internacionales se debe contactar con los responsables oficiales del país visitado para establecer los acuerdos y la cooperación necesarios.

La recolección puede realizarse en hábitats naturales, en campos de cultivo, directamente de los agricultores o incluso en mercados locales, siendo siempre el principio fundamental recoger la máxima cantidad de variabilidad en el mínimo número de muestras. Además del material es muy importante recoger lo más detalladamente posible la información asociada al mismo, incluyendo datos botánicos, datos referentes a la zona, usos, técnicas de cultivo y cualquier otra observación de interés. No hay que olvidar que la información transmitida oralmente a lo largo de generaciones de agricultores puede resultar extremadamente valiosa y, al igual que el material genético, está sometida a un gran riesgo de desaparición.

La recolección racional y efectiva de recursos fitogenéticos debe realizarse dentro de un contexto de cooperación nacional e internacional. El Código Internacional de Conducta para la recolección y transferencia de germoplasma vegetal desarrollado por FAO (1994) constituye una referencia esencial para que cada país establezca su propia regulación.

4.1.2. Conservación

La conservación puede clasificarse en las categorías siguientes:

- Conservación del organismo completo: Conservación en campo
- Conservación de parte del organismo:
 - Conservación de semillas
 - Conservación de otros órganos con capacidad de regeneración:
Conservación de tejidos *in vitro*.

Conservación en campo:

La conservación mediante colecciones de plantas mantenidas en el campo se realiza fundamentalmente en especies sexualmente



Figs. 9 y 10.- Conservación en campo de colecciones de cítricos del Instituto Valenciano de Investigación Agraria (IVIA) y muestra de frutos de diferentes especies conservadas. En esta institución se mantienen también colecciones de tejidos crioconservados en nitrógeno líquido.



estériles o que poseen semillas que no pueden ser conservadas durante largos periodos de tiempo. Se emplea también en especies de reproducción vegetativa para el mantenimiento de clones y en aquellas que tardan mucho en producir semilla, como es el caso de las forestales. Entre los cultivos que se conservan en colecciones de este tipo se encuentran algunos de tanta importancia como la patata, la mandioca, el ñame, la batata, el plátano y los árboles frutales en general.

Las colecciones de plantas se mantienen en el campo, regenerándolas periódicamente a intervalos que dependen de la duración del ciclo de la planta. Este tipo de conservación necesita grandes extensiones de terreno, especialmente cuando se trata de árboles, y requiere un coste de mantenimiento elevado sobre todo si las plantas necesitan regeneraciones anuales o muy frecuentes. El riesgo de pérdidas por ataque de plagas y enfermedades, anomalías climáticas u otros accidentes naturales es también mayor que en otros tipos de conservación.

Conservación de semillas:

Este método de conservación es actualmente el más utilizado en los bancos de germoplasma, resultando el más eficiente, económico y seguro para la conservación *ex situ* de la mayoría de las especies de las zonas templadas, cuyas semillas son capaces de tolerar un alto grado de desecación (semillas ortodoxas) y permanecer viables largo tiempo bajo determinadas condiciones.

La longevidad de las semillas ortodoxas puede aumentarse extraordinariamente disminuyendo su contenido de humedad y la temperatura de almacenaje. Según las reglas empíricas de Harrington (1965), la vida de la semilla se duplica por cada 5°C de disminución de temperatura y por cada 1% de reducción de su contenido en humedad, siendo ambos efectos aditivos. La disminución simultánea de estos dos factores permitiría, al menos teóricamente, mantener durante cientos de años la viabilidad de las semillas, siendo el proceso utilizado mayoritariamente por los bancos.



Fig. 11.- Cámaras de desecación de semillas del CRF-INIA. Las entradas se mantienen varias semanas en condiciones de 20°C y 20% de humedad relativa hasta alcanzar una humedad interna menor del 7%.



Fig. 12.- Después de la desecación se determina la germinación de las semillas sobre una muestra de cada entrada. Si la germinación es baja (<85%) debe realizarse una regeneración en el campo para obtener semillas de buena calidad. El envejecimiento se acelera enormemente en las semillas de baja calidad y conlleva alteraciones genéticas indeseables.

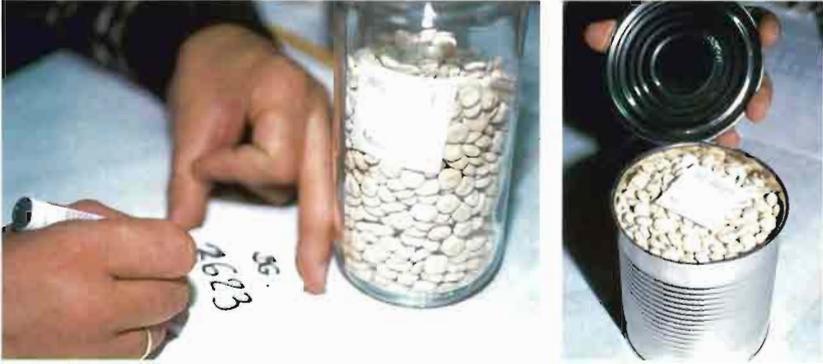


Fig. 13.- Recipientes utilizados para la conservación de semillas en el banco de germoplasma del CRF-INIA. Para las colecciones activas (material intercambiable) se utilizan contenedores reciclables de cristal. Las colecciones base (de conservación exclusivamente) se almacenan en latas que se sellan herméticamente. La hermeticidad de los contenedores es un aspecto crítico de la conservación ya que es preciso que las semillas mantengan la humedad interna alcanzada en la desecación durante todo el periodo de almacenamiento.

En la actualidad, las Normas para Bancos de Genes (FAO/IPGRI, 1994) recomiendan como condiciones más adecuadas para la conservación de colecciones a largo plazo (colecciones base), un contenido de humedad de la semilla del 3-7% y una temperatura de -18°C . Condiciones menos estrictas, principalmente en lo que se refiere a la temperatura, se admiten para la conservación de colecciones a medio plazo (colecciones activas).



Fig. 14.- Cámaras de conservación de semillas del CRF-INIA. Las colecciones base (foto derecha) se mantienen a -18°C y las activas (foto izquierda) a -4°C .



Fig. 15.- El banco de germoplasma de la E.T.S. de Ingenieros Agrónomos de Madrid, pionero en España de la conservación de recursos fitogenéticos, mantiene en la actualidad más de 9.000 entradas de especies silvestres, destacando sus colecciones de crucíferas y endemismos. Su sistema de envasado, mostrado en la foto, permite detectar rápidamente un eventual incremento de humedad en las muestras, al cambiar de color (de azul a rosa) el gel de sílice incorporado en los contenedores. La disminución del contenido de humedad de las semillas utilizando como agente desecante el gel de sílice es un procedimiento muy utilizado en los bancos de germoplasma. Con este método se consigue una ultradesecación de las semillas, llegándose a porcentajes de humedad del orden del 2-4%.

El proceso de conservación de semillas comprende varias etapas sucesivas y se inicia con el registro de las entradas y con las operaciones de limpieza requeridas en cada caso. Las semillas se desecan a continuación en un ambiente con baja humedad relativa hasta alcanzar la humedad interna deseada, se envasan herméticamente y se almacenan en cámaras frigoríficas. La elección de recipientes adecuados es un aspecto crítico de la conservación y, de hecho, la pérdida de hermeticidad durante el almacenaje ha sido probablemente una de las mayores causas de erosión genética de muchos y muy importantes bancos de germoplasma.

Previamente al almacenaje debe evaluarse la viabilidad de las muestras, lo cual se hace normalmente mediante ensayos de germinación. La baja calidad de las semillas de partida es un factor que influye negativamente en su longevidad, por lo que las muestras iniciales deben tener porcentajes de germinación lo más elevados posible, tomándose nor-

malmente el 85% como valor umbral. La viabilidad de las entradas debe ser controlada periódicamente para impedir un envejecimiento de las semillas que puede alterar sus características genéticas. Como norma general se recomienda una revisión cada 10 años para colecciones base y una regeneración de la muestra cuando la germinación haya descendido por debajo del 85% del valor inicial (FAO/IPGRI, 1994).

Un método de conservación alternativo, aún en fase de desarrollo pero que puede tener grandes perspectivas de futuro en determinados casos, es la criopreservación o conservación a temperaturas ultrabajas, basándose esta técnica en el almacenamiento de las semillas en nitrógeno líquido (-196°C) o en su fase de vapor (-160°C) (Stanwood, 1985). En estas condiciones se logra la detención de los procesos metabólicos, lo cual supone el bloqueo de los mecanismos fisiológicos responsables del envejecimiento y una extremada prolongación del periodo de conservación. Este método presenta como ventajas el bajo coste de mantenimiento y la no dependencia del suministro eléctrico. No obstante, para evitar efectos letales, es necesario desarrollar previamente para cada material los protocolos adecuados de congelación y descongelación. La velocidad de estos procesos y el contenido inicial de humedad de las semillas son los factores más críticos a tener en cuenta.

La conservación en condiciones de frío y baja humedad no es aplicable a todos los casos ya que existen muchas especies, sobre todo de zonas cálidas y húmedas, cuyas semillas, denominadas "recalcitrantes", no admiten ni la desecación ni las bajas temperaturas. La falta de tolerancia a la desecación de estas semillas limita asimismo su criopreservación, ya que por encima de un contenido de humedad la congelación resulta letal por la formación de cristales de hielo intracelulares. La criopreservación de ejes embrionarios o el pretratamiento con sustancias crioprotectoras pueden ser procedimientos alternativos en estos casos.

Conservación *in vitro*

En los casos en que no se puede recurrir a la conservación de semillas o interesa el mantenimiento de clones, la conservación mediante técnicas de cultivo *in vitro* constituye una alternativa a las colecciones de plantas,



anteriormente comentadas. El cultivo *in vitro* de órganos o fragmentos de órganos, tejidos o células aisladas se realiza siempre en un ambiente aséptico, sobre un medio nutritivo y bajo condiciones controladas.

Las técnicas de conservación por cultivo *in vitro* se empezaron a aplicar en los años 80 y actualmente se utilizan de forma sistemática en la conservación e intercambio de germoplasma de especies como la patata, la mandioca o el plátano (Ashmore, 1997). El cultivo *in vitro* presenta como ventajas su alta tasa de multiplicación, el mantenimiento del material vegetal libre de patógenos y sus bajos requerimientos de espacio frente a las colecciones de campo.

Las estructuras vegetales de partida utilizadas para el almacenamiento *in vitro* han sido preferentemente los ápices y meristemas, ya que en ellos el riesgo de cambio genético en el material (variación somaclonal) es mucho menor que cuando se emplean "callos" o estructuras desorganizadas. El intervalo entre repicados se alarga disminuyendo el crecimiento de los cultivos mediante diversos sistemas, si bien el más utilizado es la reducción de la temperatura ambiente junto con el uso de un medio pobre en nutrientes. La crioconservación en nitrógeno líquido de material cultivado *in vitro* es también una alternativa de almacenamiento.

4.1.3. Multiplicación y regeneración

La regeneración viene marcada por la necesidad de rejuvenecimiento de las muestras almacenadas, las cuales pueden alterar sus características genéticas al envejecer. La multiplicación es necesaria cuando es preciso aumentar el tamaño de muestra para llegar a los mínimos de conservación recomendados o para disponer de reservas suficientes para suministrar a los usuarios. Ambas operaciones constituyen un mismo proceso aunque en cada caso puede variar la cantidad de material a obtener.

La regeneración o multiplicación en campo son actividades costosas y delicadas en las que la diversidad resulta especialmente vulnerable. Su principio primordial debe ser no alterar la composición genética del material vegetal, lo cual implica controlar procesos a veces muy complejos cuando las entradas son poblaciones heterogéneas. En



Fig. 16.- Parcelas de multiplicación de cereales del CRF-INIA (Alcalá de Henares, Madrid). En la foto puede observarse la malla anti-pájaros de protección y las tiendas de tela que recubren las entradas de centeno. Esta especie, al ser alógama, requiere ser multiplicada en aislamiento para evitar la contaminación por polen extraño. Las parcelas aisladas son aireadas alternativamente mediante retirada parcial su cubierta, para favorecer la polinización natural y evitar proliferaciones de hongos por alta humedad.

estos casos, es necesario evitar una pérdida selectiva de genotipos a lo largo de todo el ciclo de cultivo, para lo cual es fundamental que el ambiente del lugar de multiplicación sea lo más semejante posible al de origen. El tamaño de la muestra debe ser suficiente para minimizar el riesgo de pérdida de alelos al azar (deriva genética) que se acentúa cuando las poblaciones son pequeñas. Además, en especies alógamas, es preciso utilizar métodos de aislamiento que eviten contaminaciones por polen extraño y no impidan la polinización natural, lo cual resulta muy costoso cuando hay que multiplicar simultáneamente un número elevado de muestras (Breese, 1989).

Los procesos de regeneración y multiplicación deben por tanto realizarse con la menor frecuencia posible y en casos especialmente pro-



Fig. 17.- Toma de datos morfológicos de caracterización en el laboratorio

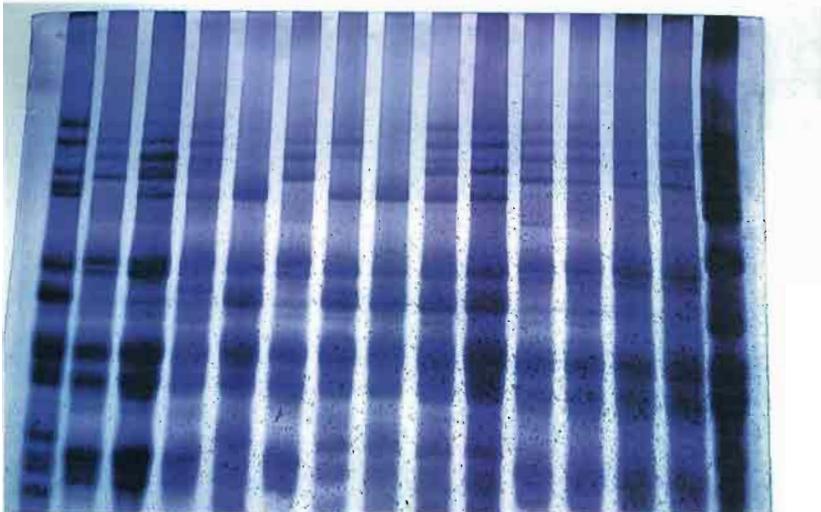


Fig. 18.- La caracterización bioquímica y molecular de recursos fitogenéticos resulta de gran interés en la realización de estudios de variabilidad, en el establecimiento de colecciones nucleares o en la detección de entradas duplicadas. En la foto se muestra un gel de electroforesis en el que aparecen bandas de proteínas correspondientes a diferentes entradas de trigo.

blemáticos, como es el de las especies silvestres, puede ser más aconsejable realizar una nueva recolección cuando esto sea posible.

4.1.4. Caracterización - Evaluación

Una de las tareas asociadas a los bancos de germoplasma y que facilita en gran medida la utilización de los materiales es la adecuada descripción de los mismos. En la descripción de colecciones se distinguen normalmente dos aspectos: la caracterización y la evaluación. La caracterización tiene sobre todo un objetivo de identificación de las entradas y se refiere principalmente a atributos cualitativos que pueden considerarse invariables (color de la flor, forma de la semilla, composición isoenzimática, etc.). La evaluación persigue fundamentalmente determinar caracteres de interés agronómico que normalmente se ven influidos por las condiciones ambientales (precocidad, contenido en proteína, resistencia a plagas y enfermedades, etc.). En la práctica, los bancos de germoplasma suelen realizar una tarea mixta de caracterización y evaluación sencilla que, en los materiales conservados por semillas, suele llevarse a cabo durante los procesos de multiplicación de las muestras.

La evaluación de grandes colecciones de germoplasma para los caracteres más requeridos, como pueden ser factores de calidad o resistencia a estreses bióticos y abióticos, es un proceso muy costoso en tiempo y recursos. Por ello, actualmente se plantea la idea de concentrar el trabajo de evaluación en las llamadas "colecciones nucleares", constituidas por un grupo de muestras representativas de la variabilidad genética de la colección total (Brown, 1995).

4.1.5. Documentación

Los bancos de germoplasma, aunque pueden tener objetivos y características diferentes, precisan siempre de una actividad documental propia, ya que todas las tareas que realizan generan una gran cantidad de información y, a su vez, se apoyan en ella. El desarrollo y mantenimiento de un sistema de documentación eficaz va a ser, por tanto, un aspecto clave dentro de un banco de germoplasma para poder optimizar tanto su propio funcionamiento como los resultados obtenidos para el resto de la comunidad científica o usuarios en general.



Fig. 19.- En los últimos años se han ido incorporando numerosas bases de datos de recursos fitogenéticos a INTERNET, existiendo actualmente en este medio desde bases de datos institucionales a sistemas de información mundiales. El inventario de la red española de recursos fitogenéticos está actualmente disponible la dirección <http://www.crf.inia.es>

La información asociada a los recursos fitogenéticos suele dividirse en las categorías siguientes:

- Datos de pasaporte: que incluyen los códigos de identificación de cada entrada y la información obtenida en la recolección.
- Datos de gestión: que comprenden la información generada a lo largo de los procesos de conservación propiamente dicha (tamaño de las muestras, germinación, etc.) y de regeneración / multiplicación.
- Datos de caracterización / evaluación.

En el ámbito de los recursos fitogenéticos se utiliza el término "descriptor" para definir cada una de las unidades de datos. La utilización de descriptores estandarizados entre instituciones diferentes es un aspecto esencial para facilitar el intercambio de información y el desarrollo de bases de datos regionales o mundiales. El IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) ha desarrollado una amplia labor en este sentido al desarrollar y publicar listas de descriptores para una gran cantidad de especies.

La transmisión eficaz de la información constituye la etapa final del proceso de documentación y contribuye de forma muy importante a promover la utilización del germoplasma. La tendencia actual es el empleo de INTERNET como vehículo de difusión y cada vez son más numerosas las bases de datos de recursos fitogenéticos incorporadas a este medio.

4.1.6. Intercambio

Los bancos de germoplasma cumplen normalmente el doble objetivo de conservar y promover la utilización de recursos genéticos. El segundo aspecto se materializa en la actividad de suministro de material e información que, en aquellas instituciones no ligadas a intereses privados, suele realizarse de forma libre y gratuita con las limitaciones que impongan las normativas o acuerdos de cada país y las propias necesidades de conservación.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica establecido en la Conferencia de Naciones Unidas celebrada en Río de Janeiro en 1992 y ratificado por 168 países, supuso un importante avance en la regulación del intercambio de recursos genéticos y en él se reconoce la soberanía de los países sobre su germoplasma original, si bien este Convenio no es aplicable a las colecciones *ex situ* establecidas con anterioridad a su entrada en vigor.

El intercambio seguro de material a escala internacional requiere la adecuada inspección y las medidas de cuarentena necesarias para evitar el riesgo de introducción de plagas y enfermedades, aunque normalmente esta tarea queda bajo la responsabilidad de Instituciones diferentes a los bancos de germoplasma.

4.2. CONSERVACIÓN *IN SITU*

Idealmente, la forma más apropiada de conservar una entidad biológica es dentro del ecosistema del que naturalmente forma parte. En la conservación *in situ* no sólo se preservan cada uno de los componentes del ecosistema sino también todas sus relaciones recíprocas y se permite la continuación de los procesos evolutivos de las plantas.

La conservación *in situ* resulta especialmente adecuada en las especies silvestres y presenta menos problemas que en las plantas cultiva-



das debido a que sus hábitats son ecosistemas naturales en los que no interviene la acción humana. La conservación *in situ* de las especies silvestres implica la adecuada protección y gestión de los ecosistemas en los que habitan y, para ello, existe un gran número de figuras de salvaguardia de espacios naturales (parque natural, parque nacional, reservas, etc.). Los costes de este tipo de conservación disminuyen cuando en la zona protegida están concentradas diferentes especies. Contrariamente, cuando las áreas de distribución de las plantas son demasiado extensas el establecimiento de medidas de protección se dificulta por su coste y su interferencia con otras actividades humanas.

Como ejemplos de reservas creadas específicamente para la salvaguardia de recursos fitogenéticos pueden citarse la de Mazatlán en Méjico para especies silvestres de maíz o las de Israel o Turquía para antecesores o parientes silvestres de cereales. En España, el número de áreas protegidas ha crecido espectacularmente en los últimos años, existiendo actualmente más de 500. Según el estudio hecho por Gómez-Campo (1997) estas zonas incluyen un alto porcentaje de especies endémicas o amenazadas, aproximadamente el 95% en Canarias, el 80% en Andalucía y el 100% en Baleares.

La conservación *in situ* de variedades locales, denominada actualmente conservación "en finca" ("on farm", en inglés), implicaría en un sentido estricto el cultivo de estos materiales en sus zonas de origen y con las técnicas tradicionales (Maxted *et al.* 1997). En general, este tipo de conservación ha sido considerado problemático por su complejidad y coste ya que, en principio, precisaría de constante supervisión y de incentivos a los agricultores para compensar los menores rendimientos de las variedades tradicionales. Sin embargo, en los últimos años, la conservación "en finca" está siendo objeto de atención creciente en el ámbito internacional, habiendo aumentado el número de proyectos e iniciativas para respaldar y fomentar la ordenación, conservación y mejora de los recursos fitogenéticos en explotaciones agrícolas.

Desde una perspectiva real, la conservación "en finca" de variedades locales parece poco viable si no se realiza con un enfoque de utilización. En este sentido, el desarrollo de sistemas agrícolas sin grandes insumos, más respetuosos con el medio ambiente y más diversificados,

más "sostenibles" en resumen, ofrece buenas expectativas para revalorizar y preservar la diversidad genética contenida en los cultivares tradicionales, especialmente adaptados a este tipo de agricultura. Asimismo, las variedades locales pueden ofrecer unas características de calidad organoléptica en cuanto a diversidad de sabores, aromas, aspecto, etc., que son valoradas cada vez más positivamente, al menos en un sector de población dentro del mundo desarrollado.

En la recuperación del cultivo de variedades tradicionales es de destacar la labor creciente que desde hace unos años realizan muchos grupos de agricultores "biológicos" y organizaciones de tipo no gubernamental o similares, muchas de las cuales poseen la ventaja de aportar una fuerte concienciación y un espíritu altruista en mayor o menor grado.

La conservación *in situ* y *ex situ*, en sus diversas modalidades, deben considerarse como métodos complementarios y no excluyentes para lograr el objetivo común de preservar los recursos fitogenéticos, siendo necesarias la colaboración y coordinación entre los distintos sectores implicados - instituciones, bancos de germoplasma, agricultores, grupos sociales, etc. - para conseguir una integración armónica y equilibrada de ambas estrategias.

REFERENCIAS

Ashmore, S.E. 1997. Status report on the development and application of *in vitro* techniques for the conservation and use of plant genetic resources. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.

Breese, E.L. 1989. Regeneration and multiplication of germplasm resources in seed genebanks: the scientific background. IBPGR, Roma, Italia.

Brown, A.H.D. 1995. The core collection at the crossroads. En: Core Collections of Plant Genetic Resources. T. Hodgkin, A.H.D. Brown, Th.J.L. van Hintum, E.A.V. Morales (eds.). John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 3-19.

Esquinas-Alcázar, J.T. 1993. La diversidad genética como material básico para el desarrollo agrícola. En: La Agricultura del Siglo XXI. J.I. Cubero y M.T. Moreno (coord.). Mundi-Prensa,. Madrid, pp. 79-102.



FAO. 1994. Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. 1996. Informe sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos en el Mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. 1996. Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO/IPGRI. 1994. Genebank Standards. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.

Frankel, O.H. y Bennett, E. 1970. Genetic Resources in Plant: Their Exploration and Conservation. IBP Handbook n° 11. Blackwell Scientific Publishers. Oxford, UK.

Frankel, O.H. y Hawkes. J.G. 1975. Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow. IBS series Vol. 2. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Gómez-Campo, C. 1997. *In situ* conservation of threatened plant species in Spain. *Lagasalia* 19(1-2):33-44.

Harrington, J.F. 1965. New theories on the biochemistry of seed aging. *Agron. Abstr.*, Annual Meeting of the American Society of Agronomy, p.41.

IPGRI. 1995. A brief history of plant germplasm collecting. En: *Collecting Plant Genetic Diversity*. L. Guarino, V. Ramanatha Rao, R. Reid (eds.). CABI, Wallingford, UK, pp. 1-22.

Maxted N., Ford-Lloyd B.V., Hawkes J.G. 1997. *Plant Genetic Conservation. The in situ approach*. Chapman & Hall, Londres, UK.

Stanwood, P.C. 1985. Cryopreservation of seed germplasm for genetic conservation. En: *Cryopreservation of plant cells and organs*. Laretha, K.K. (ed.). CRC Press, Boca Ratón, Florida, pp. 199-236.

Vavilov, N.I. 1951. Estudios sobre el origen de las plantas cultivadas. ACME Agency, Buenos Aires, Argentina.

DIRECCIONES EN INTERNET DE INTERÉS

- FAO - Servicio de Recursos Fitogenéticos y Semillas:
<http://www.fao.org/ag/agp/agps>
- FAO - Sistema de Información Mundial en Recursos Fitogenéticos:
<http://apps3.fao.org/wiews>
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute):
<http://www.cgiar.org/ipgri>
- Programa Cooperativo Europeo para Recursos Genéticos:
<http://www.cgiar.org/ecpgr>
- Convenio sobre Diversidad Biológica:
<http://www.biodiv.org>
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria):
<http://www.inia.es>
- Inventario de la Red de colecciones españolas de Recursos Fitogenéticos:
<http://www.crf.inia.es>



CENTRO DE PUBLICACIONES

Paseo de la Infanta Isabel, 1 - 28014 Madrid