

CAPÍTULO 17

LAS RAZAS LOCALES COMO RESERVORIO DE VARIABILIDAD GENÉTICA

17.1. NECESIDAD DE AMPLIACIÓN DE LA BASE GENÉTICA DE LOS CULTIVOS. "POOLS" GÉNICOS. EJEMPLOS EN DIFERENTES CULTIVOS	549
17.2. EL PROCESO DE DESARROLLO DE LAS VARIEDADES LOCALES POR EL AGRICULTOR	553
17.2.1. DEFINICIÓN DE VARIEDADES LOCALES	553
17.2.2. DESARROLLO DE LAS VARIEDADES LOCALES: DIVERSIDAD Y ADAPTACIÓN	554
17.3. LA EROSIÓN GENÉTICA	556
17.3.1. PRINCIPALES CAUSAS DE LA EROSIÓN GENÉTICA ..	557
17.3.2. CONSECUENCIAS DE LA EROSIÓN GENÉTICA: VULNERABILIDAD FRENTE A ESTRESSES	558
17.3.3. ESTUDIO DE LA EROSIÓN GENÉTICA	559
17.4. LAS VARIEDADES LOCALES COMO RESERVORIO DE VARIABILIDAD	561
17.4.1. LAS VARIEDADES LOCALES COMO FUENTES DE GENES DE INTERÉS	561
17.4.2. EJEMPLOS DE LA INTROGRESIÓN DE GENES PROCEDENTES DE LAS VARIEDADES LOCALES	563
17.4.2.1. Cereales	563
17.4.2.2. Forrajes	565
17.4.2.3. Leguminosas	565
17.4.2.4. Hortícolas	566

17.5. LA RECUPERACIÓN Y EL USO DE LAS VARIEDADES LOCALES	568
17.5.1. CONSERVACIÓN DE LAS VARIEDADES LOCALES: MANTENIMIENTO "ON FARM"	568
17.5.2. EL USO DE LAS RAZAS LOCALES EN LA AGRICULTURA SOSTENIBLE	570
17.5.3. MEJORA PARTICIPATIVA	571
17.6. MEJORA GENÉTICA DE LAS VARIEDADES LOCALES ...	572
17.7. BIBLIOGRAFÍA	575

17.1. NECESIDAD DE LA AMPLIACIÓN DE LA BASE GENÉTICA DE LOS CULTIVOS. "POOLS" GÉNICOS. EJEMPLOS EN DIFERENTES CULTIVOS

Actualmente se estima que existen entre 300.000 y 500.000 especies vegetales de las cuales unas 250.000 han sido identificadas o descritas. Aproximadamente, 30.000 especies son comestibles y de ellas, unas 7.000 han sido alguna vez cultivadas o recolectadas para la alimentación (FAO, 1998). Por tanto, a nivel global existen muchas especies potencialmente útiles como cultivos, pero hoy en día sólo 30 cultivos proporcionan el 95% de la energía alimentaria (FAO, 1998). Algunos cultivos están siendo completamente eliminados y, además, las variedades locales cultivadas tradicionalmente, están siendo abandonadas y sustituidas por variedades modernas de alto rendimiento. La dependencia de unas pocas especies así como la estrecha diversidad genética dentro de cada una de ellas ha incrementado la vulnerabilidad frente a condiciones de estreses bióticos y abióticos. La adaptación de los cultivos a estas condiciones extremas se realiza a través de procesos de selección y mejora. Es bien conocido que la base de toda selección es la variación. Por ello, en el proceso de mejora es importante crear e incrementar la variación genética disponible para un cultivo, es decir, ampliar su base genética. Para ampliar la base genética de los cultivos y así maximizar las ganancias procedentes de la selección, es esencial acumular alelos favorables procedentes de formas cultivadas (variedades locales y cultivares) y silvestres e incluso de otras especies.

Es importante definir qué tipo de material debe ser utilizado para incrementar la base genética de un cultivo, pues a medida que incrementa la distancia genética entre el cultivo y el material donante con el que se desea cruzar, las estrategias y métodos de mejora requeridos van a ser diferentes (Singh, 2001). Por ello, Harlan y DeWet (1971) establecieron un sistema de "pools" o acervos genéticos de los que se tratará a continuación.

En general, se define un "pool" génico o acervo genético como el grupo completo de alelos presentes en una especie o población. También se ha definido como "el conjunto de información genética que define una especie" o "la suma de todos los genes con todas sus variaciones que presenta una especie determinada en un momento determinado" o "toda la diversidad genética que existe dentro de una especie". El concepto de "pool" génico puede ser aplicado tanto a una especie como a una población aunque de aquí en adelante se referirá siempre a especies cultivadas.

Se entiende que una especie cultivada con un acervo genético amplio y, por lo tanto, con una variación genética extensa nos permitirá seleccionar más fácilmente para los caracteres que puedan ser de interés. Por el contrario, en una especie cultivada con un acervo genético reducido y variación genética escasa será más difícil encontrar genes útiles de interés y habrá que recurrir a acervos genéticos de niveles superiores para ampliar su base genética. Lo deseable es encontrar los genes útiles buscados en los niveles más bajos de los acervos genéticos, donde la compatibilidad en los cruzamientos no es una barrera o dificultad añadida en el proceso de mejora.

El sistema de acervos genéticos propuesto por Harlan y deWet (1971) está basado en la compatibilidad genética entre especies más que en la definición del límite de especie, que muchas veces no es claro, estableciendo un enfoque más práctico que será de utilidad para el mejorador. Estos autores proponen tres categorías o acervos, aunque posteriormente se han definido hasta cinco acervos genéticos del siguiente modo (Harlan y deWet, 1971; Harlan, 1992; Michelmore, 2003; García, 2004):

- Acervo genético primario: generalmente se corresponde con el concepto tradicional de especie biológica aunque también puede incluir especies muy próximas. La especie biológica puede incluir formas silvestres, variedades locales y cultivares. Entre las formas de este acervo genético el cruzamiento es fácil, el apareamiento de los cromosomas es prácticamente normal y los híbridos son fértiles, de modo que la transferencia de genes es simple y su segregación es normal. Por lo tanto, la transferencia de un carácter es relativamente sencilla.
- Acervo genético secundario: incluye aquellas especies biológicas próximas, incluso algunas de géneros distintos, que se pueden cruzar con el cultivo y que se denominan coenoespecies. La transferencia de genes es posible pero deben superarse las barreras de incompatibilidad que separan las especies biológicas. El apareamiento cromosómico es incompleto, los híbridos suelen ser parcialmente estériles

(esterilidad parcial) y débiles y con dificultades para alcanzar la madurez. En ocasiones, se necesita un gran número de retrocruzamientos para recuperar los tipos deseados en generaciones avanzadas.

- Acervo genético terciario: en este nivel, las especies son sexualmente compatibles y es posible realizar cruzamientos pero los híbridos tienden a ser anómalos, letales o completamente estériles (esterilidad severa). La transferencia de genes sólo es posible con la utilización de técnicas especiales como rescate de embriones, cultivo de tejidos, duplicación del número de cromosomas, o utilización de especies puente para obtener alguna fertilidad. El valor de este acervo genético es esencialmente informativo; tradicionalmente definía el límite del potencial genético para una especie.

Hasta este punto, la variación genética disponible para la mejora de una especie cultivada consistía en los acervos genéticos de la propia especie o especies relacionadas con las que fuese capaz de formar híbridos pero los límites tradicionales entre estos acervos han sido drásticamente cambiados mediante el mapeo, la clonación de genes y la transformación genética (Lee, 1998). A partir de aquí se alcanza un punto de inflexión ya que se sobrepasarían las barreras de compatibilidad sexual de los cultivos. Teóricamente estos dos siguientes acervos serían comunes a todas las especies.

Acervo genético cuaternario: incluye todos los organismos vivos. Este nivel englobaría a todos los alelos naturales. El acceso directo al ADN, la localización y manipulación de genes, tendiendo a la búsqueda directa de los genes de interés y la posibilidad de transferir genes de unas especies a otras sin ningún tipo de barrera, es definitivo para la utilización de este acervo.

Acervo genético quinternario: abarca todo el rango de secuencias posibles. Se refiere a alelos nuevos, generados mediante la manipulación del ADN.

No es sencillo definir este sistema de acervos genéticos en todas las especies cultivadas debido a la variedad y complejidad que existe en las relaciones de fertilidad y apareamiento de cromosomas entre los diferentes taxones afines a una especie para cuyo esclarecimiento serían necesarios minuciosos estudios citogenéticos. Así pues, en algunos casos esta nomenclatura no suele ser utilizada pero existen algunos ejemplos claros y bien definidos de los acervos genéticos en cultivos como judía común, lenteja, yuca o maíz que se verán a continuación.

En judía común (*Phaseolus vulgaris* L.) los tipos cultivados y silvestres constituyen el acervo genético primario aunque en ambos existen dos grupos principales de germoplasma, Andino y Mesoamericano y, a su vez, cada uno de éstos se divide en tres razas (Singh *et al.*, 1991). El acervo genético secundario incluye las especies *P. coccineus* L., *P. costaricensis* Freytag y Debouck y *P. polyanthus* Greenman (= *P. dumosus* Macfad.), mientras que en el acervo genético terciario se encuentran *P. acutifolius* Asa Gray y *P. parvifolius* Freytag. También se han intentado sin éxito cruzamientos entre *P. vulgaris* y otras especies como *P. filiformis* Bentham, *P. angustissimus* Asa Gray y *P. lunatus*. Por ello, y desde el punto de vista de introgresión de genes, se considerarían dentro del acervo genético cuaternario de judía común pues no es posible producir progenies fértiles de híbridos viables (Harlan, 1976; Singh, 2001).

En otra leguminosa como la lenteja (*Lens culinaris* Medik.), las formas cultivadas de la subespecie *culinaris* y las silvestres de la subespecie *orientalis* formarían el acervo primario, mientras en el acervo genético secundario se encontrarían *L. ervoides* (Brign.) Grande y *L. odemensis* Ladiz. y en el acervo genético terciario *L. nigricans* (M. Bieb.) Godr. (Muench *et al.*, 1991; García, 2004).

En yuca (*Manihot esculenta* Crantz), tubérculo de zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo, los tipos cultivados se engloban en la subespecie *esculenta*, mientras los tipos silvestres se agrupan en las subespecies *flabellifolia* (Pohl) Ciferri, posiblemente el ancestro de las cultivadas, y *peruviana* (Muell. Arg.) Allem. Según Allem *et al.* (2001) también se englobaría en este acervo la especie *M. pruinosa* Pohl, muy similar morfológicamente a la subespecie *flabellifolia* y que probablemente comparte un progenitor común con las dos subespecies silvestres. El acervo secundario contiene 13 especies: *M. triphylla*, *M. pilosa*, *M. brachyloba*, *M. anomala*, *M. epruinosa*, *M. gracilis*, *M. tripartita*, *M. leptophylla*, *M. pohlii*, *M. glaziovii*, *M. dichotoma*, *M. aesculifolia* y *M. chlorosticta*, si bien Allem *et al.* (2001) especulan sobre si la primera de ellas se debería incluir dentro del acervo primario del cultivo.

En maíz (*Zea mays* L.), el acervo genético primario estaría integrado por el ancestro silvestre del maíz (teosinte) que se incluye en la subespecie *parviglumis* así como la ssp. *mays* (Flint-García *et al.*, 2009). El acervo genético secundario englobaría las especies *Z. perennis* (Hict.) Reeves y Mangelsd., *Z. diploperennis* (Illis, Doeble y Guzman) Greb. y *Tripsacum dactyloides* (L.), mientras el acervo genético terciario incluiría el género *Sorghum*.

En los cultivos pertenecientes al género *Brassica*, aunque esta terminología no suele ser empleada, el acervo genético primario para cada una de las seis especies cultivadas [(*Brassica oleracea* L., *B. rapa* L., *B. napus* L., *B. nigra* (L.) Koch., *B. carinata* (A.) Braun y *B. juncea* (L.) Czernj. y Coss.] estaría integrado por los grupos, variedades, o subespecies que la forman, incluyendo formas silvestres (U, 1935). Existen pues acervos genéticos primarios separados para cada una de estas seis especies (Figura 17.1). Los acervos genéticos secundarios y terciarios son difíciles de determinar. Las coenospecies de las brásicas abarcan los géneros y especies que están genéticamente relacionadas y son capaces de intercambiar material genético con ellas (Gómez-Campo, 1999). En sentido amplio, Prakash *et al.* (1999) citan dentro de las coenospecies de *Brassica* a los siguientes géneros incluidos en la tribu Brassiceae: *Brassica*, *Diplotaxis*, *Erucastrum*, *Eruca*, *Sinapsis*, *Coinceya*, *Hirschfeldia*, *Trachystom*, *Sinapidendron*, *Raphanus*, *Enarthrocarpus*, *Moricandia*, *Rytidocarpus* y *Pseuderucaria*. Todos ellos incluirían unos o varios citodemas o grupos de cruzamiento teniendo en cuenta el número de cromosomas y su apareamiento y la amplitud de la fertilidad de los híbridos. Una vez realizadas las pruebas de cruzabilidad entre especies se podrían establecer los acervos secundario y terciario. Supuestamente, algunas de las especies silvestres del género *Brassica* (más de 300) supondrían el acervo secundario mientras otras especies silvestres del género *Brassica* y las especies de los demás géneros citados integrarían el acervo genético terciario (Figura 17.1).

17.2. EL PROCESO DE DESARROLLO DE LAS VARIEDADES LOCALES POR EL AGRICULTOR

17.2.1. DEFINICIÓN DE VARIEDADES LOCALES

El término "variedad o raza local", usado de forma rutinaria en la bibliografía de recursos fitogenéticos, se definió en 1890 y, básicamente, no ha cambiado desde entonces. Zeven (1998) hizo una revisión de las principales clasificaciones y definiciones de este término y llegó a la conclusión de que una raza local es un concepto bastante complejo de modo que no se puede alcanzar una definición perfecta, aunque la más aproximada sería aquella dada por Mansholt en 1909 como "una variedad con una alta capacidad para tolerar estreses bióticos y abióticos lo que resulta en una gran estabilidad en cuanto al rendimiento y una producción media bajo un sistema agrícola de bajos insumos". Según Harlan (1975), una raza local se puede definir como "aquella población con una alta variabilidad, genéticamente dinámica y en equilibrio con el medio ambiente y los patógenos". En

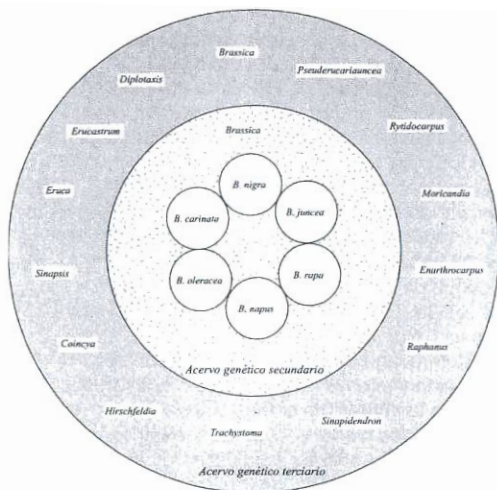


Figura 17.1. Acervos genéticos de las brásicas cultivadas. El acervo genético secundario incluye aquellas especies silvestres del género Brassica más próximas a las formas cultivadas. El acervo genético terciario contiene aquellas especies silvestres del género Brassica más distantes así como especies afines de otros géneros de la familia de las crucíferas.

un estudio más reciente, Love y Spaner (2007) detallan las siguientes características que definen las variedades locales: i) están adaptadas a condiciones de cultivo locales (FAO, 1998; Brush, 2000), ii) presentan una alta diversidad genética (FAO, 1998; Brush, 2000), iii) son tolerantes a estreses bióticos y abióticos (Zeven, 1998) y iv) son el producto de la selección por parte del agricultor (FAO, 1998; Swanson y Goeschl, 2000).

17.2.2. DESARROLLO DE LAS VARIEDADES LOCALES: DIVERSIDAD Y ADAPTACIÓN

Desde la aparición de la agricultura en el Neolítico, las variedades locales desarrollaron, acorde a las necesidades y preferencias de los agricultores, determinadas características que hicieron posible su adaptación a con-

diciones específicas tanto bióticas como abióticas (Allard, 1999). En general, su adaptación y evolución se produjo en unas condiciones de reducido uso de prácticas culturales, fertilización y protección sanitaria, lo que les ha conferido una gran estabilidad productiva.

A lo largo de milenios, los agricultores nos han legado una herencia incalculable de miles de razas locales pertenecientes a cultivos mayores y menores que se han desarrollado gracias a la acción de la selección natural y humana. En el desarrollo de las variedades locales en la agricultura tradicional los agentes causantes de la selección han sido los factores ambientales (selección natural), los ambientes de cultivo utilizados por los agricultores (selección artificial indirecta) y los agricultores por sí mismos (selección artificial directa), ya sea intencionada o casual. En la mayoría de los casos estos tipos de selección ocurren de manera simultánea (Cleveland y Soleri, 2007). La domesticación y la selección por parte del agricultor de aquellos tipos o formas deseables junto con su dispersión y evolución en una particular área geográfica han sido las principales causas de la excepcional diversidad encontrada en la gran mayoría de las especies cultivadas (Harlan, 1992). De este modo, se puede afirmar que la selección masal llevada a cabo por los agricultores durante milenios ha derivado en miles de variedades domesticadas de diferentes cultivos.

La adaptación de las razas locales a diferentes y, en ocasiones, extremas condiciones de cultivo ha sido posible gracias a la diversidad genética existente dentro de ellas en cuanto a caracteres agronómicos, fenológicos, fisiológicos y morfológicos. La variación en la forma, el tamaño o el color de los frutos en tomate, patata, pimiento o calabaza son sorprendentes manifestaciones morfológicas de esa diversidad. La variación genética dentro de las razas locales es especialmente elevada en especies alógamas o de polinización cruzada como algunas especies del género *Brassica*, el maíz y el mijo. Sin embargo, en cultivos autógamos como el arroz, el trigo y la cebada la variación es menos significativa.

En el género *Brassica*, la mayor expresión de esta variabilidad morfológica se manifiesta dentro de la especie *B. oleracea*; en ésta el aprovechamiento de diferentes partes de la planta (tallos, hojas, inflorescencias,...) para su uso final ha dado lugar a una amplia gama de cultivos dentro de la misma especie (berzas, brécol, coles de Bruselas, coliflor, repollos,...). Esta diversidad morfológica es sólo un indicio de la variación respecto a numerosas características fisiológicas, químicas y de desarrollo. En este sentido, sabemos que las variedades locales de brásicas hortícolas que se cultivan en Galicia muestran una gran diversidad genética (inter e intravarietal) desde un punto de vista morfo-

agronómico, molecular y nutricional. Estas variedades conforman la colección activa de brásicas del banco de germoplasma de la Misión Biológica de Galicia, colección que incluye cultivos autóctonos y singulares de esta región como la berza, el grelo o el nabicol (<http://www.mbg.csic.es/esp/index.php>). La variabilidad presente en este germoplasma ha permitido identificar fuentes de genes útiles para mejorar la productividad, adaptación y la resistencia a patógenos vegetales (Padilla *et al.*, 2005; Cartea *et al.*, 2009).

Sabemos que la variabilidad (o diversidad genética) asegura una mejor respuesta de una población o especie a condiciones ambientales variables y cambiantes y, por tanto, aumenta su adaptación. Una población genéticamente variable presenta, en general, una respuesta mucho más plástica frente a diferentes condiciones ambientales mientras que en las poblaciones uniformes todos los individuos responden de la misma forma o en el mismo grado. El riesgo reside en que, ante determinadas condiciones (climáticas, edáficas, presencia de patógenos, etc.), todas las plantas de cultivos uniformes son igualmente susceptibles pudiendo, en la situación más extrema, llegar a desaparecer.

Las variedades locales suelen estar bien adaptadas a las condiciones de cultivo más extremas. En China, por ejemplo, estas variedades son especialmente valoradas en zonas de montaña donde están adaptadas a diferentes hábitats caracterizados por condiciones severas de frío y sequía y suelos ácidos, salinos y alcalinos. Asimismo, en los países del sur de África, donde las condiciones de cultivo son muy difíciles debido a la baja frecuencia de las lluvias y la extrema variabilidad en las estaciones de cultivo (muy largas o cortas), las variedades locales ofrecen a los agricultores más seguridad respecto al rendimiento de sus cultivos. Estas variedades son capaces de soportar condiciones ambientales que dañarían seriamente a muchos híbridos o variedades comerciales, lo que les confiere una mayor estabilidad productiva. En muchos cultivos actuales la mejora del rendimiento de semilla (entre un 30% y 40%) se ha conseguido gracias a la utilización de las variedades locales; en arroz, por ejemplo, se ha estimado que el 10% de la ganancia total en el rendimiento en el sur de Asia puede atribuirse a la evaluación y uso que los mejoradores han hecho de las colecciones de variedades locales y poblaciones relacionadas.

17.3. LA EROSIÓN GENÉTICA

Se define la erosión genética como la pérdida de diversidad genética, incluyendo la pérdida de genes individuales y de combinaciones particula-

res de genes como los que se manifiestan en las razas locales adaptadas a sus respectivas zonas de cultivo. Este término se puede usar en sentido estricto (referido a la pérdida de genes o alelos) o en sentido amplio (referido a la pérdida de variedades o razas locales) (FAO, 1998). Esta descripción tan amplia encierra un fenómeno complejo que es difícil de medir en la práctica. Bajo esta visión, la erosión genética puede traducirse en la desaparición de variedades conocidas en regiones donde acostumbraban a estar presentes. La erosión de los recursos genéticos, junto a la desaparición de las prácticas y conocimientos gracias a los cuales los agricultores acostumbraban a manejar, utilizar y conservar los recursos genéticos, podría suponer a largo plazo una seria amenaza a la seguridad alimentaria del mundo ya que la pérdida de variación genética disminuye el potencial de las especies para hacer frente a estreses abióticos y bióticos.

17.3.1. PRINCIPALES CAUSAS DE LA EROSIÓN GENÉTICA

La base genética de las razas locales y sus parentales silvestres está actualmente amenazada por diversos factores de erosión genética (Hammer y Teklu, 2008). La principal causa en todo el mundo ha sido la sustitución de las razas locales por variedades mejoradas o exóticas (Gotsch y Rieder, 1995). Únicamente en algunas regiones de África este reemplazo ha sido apenas perceptible (FAO, 1998). Otras causas de la erosión genética incluyen la destrucción de los hábitats del cultivo debido a la desecación de pantanos, la deforestación, la utilización de regadíos a gran escala o el empleo de fitoquímicos. La sobreexplotación de los recursos fitogenéticos, afectados por el sobrepastoreo, las inadecuadas prácticas culturales o la utilización masiva de plantas silvestres para obtener alimentos, medicinas o como ornamentales son también importantes factores que contribuyen a la erosión genética (FAO, 1998). Muchas especies, además, están amenazadas por sequías recurrentes que pueden dar lugar a la desertificación, por desastres naturales como ciclones o inundaciones o por el impacto de la polución y la lluvia ácida, como ocurre en algunas zonas de Europa. La introducción inadvertida de nuevas plagas y enfermedades también se cita como causa de erosión genética, sobre todo en zonas más apartadas, como pueden ser las islas. Otros factores que han contribuido notablemente a la erosión genética en algunos países son el impacto de la presión demográfica y la creciente urbanización, así como la guerra y las revueltas civiles como ha ocurrido en Ruanda y Somalia. En Vietnam, la erosión genética fue una de las consecuencias del uso de defoliantes durante la guerra contra Estados Unidos (FAO, 1998). La política de los gobiernos puede tener un impacto en la extensión de la erosión genética. En Europa, la legislación,

desaconsejando el cultivo de razas locales, ha tenido un impacto negativo en su conservación. La erosión genética es también el resultado de presiones económicas. En muchos casos, los agricultores se ven forzados a plantar variedades de alto rendimiento en monocultivos usando fertilizantes y pesticidas (Hammer y Teklu, 2008). A pesar del valor y la importancia del mantenimiento de los recursos genéticos, incluyendo un gran número de cultivos tradicionales, el agricultor tiene pocos incentivos económicos para seguir cultivando las razas locales.

17.3.2. CONSECUENCIAS DE LA EROSIÓN GENÉTICA: VULNERABILIDAD FRENTE A ESTRESSES

La vulnerabilidad genética es la condición que resulta cuando un cultivo ampliamente extendido es, debido a su constitución genética, uniformemente susceptible a plagas, patógenos o cambios ambientales resultando en graves pérdidas de rendimiento y, por lo tanto, económicas.

La hambruna de la patata irlandesa fue un dramático ejemplo de las consecuencias de la vulnerabilidad genética. La población irlandesa había alcanzado unos 8,5 millones de habitantes en 1845 y las patatas constituían la única fuente significativa de comida para un tercio de su población. Los agricultores prácticamente solo cultivaban una variedad fértil y productiva denominada "Aran Banner" y dado que las patatas pueden propagarse vegetativamente, todas eran clones idénticos genéticamente entre sí. Esta variedad era altamente susceptible al hongo *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary, el cual destruyó el cultivo de la patata en 1845. Como consecuencia de las hambrunas que duraron desde 1846 hasta 1850 murieron un millón de personas y emigraron entre 1,5 y 2 millones, cambiando totalmente la estructura social y cultural de la población irlandesa. En 1970, tres cuartas partes del maíz sembrado en Estados Unidos tenían el citoplasma T [Texas], el cual concede androesterilidad, favoreciendo la producción de híbridos. Sin embargo, este maíz es altamente sensible a la toxina T producida por la raza T de *Helminthosporium maydis* Nisik y Miyake. Esta epidemia causó unas pérdidas económicas de aproximadamente mil millones de dólares (Ullstrup, 1972). En 1972 el cultivar de trigo de invierno denominado "Bezostaya" se cultivó en 15 millones de hectáreas en la Unión Soviética. Este cultivar era originario de Ucrania desde donde se fue extendiendo debido a una sucesión de inviernos suaves que favorecieron su cultivo. Sin embargo, en 1972 y debido a un invierno severo fue totalmente exterminado. En Cuba, durante 1979 y 1980, una roya atacó la variedad de caña de azúcar que se había plantado en un 40% de la superficie del país, resultan-

do en la pérdida de un millón de toneladas de este cultivo, valorado en unos 500 millones de dólares.

17.3.3. ESTUDIO DE LA EROSIÓN GENÉTICA

Para poder monitorizar y conservar la diversidad agrobiológica, es necesario evaluar los cambios en la diversidad genética de las razas locales en los centros de diversidad de las plantas cultivadas (Bezaçon *et al.*, 2009). Los ecosistemas agrobiológicos están definidos por tres conjuntos de factores: los recursos genéticos, el ambiente y las prácticas humanas (Mekbib, 2008). Todos estos factores determinan el número de razas locales cultivadas en un área y momento determinados. Para evaluar el impacto de la erosión genética se han seguido diversas aproximaciones que tienen en cuenta estos factores. Estos acercamientos incluyen el estudio de la diversidad genética con marcadores moleculares, el estudio del riesgo de erosión genética a la que se ve sometido un cultivo y la comparación de las variedades que se cultivaban en una zona en una época determinada con las que se cultivan actualmente. Siguiendo la primera aproximación, Martos *et al.* (2005) calcularon la pérdida de diversidad genética en trigo duro, caracterizando 24 cultivares, cultivados en distintos períodos de tiempo (entre 1945 y 2000 en España e Italia) con marcadores AFLP. En este caso, se comprobó que la diversidad genética de las variedades cultivadas se mantuvo a lo largo del tiempo.

El riesgo de erosión genética de un cultivo o un parental silvestre puede cuantificarse de forma indirecta. De Oliveira y Martins (2002) siguiendo la metodología propuesta por Guarino (1995) elaboraron una lista de 20 factores potenciales que podían contribuir a la erosión genética de la planta medicinal ipecacuana [*Psychotria ipecuanha* (Brot.) Stokes] cultivada en la costa Atlántica de Brasil. A cada una de las entradas de ipecacuana recogidas en esta costa se le asignó una puntuación (riesgo de erosión genética) correspondiente a la suma de las puntuaciones obtenidas para cada uno de los factores de riesgo evaluados. Se concluyó que la desaparición del ecosistema forestal y su explotación fueron los principales factores de riesgo de erosión genética que afectaron a esta especie. Siguiendo una metodología similar, Keiřa *et al.* (2008) estudiaron el riesgo de erosión genética de cultivares silvestres del género *Vicia* en Siria, encontrando una correlación entre el riesgo de erosión genética y el aumento en el tamaño de la población circundante en los últimos 20 años.

Otro modo de medir la erosión genética de forma indirecta es comparando el número de razas locales cultivadas en una zona en dos épocas dife-

rentes. Hammer *et al.* (1996) estudiaron la erosión genética sufrida por diversos cultivos en dos áreas del Mediterráneo, uno de los centros de biodiversidad definidos por Vavilov. Compararon las recolecciones de razas locales de diversos cultivos realizadas en 1941 en Albania y en 1950 en el sur de Italia con recolecciones realizadas a finales de los años 80. La erosión genética media detectada fue de 72,4%, esto quiere decir que el 72,4% de las razas locales cultivadas en los años 40 en Albania e Italia habían desaparecido cuando se quisieron volver a recolectar en los años 80. En el caso del sur de Italia, la erosión genética fue aún mayor (75%) cuando se estudiaron cultivos hortícolas. Continuando con el trabajo anterior, Hammer y Laghetti (2005) estimaron la erosión genética ocurrida en el sur de Italia hasta los años 90, calculando que se habían perdido 400 razas locales de trigo en el período que comprende desde 1945 hasta 1990. Diversos autores, siguiendo la metodología propuesta por Hammer *et al.* (1996) han estimado la erosión genética de otros cultivos, obteniendo resultados variables. A una escala temporal más pequeña, Morin *et al.* (2002) concluyeron que hubo una rápida disminución en el cultivo de variedades tradicionales de arroz en el Valle del Cagayan, en el norte de Filipinas, desde 1996 hasta 1998 debido sobre todo a la sequía provocada por el fenómeno de El Niño en 1997 y a las inundaciones provocadas por dos tifones sucesivos ocurridos en 1998. En la selva Atlántica brasileña se detectó una disminución significativa en el número de razas locales de mandioca cultivadas por los agricultores de la zona en un período de 30 años (Peroni y Hanazaki, 2002).

Sin embargo, en otras zonas, la erosión genética en los cultivos no ha sido tan clara. Esto es evidente en zonas en donde la agricultura se realiza de forma sostenible, de modo que los agricultores siguen manteniendo prácticas tradicionales y la difusión de variedades comerciales ha sido más lenta. Así, por ejemplo, Mekbib (2008) estimó la erosión genética a la que fue sometida el cultivo de sorgo desde el año 1960 hasta el año 2000 en Etiopía, su probable centro de origen, sin detectar una erosión genética significativa. Bezançon *et al.* (2009) compararon la diversidad del mijo perla y del sorgo cultivados en Nigeria en un período de 27 años (1976-2003). Los resultados confirmaron la alta diversidad de ambos cultivos y la ausencia de erosión genética, confirmando una excelente conservación de por parte de los agricultores. Heerwarden *et al.* (2009) estudiaron el reemplazo de razas locales por cultivares modernos en el cultivo del maíz dentro de un sistema modelo como es la agricultura a pequeña escala en el sur de México, comprobando que las razas locales a menudo persisten después de la introducción de semilla mejorada.

Aunque puede suceder que la variabilidad de las razas locales pueda llegar a incrementarse puntualmente para algún cultivo, para la gran mayoría

de ellos, y sobre todo en países desarrollados, la erosión genética está teniendo lugar a un ritmo cada vez mayor. Es por ello, que el hecho de detectar y comprobar la erosión genética es una prioridad de la agricultura a nivel mundial, como ya manifestó la FAO hace más de una década (FAO, 1996).

17.4. LAS VARIEDADES LOCALES COMO RESERVORIO DE VARIABILIDAD

Las variedades locales poseen un inmenso potencial para la mejora genética y la obtención de nuevas variedades y pueden utilizarse como: i) fuentes de caracteres individuales en programas de mejora genética, ii) fuentes de diversidad para ampliar la base genética de los programas de mejora, iii) germoplasma en el que basar el desarrollo de variedades adaptadas localmente y iv) directamente, a través de su multiplicación y distribución a los agricultores. Los recursos fitogenéticos, entendidos como la variabilidad de genes presentes en las plantas, constituyen la base que agricultores y mejoradores utilizan para aumentar la calidad y la productividad de los cultivos. Estos recursos encierran la clave para incrementar el rendimiento en zonas geográficas marginales y aumentar la seguridad alimentaria. De modo más reciente, se ha destacado su enorme valor y uso potencial como reservorio de genes útiles en los sectores industrial y farmacéutico.

17.4.1. LAS VARIEDADES LOCALES COMO FUENTES DE GENES DE INTERÉS

Las razas locales constituyen los principales reservorios de genes "útiles" para la mejora genética vegetal. En ellas se encuentran los genes que han sido seleccionados por los agricultores o por la naturaleza por su adaptación, productividad o resistencia a diferentes estreses. Los genes presentes en una determinada variedad local se valoran en función del beneficio último que puedan aportar e incluyen cualidades agronómicas como i) resistencia a plagas y enfermedades, ii) adaptación a estreses abióticos (tolerancia a la salinidad, sequía, etc.), iii) productividad, iv) factores de calidad nutricional y sensorial y v) factores culinarios y de importancia cultural.

Entre los caracteres de mejora más importantes están aquellos que confieren resistencia a insectos y patógenos. En la mayoría de los cultivos, se ha introducido resistencia a patógenos usando genes existentes en las variedades locales procedentes de las colecciones internacionales. La informa-

ción acerca de cultivos resistentes o tolerantes a insectos se remonta al siglo XIX cuando se encontró que la variedad de manzana "Winter Majetin" era resistente al áfido *Eriosoma lanigerum* (Hausm). Otro caso conocido y bien documentado es el de la resistencia de la vid americana a la filoxera, *Phylloxera vitifoliae* (Fetch) (Smith, 1989). No obstante, los genes para resistencia a las plagas no son frecuentes y se encuentran de manera predominante en las variedades silvestres. En este capítulo nos hemos centrado únicamente en los genes encontrados en el germoplasma local. La identificación e introgresión de genes de especies silvestres constituye un tema diferente y se trata en profundidad en otro capítulo de este libro (ver Cap. X).

La introgresión de genes se ha utilizado principalmente para la transferencia de genes mayores de resistencia a enfermedades, si bien se ha utilizado también para transferir caracteres de calidad nutritiva y de resistencia a estreses abióticos. La introgresión es la introducción de un solo gen a un "pool" génico élite mediante cruzamientos repetidos a lo largo de varias generaciones y se conoce como retrocruzamientos. Esto puede ser extraordinariamente difícil cuando hay genes no deseables ligados al gen que tiene interés agronómico. El programa de retrocruzamiento es más fácil de manejar si el carácter que se desea introducir es de herencia simple, dominante y fácilmente reconocido en los híbridos. Cabe señalar que algunos genes, que en un principio parecían no tener un valor en particular, han demostrado ser cruciales para conferir diversas resistencias y desarrollar nuevas variedades. El desarrollo de los mapas genéticos ha permitido perfeccionar los métodos de introgresión basados en la selección asistida por marcadores moleculares. Mediante el uso de las técnicas biotecnológicas, el gen deseado se inserta en un contexto genético "aceptable". Estas técnicas pueden reducir el número de generaciones, y en consecuencia, el tiempo necesario para introducir caracteres específicos.

Aunque la introgresión es un método útil para introducir un carácter específico en una población de mejora, en ocasiones las razas locales han sido utilizadas con éxito para ampliar la base genética y mejorar la productividad y rendimiento de los cultivos. La preocupación por ampliar la base genética de muchos cultivos está latente hoy en día por lo que se continúan caracterizando variedades locales de muchas especies conservadas en los bancos de germoplasma de un gran número de centros de investigación distribuidos por todo el mundo. La ampliación de la base genética requiere un programa de mejora a largo plazo con una población en lugar de un gen o de un método basado en un carácter. Para ello, hay que cruzar diversos genotipos y luego efectuar una selección recurrente a partir de las poblaciones obtenidas a lo largo de un número elevado de generaciones.

En los últimos años, y como consecuencia de diversos fenómenos de gran trascendencia social, como la globalización, el mayor flujo migratorio humano y la degradación medioambiental del planeta, se han redefinido los objetivos de mejora. En este punto, es preciso confiar en que la diversidad genética presente desde siempre en las razas locales pueda proporcionar caracteres valiosos capaces de satisfacer algunos de los nuevos desafíos del futuro, como por ejemplo la adaptación de los cultivos a nuevas condiciones climáticas o a la aparición de nuevas plagas y enfermedades.

17.4.2. EJEMPLOS DE LA INTROGRESIÓN DE GENES PROCEDENTES DE LAS VARIEDADES LOCALES

A continuación se citan algunos ejemplos de la introgresión de genes procedentes de las variedades locales en las variedades modernas en cultivos de gran importancia en la agricultura, en la alimentación humana y en la historia de la mejora genética vegetal.

17.4.2.1. Cereales

Maíz: algunos de los caracteres agronómicos más sobresalientes encontrados en el germoplasma local de maíz de México son la calidad proteica, el contenido de aceite, la resistencia a plagas y enfermedades, la adaptación a suelos ácidos y/o alcalinos, y la asociación simbiótica para la fijación libre de nitrógeno. El cultivar local "Zapalote Chico", de México, ha sido usado con éxito como fuente de resistencia frente al ataque en la mazorca y en las sedas de *Euxesta stigmatias* Loew, *Spodoptera frugiperda* Smith y *Helicoverpa zea* (Boddie), a enfermedades causadas por hongos y, en muchos casos, ha servido también como fuente para introducir insensibilidad al fotoperíodo.

Otra variedad local llamada "Ludyfinger", usada para producir maíz de palomitas, ha sido ampliamente utilizada para introducir resistencia a otra enfermedad fúngica conocida como niebla del maíz (*Helminthosporium turcicum* Pass.) y como fuente de genes útiles para otros caracteres agronómicos y de calidad (Creech y Reitz, 1971). Otros ejemplos de utilización de los genes procedentes de variedades locales de maíz serían los genes para resistencia al mildiu lanuginoso en Asia, genes para resistencia al estriado en África y al marchitamiento tardío en Medio Oriente e India.

Trigo: una variedad de trigo enano procedente de Japón y conocida como "oria 10" se introdujo en América en 1946 y desempeñó un papel

clave en la mejora genética del trigo durante la llamada "Revolución Verde", ya que fue utilizada como donante de los genes responsables del enanismo, los cuales permitieron una mayor absorción de nitrógeno y favorecieron el incremento de la producción en sistemas de cultivo intensivos (Reitz, 1970). Mediante el cruzamiento de "oria 10" con variedades de alto porte y sensibles al encamado se obtuvieron variedades de trigo semi-enanas de alto rendimiento, con mayor acumulación de materia seca en las espigas, buena respuesta a la fertilización y resistencia a las enfermedades. La variedad "Marquis", que ocupó el 90% de la superficie sembrada con trigo de primavera en América del Norte, se originó a partir de un cruzamiento entre la variedad local de la India "Hard Red Calcuta" y la variedad local europea "Red Fife". Además de la adaptación, las razas locales han sido reservorio de genes para la resistencia a diferentes enfermedades. Una variedad local procedente de Turquía y recolectada por Harlan en 1948 fue ignorada durante muchos años debido a sus numerosas características agronómicas desfavorables. Hasta la década de los 80 no se descubrió que contenía genes de resistencia y tolerancia a varias royas (las cuales representan una de las mayores amenazas en la producción mundial de trigo) y otros hongos fitopatógenos y, a partir de entonces, se utiliza como fuente de resistencia a múltiples enfermedades (Creech y Reitz, 1971). Actualmente es uno de los parentales de la mayoría de los cultivares de trigo cultivados en el noroeste de los Estados Unidos.

Arroz: los cultivares locales originarios del noroeste de La India están sirviendo como fuente de resistencia a numerosas plagas y enfermedades en otras partes del mundo. La resistencia a insectos es muy difícil de encontrar en el germoplasma local y según Heinrichs (1986) se han hallado fuentes de resistencia sólo en 0,01 a 2% de las entradas locales evaluadas. Respecto a la calidad comercial, las variedades de arroz aromático de Asia, que comprenden el arroz basmati de la India y Pakistán, el jazmín de Tailandia y cientos de variedades locales poco conocidas, parecen entrañar una gran promesa en los mercados actuales que buscan "tipos especiales" de arroz. En China, por ejemplo, a partir de un cultivar local se ha obtenido una variedad comercial de arroz aromático y textura cerosa llamada "Shangnongxiangnuo", que presenta un impresionante rendimiento de 7,5 toneladas por hectárea.

Sorgo: La gran variabilidad presente en germoplasma local de sorgo etíope (Geleta y Labuschagne, 2005) ha permitido identificar e incorporar de genes de interés en cultivares indios adaptados. En particular, las variedades locales procedentes de Etiopía han proporcionado la resistencia al mildiu vellosa en muchas líneas puras ampliamente utilizadas en Estados

Unidos y México. Respecto a la calidad nutricional, las variedades locales de endospermo amarillo recolectadas en Nigeria en 1951 han constituido la fuente indiscutible utilizada para incrementar el contenido de vitamina A en este cultivo (Creech y Reitz, 1971).

17.4.2.2. Forrajes

En los años 50 se recolectaron en Uruguay variedades locales de ray-grass italiano (*Lolium multiflorum* Lam.) y ray-grass inglés (*Lolium perenne* L.) que han sido fuentes de resistencia a la enfermedad de la roya coronada causada por el hongo *Puccinia coronata* var. *lolii* Beeynck. La incorporación de esta resistencia ha sido clave en la mejora genética de estas especies al tratarse de gramíneas de gran importancia económica en la producción de forrajes y en el establecimiento de céspedes en lugares de clima templado y subtropical.

Una raza local de bromo (*Bromus biebersteinii* Roemer y J.A. Schultes) recolectada en Turquía en 1949 ha sido la responsable del vigor y de las excelentes características agronómicas presentes en la famosa variedad "Regar" producida en Estados Unidos (FAO, 1996).

17.4.2.3. Leguminosas

Alfalfa: una variedad local recolectada en Irán en 1940 se utilizó para introducir la resistencia a los nematodos del tallo (*Ditylenchus dipsaci* Kuhn) en esta especie (Creech y Reitz, 1971). Por otra parte, el ecotipo americano comercial de alfalfa "AWPX3" se obtuvo a partir de 13 ecotipos locales recolectados en diferentes países y épocas.

Judía grano: diferentes variedades locales de origen mesoamericano como "Common Red Mexican", "Flor de Mayo IV", "Apetito", "Garbancillo Zarco" o "San Cristobal 83" fueron cultivadas, durante siglos y sin riego por los nativos americanos en zonas áridas y poco fértiles y hoy en día suponen una valiosa fuente de genes de resistencia a la sequía (Muñoz-Perea *et al.*, 2006; Singh, 2007) lo que les ha hecho ocupar cientos de miles de hectáreas en terrenos poco fértiles de México y Brasil. Existen numerosos ejemplos del uso de variedades locales en la mejora de la resistencia a enfermedades en judía grano. Bebee y Pastor-Corrales (1991) y Miklas (2000) realizaron una exhaustiva revisión de las fuentes de resistencia a patógenos, incluyendo gran número de variedades locales y de su utilización en los materia-

les mejorados. Por ejemplo, la variedad local "Garrapato" procedente de México ha supuesto una fuente de resistencia a la clorosis foliar producida por el virus BGMV y ha sido utilizada para desarrollar multitud de cultivares comerciales (Singh, 2001). Se han encontrado genes de resistencia a roya en el "Compuesto Chimaltenango 2" de México y en dos variedades locales de Guatemala que han sido introducidos en cultivares de las clases comerciales "Pinto" y "Great Northern". Otras variedades locales como GN Montana 5 han sido ampliamente utilizadas como fuentes de resistencia a la tabaquera de las judías.

17.4.2.4. Hortícolas

Pepino: la variedad "Shogoin" recolectada en Corea en 1948 ha sido una fuente importantísima de androesterilidad utilizada comercialmente para la producción de híbridos. Respecto a la resistencia a enfermedades, se ha obtenido resistencia a la marchitez bacteriana a partir de una variedad recolectada en Myanmar en 1952, la cual se ha introducido en los materiales comerciales en Estados Unidos y Canadá. Otra variedad recolectada en India ha servido para introducir los genes de resistencia a la antracnosis en numerosas variedades comerciales (Creech y Reitz, 1971).

Tomate: las variedades locales son sensibles a un gran número de patógenos distintos. Entre ellos, destaca el virus del mosaico del tomate (ToMV), el cual se extiende muy rápidamente y con gran eficacia debido a la intervención humana y ha sido una de las principales causas del abandono de este tipo de variedades. Por otra parte, la presencia de nuevas enfermedades como el virus del bronceado (TSWV) y del virus del rizado amarillo o virus de la cuchara (TYLCV) han convertido prácticamente en algo anecdótico el cultivo de las variedades locales de tomate. En la especie cultivada la resistencia a insectos es rara, pero sí es frecuente hallarla en las formas silvestres. El género *Lycopersicon* (recientemente incluido en *Solanum*) es además un ejemplo claro en el que muchas de las especies silvestres cruzan bien con el tomate cultivado. Por ello, diferentes especies silvestres han sido utilizadas con éxito como donantes de genes de resistencia a hongos, virus, nematodos e insectos y como donantes de genes implicados en la mejora de la calidad y la adaptación a ambientes adversos (Esquinas-Alcázar, 1981).

Brásicas: la principal contribución del germoplasma local de brásicas en la mejora genética ha sido la identificación de fuentes de resistencia a diferentes enfermedades. La resistencia conocida como "pierna negra", causa-

da por *Leptosphaeria maculans*, se identificó por primera vez en los años 80 en una variedad francesa llamada "Jet Neuf" (*B. napus*) y se utilizó con éxito para introducir la resistencia a variedades de colza de primavera. Manzanares-Dauleux *et al.* (2000) evaluaron la resistencia a la potra de la col (*Plasmidiophora brassicae* Woron) en un gran número de variedades locales francesas de berza, coliflor y repollo y encontraron resistencia en algunas variedades de berza. En la resistencia a la roya blanca causada por *Albugo candida* (Pers.) Kuntze, se ha encontrado resistencia en variedades locales de col asa de cántaro y de berza procedentes de Portugal (Santos y Dias, 2004) y en variedades locales de col china y repollo chino de diferentes orígenes (Santos *et al.*, 2009). Otra muestra del valor que pueden aportar las variedades locales es la resistencia a la raza 4 de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson, o podredumbre negra de las crucíferas encontrada en variedades locales gallegas de nabicol (*B. napus*) y de nabizas (*B. rapa*) (datos no publicados). Otros caracteres de interés tales como la androesterilidad, calidad nutritiva, resistencia a insectos y estreses abióticos o caracteres de importancia agronómica como la resistencia a la dehiscencia precoz se incorporaron en la mayoría de las ocasiones desde especies silvestres emparentadas con *B. oleracea*.

Otro ejemplo significativo dentro de este amplio grupo de cultivos se encuentra en la especie *B. napus* y dentro de ésta en el cultivo de colza (*B. napus* var. *oleifera*). El origen de las variedades de colza bajas en glucosinolatos fue el cultivar polaco "Bronowski". Este cultivar se utilizó como la única fuente de genes para el desarrollo de variedades bajas en glucosinolatos en colza y para la transferencia de estos genes a *B. rapa* y *B. juncea* (de Haro *et al.*, 2006). A partir de estos primeros éxitos en la mejora de la calidad se obtuvieron posteriormente variedades bajas en glucosinolatos y en ácido erúico (variedades doble cero) que en Canadá adoptaron la denominación de canola.

Calabaza: la existencia de variedades locales con ciclos de diferente duración, así como con características agronómicas sobresalientes, indican claramente que la variación genética de esta especie es vastísima. Ejemplos de algunas variedades locales interesantes para América Latina son las existentes en la península de Yucatán con dos ciclos de cultivo de diferente duración, así como también las cultivadas en México, en las que se ha encontrado resistencia a algunas enfermedades virales. Dentro de las primeras, es de gran interés las de ciclo corto cultivadas comúnmente en los huertos mayas, pues de ellas seguramente se derivó la variedad más importante a nivel comercial en la región; en cuanto a las segundas, cabe señalar que actualmente están siendo empleadas en programas de mejora gené-

tica. Respecto a las fuentes de variación que presentan los cultivares de *Curcubita moschata* Duchesne ex Poir. desarrollados fuera de su área de origen, el mejor ejemplo es el de un cultivar nativo de Nigeria que representa la única fuente de resistencia a ciertas enfermedades virales.

17.5. RECUPERACIÓN Y USO DE LAS VARIEDADES LOCALES

17.5.1. CONSERVACIÓN DE LAS VARIEDADES LOCALES. MANTENIMIENTO "ON FARM"

A pesar del conocimiento sistemático de la existencia de las razas locales desde los trabajos de Vavilov, no fue hasta los años 60 cuando se tomó verdadera conciencia de su importancia y se inició su recolección y conservación. En este sentido, las colecciones de germoplasma representan la materia prima que se requiere para los programas de mejora genética y para evitar o disminuir la vulnerabilidad que resulta de la utilización de bases genéticas estrechas.

La primera vez que se discutió acerca de la conservación de las razas locales como recursos fitogenéticos fue en un congreso internacional agrícola y forestal celebrado en Viena en 1890 (Zeven, 1998). Sin embargo, esta idea no fue debatida en profundidad hasta 1927 en un congreso celebrado en Roma por el precursor de la FAO, el Instituto Internacional de Agricultura (Zeven, 1998). Allí, se recomendó la conservación de las razas locales en cada país mediante su cultivo en explotaciones agrícolas, granjas e instituciones públicas (conservación *in situ*). Sin embargo, hasta 1960 no se comenzó la conservación de las razas locales de una manera sistemática gracias a los grupos implicados en el "International Biological Program".

La conservación de las razas locales y, por tanto, de la diversidad agrícola es de crítica importancia debido a los beneficios directos a la humanidad que provienen de la explotación de cultivos agrícolas y hortícolas mejorados, del potencial para el desarrollo de nuevos medicamentos y otros productos, y por el papel que juegan las plantas en el funcionamiento de los ecosistemas (Maxted *et al.*, 2002). Actualmente, hay un acuerdo general sobre la dramática pérdida de la diversidad genética que está teniendo lugar en todas las especies vegetales y que este proceso se agravará en el futuro, siendo especialmente severo entre las razas locales de cultivos agrícolas (FAO, 1998).

Como se ha comentado en otros capítulos del libro (Cap. 15), existen dos estrategias básicas de conservación de recursos fitogenéticos, *in situ* y

ex situ, que pueden ser complementarias y que son válidas para la conservación de variedades locales. La conservación *in situ* significa la conservación de ecosistemas y hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables en su medio y, en el caso de especies cultivadas o domesticadas, en el medio donde han sido desarrolladas sus características particulares (Maxted *et al.*, 2002). Esta definición incluye dos conceptos distintos que se pueden distinguir como "conservación de recursos genéticos" y "on-farm conservation". Ambos métodos incluyen el mantenimiento de la diversidad genética en los ambientes donde fueron encontrados, pero el primero se suele utilizar referido a especies silvestres en hábitats naturales y el segundo a especies domesticadas en sistemas agrícolas tradicionales como las razas locales. Así, la conservación "on farm" la podemos definir como el manejo sostenible de la diversidad genética de cultivos desarrollados localmente (razas locales) junto a especies silvestres y adventicias por los agricultores en sistemas tradicionales agrícolas, hortícolas o silvícolas.

Los centros de domesticación y diversidad, como Mesoamérica en el caso del maíz, son zonas especialmente prometedoras para la conservación "on farm" de las razas locales, ya que exhiben un alto nivel de diversidad intraespecífica, la cual es el reflejo de un proceso de coevolución entre el cultivo y las poblaciones locales. El significado cultural de los cultivos, sus múltiples usos en las comunidades rurales y las diferentes especialidades culinarias preparadas con estos cultivos se reflejan en los criterios de selección de los agricultores y la diversidad presente en los mismos (Belloñ *et al.*, 2003). En este tipo de áreas, la diversidad de usos de los cultivos debería conllevar que el mantenimiento de la diversidad fuese fácil y que el dinero destinado a la conservación "on farm" fuese relativamente poco. Aún así, en muchos casos se requiere una ayuda económica externa para que al agricultor le resulte rentable el mantenimiento de las razas locales (Bellon *et al.*, 2003). Un problema importante en la conservación "on farm" es el relativo al material sobre el cual centrar los esfuerzos. No todas las poblaciones contribuyen igualmente a la diversidad presente en un área, pudiendo haber casos de redundancia genética. Además, no todas las poblaciones locales son del mismo interés para los agricultores.

Bellon *et al.* (2003) proponen una metodología para identificar, seleccionar y mantener la diversidad genética "on farm" de una raza local de maíz en la región de Oaxaca (México) que es de gran interés y aplicabilidad para otras zonas y cultivos. La idea central es conseguir que la variabilidad presente en una zona sea conocida y disponible para los agricultores que desean usarla más que organizar operaciones de rescate de recursos fitogenéticos. Esta idea se basa en dos valores fundamentales:

- Mantener las necesidades y las expectativas de los agricultores: valor económico de una población.
- Mantener la diversidad genética: contribución de una población concreta a la diversidad genética de esa área.

La posición que un cultivo ocupa con respecto a estos dos valores indica la necesidad de su conservación. Poblaciones con una alta puntuación para estos dos valores son apropiadas tanto para su conservación "on farm" como *ex situ*. Una población que sólo sea alta para el segundo parámetro es apropiada para conservación *ex situ*, mientras que aquellas poblaciones altas para el primer parámetro serán conservadas por los agricultores. Por último, aquellas poblaciones bajas para los dos parámetros podrán ser descartadas sin mayores consecuencias.

Para el mantenimiento de las variedades locales, el agricultor retiene cada estación una porción de semilla cosechada para resembrar el año siguiente. Pueden ser varios los factores que influyen en la elección de la muestra de semilla, pero suelen intervenir rendimiento, calidad y resistencia a plagas y enfermedades (Maxted *et al.*, 2002). La selección de la semilla para el año siguiente está dirigida generalmente al aumento de la producción en el ambiente local donde vive el agricultor o para la producción en diferentes ambientes (Jarvis *et al.*, 2000). Como ejemplo, Brush and Meng (2000) citado por Maxted *et al.* (2002), mencionan a un agricultor de trigo turco que dispone de diferentes razas locales según vayan a ser sembradas en colinas o en valles, para autoconsumo o para vender en el mercado. Así, una raza local seleccionada por el agricultor y la naturaleza por su adaptación a un ambiente local es probable que contenga alelos o genes geográficamente específicos y ecotípicamente adaptados, lo cual puede ser único dentro de su "gene pool" lo que hace importante su conservación y su utilización potencial. Sin embargo, este sistema no es cerrado y pueden entrar en el mismo genes de otros cultivos debido al reemplazamiento de la semilla o cruzamientos con otros cultivares cercanos. Este material es probable que sea similar a la raza local ya que proviene de cultivos cercanos y, por lo tanto, el flujo de genes de otros cultivos no llega a erradicar la raza adaptada debido a la presión del agricultor y del ambiente (Zeven, 1999).

17.5.2. EL USO DE LAS VARIEDADES LOCALES EN LA AGRICULTURA SOSTENIBLE

El uso de variedades locales se considera imprescindible para una agricultura sostenible. La agricultura sostenible se define como la utilización y

el manejo de un agrosistema de modo que no degrade los recursos sin posibilidad de recuperación y que permita un uso indefinido manteniendo su integridad biológica y su funcionalidad (Love y Spaner, 2007). Las variedades locales mantenidas por los sistemas agrícolas tradicionales son una fuente importante de recursos fitogenéticos (Pujol *et al.*, 2007). Su diversidad ayuda a los agricultores de sistemas tradicionales a mantener una relativa estabilidad sobre el rendimiento a pesar de su limitada capacidad para controlar la variación ambiental.

Los sistemas tradicionales de agricultura son diferentes de los sistemas industrializados en varios aspectos, lo que afecta a los objetivos y resultados de la selección. En primer lugar, los primeros están dominados mayoritariamente por variedades locales seleccionadas por los agricultores, aunque también por variedades modernas que han sido adaptadas a un determinado ambiente por selección natural y por parte del agricultor (Cleveland y Soleri, 2007). Por tanto, la variación genética entre las variedades locales es mayor que en las variedades usadas en una agricultura industrializada. En segundo lugar, los ambientes de cultivo son más variables en el espacio y en el tiempo, lo que contribuye a incrementar la variación fenotípica para muchos cultivos, reduciendo la proporción de varianza fenotípica aditiva y, por tanto, reduciendo la heredabilidad (Ceccarelli *et al.*, 1992). Tercero, la agricultura tradicional se caracteriza por la integración dentro de la comunidad de la producción, consumo, mejora, multiplicación y conservación de la diversidad genética, mientras que en la agricultura profesionalizada estas funciones están especializadas y separadas espacial y estructuralmente (Cleveland y Soleri, 2007). Por todo ello, los agricultores pueden preferir las variedades locales no sólo por sus características agronómicas que pueden ser mejoradas por una agricultura industrializada, sino por otros caracteres relacionados con la calidad organoléptica, nutricional y post-cosecha además del mantenimiento a largo plazo de la diversidad genética.

17.5.3. MEJORA PARTICIPATIVA

El manejo de la biodiversidad agrícola y los recursos genéticos en las zonas de cultivo necesita de diversos métodos agrícolas, diversas relaciones sociales y estructuras locales. En los países desarrollados, tanto estas estructuras tradicionales como los recursos fitogenéticos se han reducido notablemente (Hammer *et al.*, 2003). En líneas generales, los agricultores no suelen participar en los procesos de mejora y selección, comprando la semilla certificada cada año. Las decisiones basadas en los beneficios económicos han reemplazado a la cultura tradicional acerca de cómo y qué cul-

tivar (Hammer *et al.*, 2003). Estos cambios, que se aceleran con el paso del tiempo, pueden llevar a la extinción de una gran cantidad de conocimiento acumulado a lo largo de cientos de años, así como a la desaparición de las variedades locales generadas a través de esta agricultura tradicional. En los países en vías de desarrollo la situación no es tan grave, muchas de estas estructuras se mantienen y además, existen varios proyectos de mejora participativa.

La mejora participativa es una buena opción para el mantenimiento de las variedades locales en sus lugares de cultivo. Distintas evidencias como es el caso de la mejora participativa de variedades de arroz por parte de agricultores en Nepal (Joshi *et al.*, 2001) o la mejora participativa de maíz por parte del CIMMYT con los agricultores de Oaxaca (México) ponen de manifiesto que las variedades producidas a través de mejora participativa pueden ser adoptadas ampliamente. La investigación por parte del agricultor con variedades locales proporciona mayores opciones para mantener la diversidad gracias al intercambio de variedades bien sea por intercambio entre agricultores o por compra en ferias agrícolas (Love y Spaner, 2007). En diversos países, se han creado incluso bancos comunitarios de semillas para facilitar el acceso a la diversidad varietal (Asfaw, 1999; Cromwell y van Oosterhout, 2000).

17.6. MEJORA GENÉTICA DE LAS VARIEDADES LOCALES

Se puede decir que el proceso de selección y mejora de las plantas comenzó con el inicio de la agricultura y la domesticación de los cultivos. Uno de los primeros cultivos domesticados fueron los cereales (ver Cap. 2) y en ellos se observa, ya desde los primeros tiempos, una rápida eliminación de características indeseables como por ejemplo la dehiscencia de sus semillas. La aparición de la mejora genética vegetal a principios del siglo pasado hizo posible el desarrollo de variedades élite de alta productividad y uniformidad que contribuyeron a un incremento espectacular del rendimiento de los cultivos. Hasta mediados del siglo XIX los objetivos prioritarios de la mejora vegetal se centraron pues en el incremento de la producción mientras que otros aspectos de gran relevancia, como la resistencia o tolerancia a condiciones ambientales adversas y las preferencias del consumidor, quedaron relegadas a un segundo lugar. Posteriormente, se ampliaron los objetivos y se empezó a hacer especial hincapié en las características nutritivas y de calidad.

Los métodos de mejora clásica (o convencionales) consiguieron los mayores logros en la mejora de las variedades locales, resultados que hoy

en día siguen siendo indiscutibles. A finales del siglo XIX se creó en Svalov (Suecia) la primera estación de mejora de plantas y, desde entonces, se han obtenido multitud de nuevas variedades y se han conseguido importantes logros en el incremento de la productividad, resistencia o tolerancia a enfermedades, plagas, ambientes adversos y en la adaptación a la mecanización. Los ejemplos más notables los constituyen el trigo, el arroz y el maíz.

En los países desarrollados, especialmente Estados Unidos, los métodos de mejora genética iniciados en el siglo XX dieron sus primeros resultados con el maíz. De hecho, la obtención y el uso generalizado de variedades híbridas ha sido uno de los hitos en esta especie. En los países en vías de desarrollo el esfuerzo se centró fundamentalmente en el trigo y arroz. La llamada "Revolución Verde" se inició con el trigo en México en 1943 con la aplicación de un plan subvencionado por la fundación Rockefeller y el gobierno mexicano para la transformación de la agricultura tropical. El objetivo de disponer de variedades adaptadas a una agricultura intensiva condujo a la obtención de variedades enanas o semienanas más productivas, resistentes al encamado y capaces de ser sembradas a una alta densidad. Gracias a la introducción de estas variedades de trigo semienanas, países como India y Paquistán fueron autosuficientes en la producción triguera, y más tarde en la de arroz, paliando así las hambrunas recurrentes. En los años 50, el Centro Internacional de Mejora de Maíz y Trigo (CIMMYT) creó la revolución tecnológica de los "trigos enanos" de alto rendimiento. El trabajo del CIMMYT en la mejora de trigo a partir del germoplasma local ha sido y es indiscutible en la mejora de este cereal. Así, este centro en colaboración con la Universidad de California en Davis y Centros de Investigación en Irán y Turquía seleccionaron y clasificaron 13.000 muestras de variedades de trigo primitivas. De ellas, 150 razas locales mostraron resultados prometedores y han sido incorporadas en diferentes programas de mejora. El segundo triunfo de la mejora vegetal en los trópicos se consiguió con el arroz, como resultado de la fundación en 1960 del International Rice Research Institute (IRRI) en Filipinas. Se han obtenido variedades enanas, con mayor contenido proteico, tolerancia a la sequía y con resistencias a plagas y enfermedades.

Dentro del grupo de las plantas hortícolas, la bibliografía recoge numerosos estudios que reflejan el papel de la mejora genética en la aparición de nuevas variedades en diferentes cultivos atendiendo a las necesidades de los consumidores, de la industria y de la tecnología agrícola. Algunos ejemplos serían tomates que exhiben una amplia gama de formas, tamaños y colores de fruto; brécol enriquecido en glucorafanina, colzas carentes de ácido erúxico y glucosinolatos (variedades 00), uvas apirenas, sandías con

distintos colores de carne y apirenas, remolacha azucarera con mayor rendimiento en azúcar, maíces dulces y superdulces blancos o amarillos. Por el contrario, hay pocos ejemplos de mejora en el valor nutritivo de los alimentos, si exceptuamos los que se refieren a la eliminación de sustancias nutricionalmente perjudiciales.

Respecto a determinados caracteres, la mejora genética presenta limitaciones. Por ejemplo, en la mejora de la resistencia genética a enfermedades se han obtenido notables éxitos pero se mantienen los problemas de escasez de fuentes de resistencia y, en muchas ocasiones, la falta de estabilidad o durabilidad de la misma. La lucha contra las enfermedades y las plagas habrá de seguirse indefinidamente ya que es frecuente la aparición continuada de nuevas razas y especies de patógenos. Las nuevas tecnologías pueden ayudar a suplir las limitaciones que a este respecto presenta la mejora genética clásica. Micheltmore (2003) asegura que la genómica puede incrementar el reservorio de genes disponibles para la mejora de los cultivos, bien proporcionando una detallada caracterización del germoplasma compatible sexualmente o mediante transgénesis (Figura 17.2).

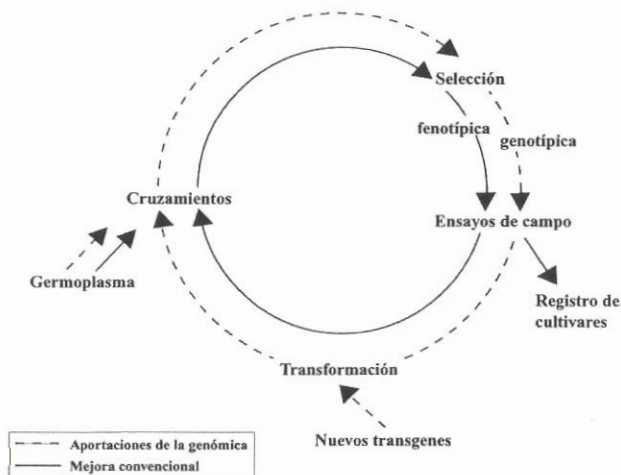


Figura 17.2. Aportaciones de la genómica al ciclo convencional de mejora (adaptado de Micheltmore, 2003).

Además, las nuevas tecnologías de genotipado (ver Cap. 14) permitirán la selección basada en genes de los genotipos superiores que presenten las características deseadas. El desarrollo e incorporación de nuevas herramientas procedentes de la genómica, proteómica y metabolómica dentro del campo de la mejora genética abre nuevas vías para mejorar los cultivos, gracias al estudio de los mecanismos de actuación, regulación e interacción de los genes que regulan los caracteres de interés.

17.7. BIBLIOGRAFÍA

- Allard, R.W. 1999. Principles of plant breeding. John Wiley & Sons, INC., Nueva York.
- Allem, A.C., Mendes, R.A., Salomão, A.N. and Burle, M.L. 2001. The primary gene pool of cassava (*Manihot esculenta* Crantz subspecies *esculenta*, Euphorbiaceae). *Euphytica* 120: 127-132.
- Asfaw, Z. 1999. The barleys of Ethiopia. pp 77-107. In: SB Brush (ed.), Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity. International Plant Genetic Resources Institute copublished with International Development Research Centre and Lewis Publishers, Rome.
- Beebe, S.E. and Pastor-Corrales, M.A. 1991. Breeding for disease resistance. pp 561-617. In: Av Schoonhoven and O Voysest (eds.), Common beans: research for crop improvement. CAB International, Wallingford.
- Bellon, M.R., Berthaud, J., Smale, M., Aguirre, J.A., Taba, S., Aragón, F., Díaz, J. and Castro, H. 2003. Participatory landrace selection for on-farm conservation: An example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Genet. Resour. Crop Evol.* 50: 401-416.
- Bezançon, G., Pham, J.L., Deu, M., Vigouroux, Y., Sagnard, F., Mariac, C., Kapran, I., Mamadou, A., Gerard, B., Ndjeunga, J. and Chantereau, J. 2009. Changes in the diversity and geographic distribution of cultivated millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties in Niger between 1976 and 2003. *Genet. Resour. Crop Evol.* 56: 223-236.
- Brush, S.B. 2000. The issues of in situ conservation of crop genetic resources. pp 3-26. In: SB Brush (ed.), Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity. International Plant Genetic Resources Institute copublished with International Development Research Centre and Lewis Publishers, Rome.
- Cartea, M.E., Soengas, P., Ordas, A. and Velasco, P. 2009. Resistance of kale varieties to attack by *Mamestra brassicae*. *Agric. For. Entomol.* 11: 153-160.

- Ceccarelli, S., Grando, S. and Hamblin, J. 1992. Relationship between barley grain yield measured in low and high-yielding environments. *Euphytica* 64: 49-58.
- Cleveland, D.A. and Soleri, D. 2007. Extending Darwin's Analogy: Bridging differences in concepts of selection between farmers, biologists, and plant breeders. *Econ. Bot.* 61: 121-136.
- Creech, J.L. and Reitz, L.P. 1971. Plant germplasm now and for tomorrow. pp 1-49. *Advances in Agronomy*. Academic Press, Nueva York.
- Cromwell, E. and van Oosterhout, S. 2000. On-farm conservation of crop diversity: policy and institutional lessons from Zimbabwe. pp 217-238. In: SB Brush (ed.), *Genes in the Field*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- De Haro, A., del Río, M., Cartea, M.E. and Ordás, A. 2006. Mejora de la calidad de especies de *Brassica*. pp 415-449. In: G Llácer, MJ Díez, JM Carrillo and ML Badenes (eds.), *Mejora genética de la calidad en plantas*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- De Oliveira, L.O. and Martins, E.R. 2002. A quantitative assessment of genetic erosion in ipecac (*Psychotria ipecacuanha*). *Genet. Resour. Crop Evol.* 49: 607-617.
- Esquinas-Alcázar, J. 1981. Genetic resources of tomatoes and wild relatives. International Board for Plant Genetic Resources. FAO, Rome.
- FAO. 1996. Global plan of action for the conservation and sustainable utilisation of plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 1998. The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Flint-García, S.A., Bodnar, A.L. and Scott, M.P. 2009. Wide variability in kernel composition, seed characteristics, and zein profiles among diverse maize inbreds, landraces, and teosinte. *Theor. Appl. Genet.* 119: 1129-1142.
- García, P. 2004. Herramientas biotecnológicas y uso de recursos genéticos. pp 303-350. In: F Nuez, M Pérez de la Vega and JM Carrillo (eds.), *Resistencia genética a patógenos vegetales*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Geleta, N. and Labuschagne, M.T. 2005. Qualitative traits variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from, eastern highlands of Ethiopia. *Biodivers. Conserv.* 14: 3055-3064.

- Gómez-Campo, C. 1999. Taxonomy. pp 3-32. In: C Gómez-Campo (ed.), *Biology of Brassica Coenospecies*. Elsevier, Amsterdam.
- Gotsch, N. and Rieder, P. 1995. Biodiversity, biotechnology, and institutions among crops: situation and outlook. *J. Sustain. Agr.* 5: 5-40.
- Guarino, L. 1995. Assessing the threat of genetic erosion. pp 67-74. In: L Guarino, RV Ramanatha, R Reid (eds.), *Collecting Plant Genetic Diversity: Technical Guidelines*. CAB International, Wallingford.
- Hammer, K., Gladis, T. and Diederichsen, A. 2003. In situ and on-farm management of plant genetic resources. *Eur. J. Agron.* 19: 509-517.
- Hammer, K., Knüpffer, H., Xhuveli, L. and Perrino, P. 1996. Estimating genetic erosion in landraces-two case studies. *Genet. Resour. Crop Evol.* 43: 329-336.
- Hammer, K. and Laghetti, G. 2005. Genetic erosion-examples from Italy. *Genet. Resour. Crop Evol.* 52: 629-634.
- Hammer, K. and Teklu, Y. 2008. Plant genetic resources: Selected issues from genetic erosion to genetic engineering. *J. Agr. Rural Dev. Trop.* 109: 15-50.
- Harlan, J.R. 1975. Geographic patterns of variation in some cultivated plants. *J. Hered.* 66: 182-191.
- Harlan, J.R. 1976. Genetic resources in wild relatives of crops. *Crop Sci.* 16: 329-333.
- Harlan, J.R. 1992. *Crops and man*. American Society of Agronomy, Inc., and Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Harlan, J.R. and deWet, J.M.J. 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20: 509-517.
- Heerwaarden, J., Hellín, J., Visser, R.F. and van Eeuwijk, F.A. 2009. Estimating maize genetic erosion in modernized smallholder agriculture. *Theor. Appl. Genet.* 119: 875-888.
- Heinrichs, E.A. 1986. Perspectives and directions for the continued development of insect-resistance rice varieties. *Agr. Ecosyst. Environ.* 18: 9-36.
- Jarvis, D., Sthapit, B. and Sears, L. 2000. Conserving agricultural biodiversity *in situ*: a scientific basis for sustainable agriculture. pp. 5-12. In: *Proc. of a Workshop*. Pokhara, Nepal: IPGRI, Rome.
- Joshi, K.D., Sthapit, B.R. and Witcombe, J.R. 2001. How narrowly adapted are the products of decentralised breeding? The spread of rice varieties from a participatory plant breeding programme in Nepal. *Euphytica* 122: 589-597.

- Keiša, A., Maxted, N. and Ford-Lloyd, B. 2008. The assessment of biodiversity loss over time: wild legumes in Syria. *Genet. Resour. Crop Evol.* 55: 603-612.
- Lee, M. 1998. Genome projects and gene pools: New germplasm for plant breeding? *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: 2001-2004.
- Love, B. and Spaner, D. 2007. Agrobiodiversity: Its value, measurement, and conservation in the context of sustainable agriculture. *J. Sustain. Agr.* 31: 53-82.
- Manzanares-Dauleux, M.J., Divaret, I., Baron, F. and Thomas, G. 2000. Evaluation of French *Brassica oleracea* landraces for resistance to *Plasmiodiophora brassicae*. *Euphytica* 113: 211-218.
- Martos, V., Royo, C., Rharrabti, Y. and García del Moral, L.F. 2005. Using AFLPs to determine phylogenetic relationships and genetic erosion in durum wheat cultivars released in Italy and Spain throughout the 20th century. *Field Crops Res.* 91: 107-116.
- Maxted, N., Guarino, L., Myer, L. and Chiwona, E.A. 2002. Towards a methodology for on-farm conservation of plant genetic resources. *Genet. Resour. Crop Evol.* 49: 31-46.
- Mekbib, F. 2008. Genetic erosion of shorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the centre of diversity, Ethiopia. *Genet. Resour. Crop Evol.* 55: 351-364.
- Michelmore, R.W. 2003. The impact zone: genomics and breeding for durable disease resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 397-404.
- Miklas, P.N. 2000. Use of *Phaseolus* germplasm in breeding pinto, great northern, pink, and red bean for the Pacific Northwest and intermountain region. pp. 13-29. In: *Bean research, production and utilization*. Proc. Idaho Bean Workshop. Twin Falls: University of Idaho, Idaho.
- Morin, S.R., Calibo, M., García-Belén, M., Pham, J.L. and Palis, F. 2002. Natural hazards and genetic diversity in rice. *Agr. Hum. Values* 19: 133-149.
- Muench, D.G., Slinkard, A.E. and Scoles, G.J. 1991. Determination of genetic variation and taxonomy in lentil (*Lens Miller*) species by chloroplast DNA polymorphism. *Euphytica* 56: 213-218.
- Muñoz-Perea, C.G., Teran, H., Allen, R.G., Wright, J.L., Westermann, D.T. and Singh, S.P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46: 2111-2120.
- Padilla, G., Cartea, M.E., Rodríguez, V.M. and Ordas, A. 2005. Genetic diversity in a germplasm collection of *Brassica rapa* subsp *rapa* L. from northwestern Spain. *Euphytica* 145: 171-180.

- Peroni, N. and Hanazaki, N. 2002. Current and lost diversity of cultivated varieties, especially cassava, under swidden cultivation systems in the Brazilian Atlantic Forest. *Agr. Ecosyst. Environ.* 92: 171-183.
- Prakash, S., Takahata, Y., Kirti, P.B. and Chopra, V.L. 1999. Cytogenetics. pp 59-106. In: C Gómez-Campo (ed.), *Biology of Brassica Coenospecies*. Elsevier, Amsterdam.
- Pujol, B., Renoux, F., Elías, M., Rival, L. and McKey, D. 2007. The unappreciated ecology of landrace populations: Conservation consequences of soil seed banks in Cassava. *Biol. Conserv.* 136: 541-551.
- Reitz, L.P. 1970. New wheats and social progress. *Science* 169: 952-955.
- Santos, M.R. and Días, J.S. 2004. Evaluation of a core collection of *Brassica oleracea* accessions for resistance to white rust of crucifers (*Albugo candida*) at the cotyledon stage. *Genet. Resour. Crop Evol.* 51: 713-722.
- Santos, M.R., Silva, M.J., Ferreira-Pinto, M.M. and Días, JS. 2009. Identification of sources and inheritance of resistance of Chinese Brassica vegetables to white blister. *Plant Breed.* 128: 640-644.
- Singh, S.P. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. *Crop Sci.* 41: 1659-1675.
- Singh, S.P. 2007. Drought resistance in the race Durango dry bean landraces and cultivars. *Agron. J.* 99: 1219-1225.
- Singh, S.P., Gepts, P. and Debouck, D.G. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ. Bot.* 45: 379-396.
- Singh, S.P. and Muñoz, C.G. 1999. Resistance to common bacterial blight among *Phaseolus* species and common bean improvement. *Crop Sci.* 39: 80-89.
- Smith, C.M. 1989. *Plant Resistance to Insects: a Fundamental Approach*. John Wiley & Sons, Nueva York, EE.UU.
- Swanson, T. and Goeschl, T. 2000. Optimal genetic resource conservation: in-situ and ex-situ. pp 165-191. In: SB Brush (ed.), *Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity*. International Plant Genetic Resources Institute copublished with International Development Research Centre and Lewis Publishers, IPGRI, Rome.
- UN. 1935. Genome analysis in *Brassica* with special reference to the experimental formation of *Brassica napus* and peculiar mode of fertilization. *Jpn. J. Botany* 7: 389-452.

- Ullstrup, A.J. 1972. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970-1971. *Helminthosporium turcicum*. Annu. Rev. Phytopathol. 10: 37-50.
- Zeven, A.C. 1998. Landraces: A review of definitions and classifications. *Euphytica* 104: 127-139.
- Zeven, A.C. 1999. The traditional inexplicable replacement of seed and seed wares of landraces and cultivars: a review. *Euphytica* 110: 181-191.