

RECURSOS FITOGENETICOS.

M. Perez de la Vega.
Area de Genetica, Fac. de Biologia y E. S. y T. de Ing. Agraria,
Universidad de Leon.

El estudio y conservacion de los recursos geneticos es una disciplina emergente en la que obviamente la Genetica es la clave en la que se apoyan otros componentes del arco de las ciencias puras y aplicadas que estudian a los seres vivos y su utilizacion por el hombre. En este trabajo se pretende dar una vision general de las causas y origenes de esta disciplina, y de algunos aspectos en los que la Genetica incide directamente, todo ello centrado en los recursos vegetales en los que comparativamente se ha avanzado mucho mas que en los recursos animales o microbianos.

La diversidad entre especies y dentro de cada especie, biodiversidad, es una característica fácilmente observable. Una parte de esta biodiversidad es lo que reconocemos como recursos genéticos cuya definición, según la FAO (1989), es "el material hereditario con valor económico, científico o social contenido en las especies"; definición que incluye una enorme cantidad de especies si se acepta que su valor sea al menos potencial. Sin embargo, frecuentemente el término de recursos fitogenéticos se entiende por los mejoradores de forma más limitada, incluyendo en él los pocos cientos de especies cultivadas, praterales y forestales con utilidad directa y/o cuya diversidad genética puede usarse en mejora y domesticación. Otro de los hechos fácilmente observables en la naturaleza es la adaptación de los seres vivos a su medio natural, lo que implica adaptación a condiciones del medio físico (climáticas y edáficas) y del medio biológico: mecanismos de defensa contra predadores y patógenos.

Sin embargo, podemos constatar que el origen de las sociedades agrícolas y ganaderas se ha asociado a dos hechos: el uso de una parte muy reducida de la biodiversidad existente en cada una de las áreas en que estas sociedades comenzaron, y a la adaptación de las especies elegidas a nuevas condiciones favorables al uso humano (domesticación). Pero en general la adaptación a las condiciones de domesticación (pérdida de los mecanismos de dispersión de semillas, disminución o eliminación de mecanismos de defensa, por ejemplo) se opone a los mecanismos naturales de adaptación y esta asociada a cambios morfológicos y/o fisiológicos. En muchos casos estos cambios hacen que sea difícil reconocer la especie silvestre de la que surgió la correspondiente cultivada.

El inicio de las sociedades agrícolas se ha basado siempre en la domesticación de no más de una decena de especies vegetales: fuentes de hidratos de carbono, de proteínas, de grasas y de fibras (D. Zohary, comunicación personal). Por ejemplo, el inicio de la civilización en Oriente Medio - Mediterráneo se basó en la domesticación de trigo y cebada; lentejas, guisantes y habas; y lino. Con posterioridad el número de especies fue incrementándose (avena, centeno, olivo, frutales, etc.), y los intercambios entre culturas y los movimientos migratorios fueron aumentando el número de especies cultivadas usadas en cada área. En este sentido el descubrimiento de América y los intercambios ocurridos en los siglos posteriores representan el máximo de diversidad en los sistemas agrícolas. Pero paradójicamente, como consecuencia de los nuevos territorios disponibles se sientan las bases para el inicio de la reducción en la diversidad y los recursos genéticos en agricultura: el establecimiento de extensos monocultivos de café, caña de azúcar, algodón, tabaco, etc., en las colonias.

El segundo antecedente hacia la reducción en la diversidad es la Revolución Industrial. Supone la aparición de herramientas y maquinaria que por una parte cambian paulatinamente los métodos agrícolas y por otra facilitan el transporte de abonos (guano de Chile, por ejemplo) y cosechas, permitiendo así el monocultivo en grandes extensiones productivas y la venta de excedentes lejos de las áreas de producción. Igualmente, la síntesis química permite producir sustancias y fibras que sustituyen a tintes, fármacos, fibras naturales y otros productos obtenidos de plantas.

Pero ha sido durante este siglo, y fundamentalmente durante los últimos 50 años, cuando el fenómeno de la erosión genética ha alcanzado unas dimensiones globales: la uniformidad ha sustituido a la diversidad a nivel mundial. El rendimiento, y la uniformidad que facilitan la mecanización, los tratamientos con fertilizantes, plaguicidas, etc., el almacenado y el procesado, son factores que determinan la rentabilidad del producto y por tanto condicionan la agricultura en nuestros días; abandonándose el cultivo de las especies menos rentables, las de difícil mecanización, aquellas que no pueden venderse (cash crops) y aumentando la superficie sembrada de cada vez menos especies. Como consecuencia de todas estas circunstancias ciertas especies han dejado de cultivarse o se siguen cultivando de forma marginal (Reseda luteola, gualda; Lathyrus, muelas y titarros; Vicia, algarrobas; Amaranthus; Solanum quitoense, naranjillas, y tantas otras). Pero hoy día la humanidad depende no solo de menos especies vegetales para su subsistencia (Tabla 1) si no que en estas variedades locales (landraces), generalmente variables y localmente adaptadas pero de menor rendimiento, han sido sustituidas por unos pocos cultivares uniformes de alto rendimiento. Si revisamos la genealogía de muchos de los cultivares modernos de maíz, trigo, etc. veremos que la base genética de todos ellos es estrecha y muchos de sus genitores son comunes. La agricultura "pretecnológica" favorece la diversidad de cultivos, su rotación, e incluso la variabilidad dentro de un mismo cultivo; por el contrario la agricultura actual favorece el monocultivo de grandes superficies con variedades uniformes. En definitiva el acervo genético del que la humanidad depende para su alimentación se ha reducido dramáticamente.

Cual es el problema?. Sabemos que la variabilidad genética asegura una mejor respuesta de una población o especie a condiciones ambientales variables y cambiantes. Una población genéticamente variable presenta en general una respuesta mucho más plástica frente a diferentes condiciones ambientales, mientras que en las uniformes todos los individuos responden de la misma forma o en el mismo grado. El peligro reside por tanto en que ante determinadas condiciones (climáticas, patógenos, etc.) todas las plantas de cultivares uniformes son igualmente susceptibles pudiendo, en la situación más extrema, llegar a extinguirse todas. Existen algunos ejemplos de situaciones de este tipo, como la susceptibilidad a *Helminthosporium maydis* (*Drechslera maydis*) de los híbridos de maíz con citoplasma [T] y asociada a la proteína codificada por el gen mitocondrial *urf13* del locus complejo T-mcr. El otro gran problema radica en que toda especie, raza, variedad, etc., perdida es una pérdida irrecuperable.

A principios de este siglo algunos científicos como N. I. Vavilov empezaron a darse cuenta de la importancia de conservar los recursos genéticos. Pero se han necesitado varias décadas para que los recursos genéticos se hayan considerado sujetos de un área distintiva de la investigación científica. El reconocimiento internacional del peligro creciente de la erosión genética puede datarse en la Conferencia de la FAO de 1967 y en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano de 1972. Ante el reconocimiento de este peligro de erosión genética se creó en 1974 un organismo internacional que promoviese y coordinase a nivel mundial la recolección, conservación e investigación sobre recursos fitogenéticos: el entonces bautizado IBPGR y ahora denominado IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). Sus objetivos generales son saber que y cuáles son los recursos genéticos existentes (pensemos también en los potencialmente útiles), como conservarlos y como utilizarlos, evitando que la erosión genética sea irreversible.

Respecto a cuáles son los recursos genéticos es claro que conocemos un primer grupo: las especies cultivadas, sus formas silvestres y las especies silvestres afines. Respecto al segundo nivel, las que pueden ser útiles, conocemos muy poco, lo que significa una necesidad de investigación. Actualmente, alcanzado un nivel aceptable de conservación de lo que se podía conservar de las especies más importantes, se ha incrementado el interés, la investigación y la conservación de otras especies, entre las que las forestales se encuentran en una primera fila. Como ejemplos de este nuevo interés se pueden citar los procesos de domesticación o reutilización de especies de los géneros *Amaranthus*, *Lupinus*, *Fagopyron*, etc., el interés por conocer las especies silvestres emparentadas con las especies

cultivadas europeas promovido por el Comite Cientifico del Consejo de Europa, el programa de especies mediterraneas infrautilizadas promovido por el Gobierno Italiano y auspiciado por el IPGRI, el inventario de especies promisorias en varios paises iberoamericanos, etc.

El aspecto de como conservar es uno de los mas desarrollados. Este aspecto implica los metodos de conservacion en si y los previos de recoleccion. Los estudios realizados sobre las tecnicas de muestreo, recoleccion y conservacion son numerosisimos, y sobre algunos aspectos insistire mas adelante. En el aspecto concreto de la conservacion, esta puede realizarse in situ o ex situ. El primer tipo es usado fundamentalmente con especies silvestres, forestales o no, y en muy baja proporcion con especies cultivadas. En los paises desarrollados es practicamente imposible, y en los paises en vias de desarrollo lo es cada vez mas, conservar in situ las variedades locales adaptadas a tecnicas de laboreo y herramientas agricolas en uso decreciente o desaparecidas. Por otra parte, por ejemplo, para una variedad local de trigo adaptada a un laboreo con arado tirado por animales, siega manual y trilla mediante trillo de cuchillas de pedernal las nuevas condiciones ambientales que determina un laboreo mas profundo y una recoleccion y trilla con cosechadora determinan probablemente una nueva direccion selectiva. La conservacion ex situ puede realizarse con plantas completas (arboretos, jardines botanicos, etc.), mediante conservacion de semillas (bancos de germoplasma) o in vitro, dependiendo de las caracteristicas de cada especie. Incluso se ha establecido una red mundial para la conservacion de DNA en bancos apropiados. Los distintos metodos de conservacion presentan problemas diferentes en cuanto a manejo de la coleccion y a costos. Sin duda el metodo operativamente mas facil y mas barato es el de los bancos de semillas o bancos de germoplasma, donde las semillas pueden conservarse en condiciones adecuadas durante decadas o incluso siglos (en este ultimo caso es obviamente una extrapolacion teorica sin confirmacion experimental, aunque muy probablemente real) sin que pierdan de forma significativa capacidad germinativa. A su vez el mantenimiento y manejo de las colecciones de germoplasma presenta aspectos tan interesantes como las formacion de colecciones nucleares (core collection), mas faciles de usar por el mejorador al estar formadas por un numero menor de muestras o accesiones pero representativas de la coleccion total. Sin embargo no es un problema trivial la eleccion de las muestras que formaran una coleccion nuclear sin que se pierda variabilidad genetica util dado que algunos genes utiles (genes de resistencia, por ejemplo) son poco frecuentes.

El ultimo aspecto, la utilizacion, es crucial en la conservacion de los recursos geneticos. Estos deben tener una utilidad economica, cientifica o social al menos potencial o no seria posible convencer a los organismos financiadores, en su inmensa mayoria publicos, y conseguir la aun insuficiente financiacion actual. En el capitulo de la utilizacion es crucial disponer de colecciones activas a disposicion de mejoradores y cientificos, por ello los bancos de germoplasma no deben limitarse a la mera conservacion a largo plazo. Mantener una coleccion activa no es una tarea facil si se consideran los miles de muestras de especies cultivadas que cada banco conserva, a los que habra que anyadir un numero creciente de especies silvestres, hasta ahora poco representadas (Tabla 2). La facilidad de utilizacion de estos recursos depende de la facilidad de transferir genes a las variedades cultivadas, por lo que generalmente se clasifican en tres niveles: variedades cultivadas, formas silvestres de la misma especie, y especies e incluso generos afines; aunque la Biotecnologia y las tecnicas de transferencia de genes estan rompiendo las barreras interespecificas para el intercambio de genes. El uso de los recursos geneticos requiere un trabajo arduo y costoso de documentacion, caracterizacion agronomica, evaluacion de la variabilidad genetica, estudios filogeneticos, etc., lo que abarca aspectos basico y de investigacion. En ambos la utilizacion de marcadores geneticos bioquimicos y moleculares es general y se orienta no solo a la caracterizacion y la evaluacion de la variabilidad si no tambien a otros aspectos relacionados directamente con el uso de los recursos.

Espero que despues de todo lo anteriormente expuesto, la relacion existente entre la recoleccion y conservacion de recursos geneticos y la Genetica de poblaciones y evolutiva sea ya clara. La estructura genetica de poblaciones y de la distribucion de la variabilidad en las especies estan determinadas

en gran medida por el sistema de reproducción, por lo que este es un factor fundamental en las estrategias de recolección y de conservación de recursos fitogenéticos, además de determinar los métodos de uso del germoplasma y de mejora. La reproducción sexual y asexual son mecanismos genéticamente opuestos de transmisión de la información hereditaria, y a su vez dentro de cada uno de ellos existen distintas alternativas (por ejemplo autogamia frente a alogamia) que generan estructuras genéticas y distribución de la variabilidad particulares e incluso contrapuestas. Es de resaltar que una gran parte de las especies cultivadas son especies fundamentalmente autogamas o de reproducción asexual, o se han adaptado a estos sistemas de reproducción, al menos facultativamente, durante la domesticación. Ambos sistemas tienen como consecuencia la supresión de hecho de la recombinación y la segregación genéticas o de sus consecuencias. Sin embargo, por ejemplo, la estructura genética de poblaciones de especies autogamas o de especies de reproducción asexual facultativa son generalmente distintas: en las primeras la homocigosis es la norma mientras que la segunda la heterocigosis puede ser incluso muy alta. Si excluimos las técnicas de ingeniería genética, los mecanismos de reproducción determinan también la facilidad o dificultad para pasar genes de unos individuos a otros, de conservar los nuevos genotipos obtenidos y en definitiva de mejora. No podemos olvidar tampoco que la poliploidia es un fenómeno muy frecuente en las especies de plantas superiores, que una alta proporción de especies cultivadas son poliploides (trigo, avena, algodón, patata, plátano, etc.) y que la poliploidia determina estructuras genéticas particulares, sobre todo asociada con autogamia o con reproducción asexual.

Mi aproximación a los recursos genéticos se ha producido desde la Genética de poblaciones. Estaba, y estoy, interesado en cuál es la estructura genética de las poblaciones y especies cultivadas y sus afines silvestres, como se distribuye en y entre especies, que efecto tienen los sistemas de reproducción. Hemos trabajado hasta ahora fundamentalmente con especies de gramíneas, tanto cultivadas como con especies silvestres proximales, entre las que destacan los trabajos en el género Avena, y más recientemente con leguminosas. Como es obvio, una vez introducidos en el campo de los recursos genéticos, hemos empezado a trabajar también en su utilización.

Para terminar quisiera indicar algunas conclusiones que en parte están tomadas de trabajos de otros autores, entre ellos el Prof. Allard, y en parte de nuestro propios trabajos (Allard et al., 1993; Pérez de la Vega et al., 1994).

- 1) La domesticación de las distintas especies ha ido asociada a una reducción de la variabilidad genética presente en la correspondiente especie silvestre.
- 2) Generalmente los genes que contribuyen a una mejor adaptación en las poblaciones silvestres también suelen hacerlo en las formas cultivadas.
- 3) Las poblaciones silvestres y las variedades locales de especies autogamas están formadas generalmente por mezclas de genotipos, manteniendo niveles de variabilidad altos o muy altos. Igualmente se observa la organización de asociaciones alélicas multilocus que se conservan.
- 4) En estas poblaciones y especies la distribución geográfica de los genotipos multilocus parece ajustarse a patrones de adaptación a condiciones ambientales. Por tanto es necesario conocer las distintas condiciones climáticas y edáficas del área de distribución de cada especie para una correcta recolección de germoplasma.
- 5) Los puntos anteriores determinan estrategias claras de recolección, conservación y uso de germoplasma. Por ejemplo, para autogamas sería mejor recolectar muestras pequeñas en el mayor número posible de hábitats que muestras mayores en un número más reducido de lugares ecológicamente distintos.

Mi última reflexión es sobre la enormidad de la tarea de conservar los recursos fitogenéticos. Si bien es cierto que aproximadamente un centenar de especies representan el 90% de la alimentación mundial y que solo siete especies de cereales representan el 50% del consumo humano directo,

Sanchez-Monge en su libro 'Diccionario de Plantas Cultivadas' describe 3.933 especies, y Heywood (ver Gustafson et al., 1993) indica que unas 5.000 especies han sido cultivadas en un momento u otro, pero que hasta 25.000 han sido usadas como plantas medicinales; si incluimos las de valor científico (Arabidopsis!) o social (elementos característico de la flora local, por ejemplo) y las silvestres proximas a las cultivadas el numero se multiplica. Pero, cuantas de las especies mal conocidas o desconocidas son potencialmente utiles?.

Referencias

- Adams, R. P., Adams, J. E (Eds.). 1992. Conservation of Plant Genes. DNA banking and in vitro Biotechnology. Academic Press. 1992.
- Allard, R. W., Garcia, P., Saenz de Miera, L. E., Perez de la Vega, M. 1993. Evolution of multilocus structure in Avena hirtula and Avena barbata. Genetics 135:1125-1139.
- Brown, A. H. D., Clegg, M. T., Kahler, A. L., Weir, B. S. (Eds.).1989. Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources. Sinauer Assoc. 1989.
- Correa, J. E., Bernal, H. Y (Eds.). 1989-1995. Especies Vegetales Promisorias de los Países del Convenio Andres Bello. Secretaria Ejecutiva del Convenio Andres Bello (SECAB). Colombia. XI Tomos hasta 1995.
- or-Lloyd, B., Jackson, M. 1986. Plant Genetic Resources: An Introduction to Their Conservation and Use. Edward Arnold. 1986.
- Gustafson, J. P., Appels, R., Raven, P (Eds.). 1993. Gene conservation and exploitation. Plenum Press. 1993.
- IPGRI. 1994. Annual Report 1994 (y anteriores). IPGRI, Roma.
- Paludosi, S (Ed.). 1995. Rocket Genetic Resources Network. Project on Underutilized Mediterranean Species. IPGRI, Roma. 1995.
- Perez de la Vega, M., Saenz de Miera, L. E., Allard, R. W. 1994. Ecogeographical distribution and differential adaptedness of multilocus allelic associations in Spanish Avena sativa L. Theor. Appl. Genet. 88:56-64.
- Poehlman, J. M. Breeding Field Crops (3 Ed). 1994. Iowa State Univ. Press. Ames. 1994.
- Sanchez-Monge, E. 1981. Diccionario de Plantas Agrícolas. Servicio de Publ. Agrarias. Ministerio de Agricultura. Madrid. 1981.
- Soest, L. J. M. van, Boukema, I. W. 1994. Genetic resources conservation of wild relatives with a users perspective. En "III Workshop on Conservation of the Wild Relatives of European Cultivated Plants". Gibilmana, Sicilia. 1994.
- Varios. 1993. Conservation and Use of Genetic Resources. Instituto Juan March de Estudios e Investigaciones. Madrid. 1993.
- Varios. 1992. Proc. of the Fisrt Workshop on Conservation of the wild relatives of European Cultivated Plants. Steering Committee for the Conservation and Management of the Environment and Natural Habitats, Council of Europe. Strasbourg. 1993.
- Zohary, D., Hopf, M. 1993. Domestication of Plants in the Old World. (2nd edition). Oxford Univ. Press. 1993.

Tabla 1. Los treinta mayores cultivos en cuanto a produccion1 anual.

Especie(2)	Produccion	% en la alimentacion humana (3)
Trigo	420	19,6
Maiz	385	5,4
Arroz	375	21,2
Patata	285	4,9
Cebada	170	1,5
Batata	145	
Mandioca	100	2,0
Soja	95	
Uvas	70	
Avena	65	
Sorgo	55	2,1

Canya de azucar	55	
Naranja	55	
Mijo	50	2,0
Platano	40	
Tomate	40	
Remolacha azucarera	35	
Centeno	35	1,6
Manzana	35	
Coco	30	
Algodon (semilla)	30	
Cacahuete	25	
Nyame	20	
Sandia	20	
Col	15	
Alubias	10	
Guisantes	10	
Girasol (semilla)	10	
Mango	10	

1 Produccion en millones de toneladas metricas, no en valor de mercado del producto. No estan incluidos los forrajes verdes.

2 En muchos casos es un conjunto de especies biologicas.

3 Consumo humano directo. El resto de los productos vegetales representa el 40% restante. Aproximadamente el 50% de la alimentacion humana depende de 7 cereales, y el 40% de trigo y arroz.

Segun Ford-Lloyd y Jackson, 1986, y Poehlman, 1994.

Tabla 2. Ejemplo de la distribucion entre muestras de algunas especies cultivadas y silvestres en un banco de germoplasma

Especies	N. de muestras	% de silvestres	N. de especies
silvestres			
Triticum	5085	4,2	15
Hordeum	3330	3,2	15
Avena	511	4,1	8
Pisum	734	0,6	4
Solanum	2660	73,6	112
Beta	2058	1,9	7
Lactuca	1837	33,6	19
Allium	1001	3,0	6
Spinacia	363	2,8	2

Tomado de Soest y Boukema, 1994.