

TEMA 1

MEJORA VEGETAL Y RECURSOS FITOGENÉTICOS

1. Especies y variedades botánicas. Especie cultivada y variedad agrícola
2. Genes, herencia y variación
3. El desarrollo de nuevas variedades cultivadas
 - 3.1. Definición de variedad agrícola
 - 3.2. Definición de Mejora Vegetal
 - 3.3. Los objetivos de la mejora vegetal
4. Variación y mejora vegetal
5. Domesticación y mejora vegetal
6. Algunos fenómenos asociados a la domesticación: malas hierbas compañeras, cultivos primarios y secundarios, transdomesticación, plantas domesticadas y plantas protegidas.
7. Las vías evolutivas de la domesticación.
8. Vavilov, el origen de las plantas cultivadas y la distribución geográfica de la variación.
9. Después de Vavilov
10. Los recursos fitogenéticos
11. Erosión genética
12. El CGIAR y el IPGRI
13. Conservación de recursos fitogenéticos
14. Bancos de semillas
15. Colecciones vivas
16. Colecciones *in vitro*

Bibliografía

INTRODUCCIÓN A LA MEJORA GENÉTICA DE PLANTAS

Cubero, J.I.

Mundi-Prensa. Madrid. 2003.

capítulo 1.

PRINCIPIOS DE LA MEJORA GENÉTICA DE PLANTAS.

Allard, R.W.

Omega. Barcelona. 1967.

capítulo 2.

PLANT GENETICS RESOURCES

Esquinas-Alcazar, J. T.

En : Hayward, M. D., Bosemark, N. O. y Romagosa, I. (Eds). Plant breeding. Principles and prospects.

Chapman & Hall. Londres. 1993.

1. Especies y variedades botánicas. Especie cultivada y variedad agrícola

Desde el punto de vista genético, dos individuos pertenecen a la misma especie si tienen el mismo genoma, entendiendo por genoma la dotación básica de genes característica de una especie. Especies diferentes tienen genomas diferentes. En general, si dos poblaciones de plantas tienen el mismo genoma se pueden dar de forma constante apareamientos entre individuos de una y otra población, produciéndose descendencias normales y fértiles (capaces a su vez de reproducirse por vía sexual). Teóricamente, si no tienen el mismo genoma, los apareamientos son estériles o producen descendencias estériles. Según esto, el melón y la sandía, son especies diferentes, no sólo porque entre ambos grupos haya diferencias morfológicas de entidad, sino también porque los apareamientos entre melón y sandía son estériles.

En muchas plantas cultivadas y silvestres la especie botánica comprende poblaciones de plantas con demasiada heterogeneidad en sus caracteres sistemáticos de menor importancia, por lo que suele dividirse en subespecies, variedades botánicas, etc. Dentro de la especie estos subgrupos se distinguen entre sí por criterios morfológicos, aunque el criterio genético no los separe.

Las especies cultivadas son especies botánicas en las que algunas de sus poblaciones (a veces todas) están domesticadas. En algunos casos, la subdivisión de la especie cultivada en variedades botánicas da lugar a plantas cultivadas diferentes. Es el caso del cardo cultivado y la alcachofa. Ambos cultivos son formas domesticadas de la misma especie (*Cynara cardunculus*) pero el proceso de domesticación los separó en variedades botánicas diferentes, las cuales se constituyeron en cultivos diferentes. La coliflor, el brócoli, la col, las coles de Bruselas y el colinabo se consideran cultivos diferentes pero son variedades botánicas diferentes de la misma especie botánica, *Brassica oleracea*. Otro ejemplo, la acelga y las remolachas. Son cultivos y variedades botánicas diferentes pero pertenecientes a una sola especie botánica, *Beta vulgaris*. También la colza y el nabo son cultivos y variedades botánicas diferentes de una sola especie botánica, *Brassica napus*. De todas formas, no siempre que las formas domesticadas de una especie pertenecen a variedades botánicas diferentes se consideran plantas cultivadas diferentes. Es el caso del pimiento, melón, berenjena, cebada etc

Al margen de que la especie botánica se pueda subdividir en variedades botánicas, desde el punto de vista comercial los materiales cultivados se pueden subdividir en variedades agrícolas. Los términos variedad botánica y variedad agrícola no deben confundirse. La variedad botánica surge de la división de una especie en base a criterios morfológicos. La variedad cultivada surge de la división de las formas domesticadas que constituyen una planta cultivada en base a criterios agronómicos, tecnológicos, de utilización y comerciales.

2. Genes, herencia y variación

Al hilo de lo que se acaba de indicar, podríamos preguntarnos por qué dentro de una especie puede haber heterogeneidad (de hecho siempre la hay) si todos los individuos de la misma tienen el mismo genoma. Hemos indicado que el genoma es la dotación básica de genes característica de una especie. Pero ¿qué son los genes?

Los genes son los determinantes que rigen dos aspectos contradictorios de la naturaleza: la herencia y la variación. Por herencia entendemos la similitud entre los progenitores y sus descendientes. Por el contrario, la variación describe las diferencias entre progenitores y descendientes.

Durante mucho tiempo herencia y variación fueron dos de los mayores misterios de la biología. En efecto, ¿qué hace que las progenies se parezcan a sus

progenitores? ¿Por qué los descendientes de los lobos son siempre lobos, y nunca ovejas? ¿Qué hace que una especie sea como es? La respuesta es los genes, que son los determinantes que dictan las propiedades inherentes de una especie y que se transmiten de padres a hijos.

Pero al mismo tiempo, ¿qué provoca la variación dentro de una especie? ¿y dentro de una familia? ¿Por qué no hay dos lobos iguales, aunque vengan de la misma camada? La respuesta vuelve a ser la misma: los genes, puesto que un gen dado puede presentarse en distintos estados alternativos llamados alelos, que difieren unos de otros generalmente muy poco. Aunque cada gen cumple una función, ésta es realizada de forma variable según la variante alélica del gen. Por ejemplo, si un gen rige (a través de sus productos génicos) la síntesis de un pigmento, las variantes alélicas pueden realizar esa función con mayor o menor eficacia. Por tanto, aunque los genes de una especie son siempre los mismos, por ejemplo:

A B C D E F G H I J K L ...

cada uno de ellos puede presentarse en distintos estados alternativos:

A B C D E F G H I J K L ...
~~A~~ ~~B~~ ~~C~~ ~~D~~ ~~E~~ ~~F~~ ~~G~~ ~~H~~ ~~I~~ ~~J~~ ~~K~~ ~~L~~ ...
A **B** **C** **D** **E** **F** **G** **H** **I** **J** **K** **L** ...
A *B* *C* *D* *E* *F* *G* *H* *I* *J* *K* *L* ...
~~A~~ ~~B~~ ~~C~~ ~~D~~ ~~E~~ ~~F~~ ~~G~~ ~~H~~ ~~I~~ ~~J~~ ~~K~~ ~~L~~ ...
A B C D E F G H I J K L ...
.
.
.
.

De este modo, dos individuos de la misma especie, familia o incluso camada tienen los mismos genes, pero no necesariamente la misma composición alélica, siendo estas diferencias de matiz genético las responsables de la variación (junto con el ambiente) en el seno de la especie, familia o incluso camada.

Una matización importante: el término gen tiene un sentido amplio, si no hace referencia a una variante alélica concreta del mismo, y tiene un sentido restringido si se utiliza como sinónimo de alelo. La distinción entre uno y otro sentido la proporciona el contexto. El término alelo es inequívoco. Siempre hace referencia a variante concreta. Sin embargo, es muy frecuente utilizar gen como sinónimo de alelo.

3. La Mejora y su objetivo: el desarrollo de nuevas variedades cultivadas:

Una *variedad cultivada* es un conjunto de plantas cultivadas perteneciente a un solo taxón botánico del rango más bajo conocido (se refiere a una especie botánica, o en su caso a una variedad botánica) que se distingue de otros conjuntos análogos por determinados caracteres morfológicos, fisiológicos, citológicos, químicos, u otros de carácter agronómico o económico y que en la reproducción, sexual o asexual, conserva sus caracteres distintos.

Para ser reconocida como tal, la variedad debe ser distinta, estable y suficientemente homogénea. La variedad es distinta si se diferencia claramente de otras variedades de conocimiento público por uno o más caracteres importantes y poco

fluctuantes; es estable si conserva sus caracteres distintivos después de reproducirse o multiplicarse sucesivamente o al final de cada ciclo de reproducción; es suficientemente homogénea si las plantas que la componen, con exclusión de tipos aberrantes, cuyo número debe mantenerse dentro de unos límites razonables, son semejantes para el conjunto de los caracteres definidores. Un requisito adicional para que una variedad sea aceptada en los registros oficiales es haber demostrado su valor agronómico (que no es necesariamente alta producción) y tecnológico, conceptos que hacen referencia a los caracteres que la hacen de interés comercial.

Según su origen, podemos dividir las variedades cultivadas en dos grandes grupos: las variedades tradicionales (también denominadas locales o autóctonas) y las variedades de obtentor. Las primeras son antiguas variedades, que surgieron en regiones determinadas a consecuencia de la selección natural y de la selección artificial ejercida de forma intuitiva por los agricultores de dichas regiones. Aunque se hayan originado en una región concreta (de ahí lo de locales o autóctonas) pueden haberse introducido en otras, pudiendo ser la distribución geográfica de algunas de ellas muy amplia. Desde el punto de vista de la protección de la propiedad intelectual son variedades de dominio público. Las variedades de obtentor son el resultado del desarrollo de programas tecnológicos dirigidos por genetistas profesionales. Desde el punto de vista de la protección de la propiedad intelectual son variedades protegidas, siempre que así lo solicite su obtentor y durante un periodo de tiempo establecido por la legislación vigente.

El término *variedad cultivada* es equivalente al de *cultivar*, en el sentido de que a ambos se les aplica la definición expuesta, pero el primero tiene un campo semántico más amplio, ya que *cultivar* debe reservarse para aquellas variedades agrícolas de obtentor, que se registran en los organismos nacionales o internacionales creados para ello, con el objeto de garantizar la calidad de la semilla de siembra y hacer posible la defensa de los derechos de los obtentores. Una variedad local antigua se la podrá calificar de *variedad agrícola* si cumple los requisitos de la definición (es distinta, estable y homogénea), pero el grado de cumplimiento de los mismos puede ser más o menos laxo, y no debe hablarse entonces de *cultivar*.

Antes se ha indicado que las variedades de obtentor son el resultado de programas tecnológicos llevados a cabo por genetistas profesionales. Dichos programas se agrupan en una disciplina denominada *Mejora Genética Vegetal*, o simplemente *Mejora Vegetal*. A los genetistas profesionales antes aludidos se les denomina *mejoradores*. En rigor, la mejora vegetal es una actividad tan antigua como la agricultura misma. En efecto, desde que el hombre comenzó a cultivar las plantas comenzó a mejorarlas, ya que intuitivamente aplicó procesos selectivos a las poblaciones que manejaba. Estos procesos dieron lugar a cambios genéticos notables que hicieron que pronto lo cultivado se fuera diferenciando cada vez más de sus ancestros silvestres. La mejora siguió llevándose a cabo de forma intuitiva hasta nacimiento de la Genética como ciencia a finales del siglo XIX o principios del XX. A partir de ese momento la mejora de plantas se desarrollo de acuerdo a procesos sistemáticos basados en los principios científicos de la Genética. Estos principios han permitido dirigir de forma consciente y acelerada la actividad mejoradora.

Podemos definir la *mejora vegetal* como la actividad tecnológica cuyo objeto es el desarrollo de *nuevas* variedades que tengan *valor agronómico o de utilización suficiente*. Se considera que una variedad es *nueva* si posee una composición genética que la hace *distinta* a las variedades conocidas hasta el momento de su desarrollo. Ya se ha indicado el significado del término *distinta* al tratar la definición de variedad agrícola. Las nuevas variedades, además de ser *distintas* deben cumplir los otros dos

requisitos de la definición: *homogeneidad y estabilidad*. Por otra parte, una variedad tiene *valor agronómico o de utilización suficiente* si, por su composición genética, el conjunto de sus cualidades al cultivarse en una determinada zona representa, en comparación con otras variedades, una clara mejora, bien sea en relación con su cultivo, su productividad, su utilización o la de los productos que deriven de ella. La inferioridad de algunos caracteres agronómicos o de utilización puede quedar compensada por otros que se presenten como favorables.

Las nuevas variedades son el resultado de procesos de cambio genético dirigidos por mejoradores. Llegados a este punto se hace necesario hacer una matización semántica. En el lenguaje coloquial los términos *cambio y modificación* tienen significados similares. Para los genetistas, por convenio, no es así. Los organismos genéticamente modificados (OMG) son el resultado de un tipo especial de cambio genético, inducido mediante técnicas que pertenecen al ámbito de la denominada *Ingeniería Genética* o *Biotecnología* (términos utilizados como sinónimos en la actualidad), esto es, tecnología que hace uso del ADN recombinante artificial. Todas las variedades desarrolladas por mejoradores son el resultado de procesos de cambio genético, pero no todas son el resultado de procesos de modificación genética.

Ya se ha indicado antes que el objetivo genérico de la mejora es el desarrollo de nuevas variedades. Los objetivos concretos de cada programa de mejora son muy diversos. Tradicionalmente éstos se han agrupado en dos grandes bloques: incremento de la productividad y mejora de la calidad. En general, cualquier ventaja que incremente el beneficio que los cultivos pueden prestar al hombre *confiere valor agronómico o de utilización* en el sentido antes indicado, puede encuadrarse en un incremento del rendimiento o de la calidad, entendidos estos términos en sentido amplio, y entra dentro de los objetivos teóricos de la mejora. Los objetivos concretos susceptibles de ser mejorados por vía genética pueden ser muy diversos: **el incremento del rendimiento** (por ejemplo, el desarrollo de trigos enanos, mucho más productivos al ser capaces de asimilar más fertilizantes nitrogenados sin incrementar el riesgo de encamado), **la facilidad de manejo** (por ejemplo, en las especies frutales el enanismo facilita operaciones de cultivo tales como la poda, los tratamientos fitosanitarios y la recolección), **la resistencia a plagas y enfermedades (insectos, acaros, hongos y virus fitopatógenos...)**, **la tolerancia a factores adversos de naturaleza abiótica** (salinidad del suelo, la caliza activa, la sequía, el encharcamiento, altas o bajas temperaturas...), **la adaptación a las condiciones ecológicas específicas** de fotoperiodo, temperaturas, tipo de suelo, humedad etc., **la calidad** nutritiva de las cosechas, **la producción fuera de estación** (adelantar o atrasar las cosechas respecto a la época más normal o natural de las mismas) **la adaptación de las cosechas a la manipulación post-cosecha o a la transformación industrial**, **las propiedades organolépticas** (las percibidas por los órganos de los sentidos: coloración, texturas, uniformidad, sabores, aroma, etc.). La relación citada lo ha sido a título de ejemplo. Evidentemente no pretende ser exhaustiva. Cada especie tiene su propia problemática y singularidad, por tanto, el abanico de objetivos es muy amplio.

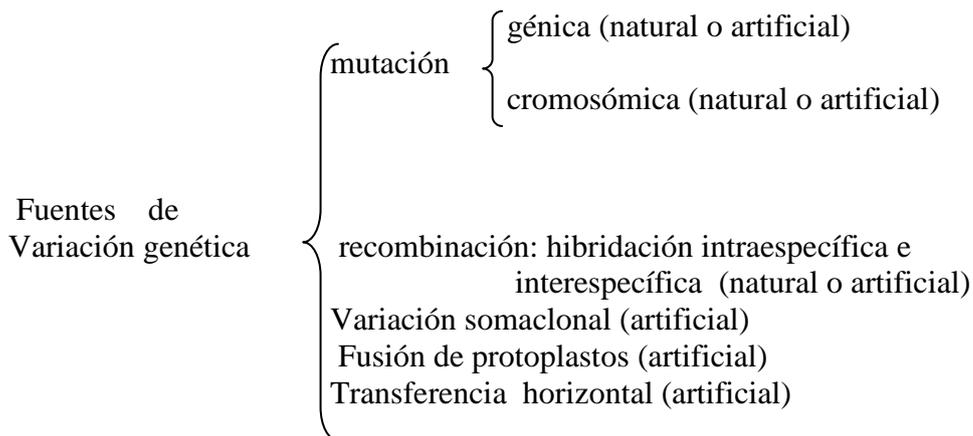
4. Variación y mejora vegetal

Por variación se entiende la existencia de diferencias en cuanto a la forma o función de algún atributo de una población o especie, es decir, la existencia de diversos fenotipos para un carácter dado entre los individuos de una población o entre las poblaciones de una especie. Puede ser debida a causas genéticas o ambientales. No toda la variación es pues heredable. La existencia de diferencias genéticas potencialmente expresables entre los individuos de una población o especie es la variación genética. La

variación genética es la materia prima de la mejora vegetal. La mejora no es posible sin variación genética.

La variación genética tiene dos niveles: variación alélica (existencia de alternativas alélicas en los genes) y variación genotípica (existencia de diversos genotipos con respecto a uno o varios genes). La variación alélica genera variación genotípica. La mejora consiste básicamente en seleccionar entre la variación genotípica disponible el genotipo o grupo de genotipos idóneos para el logro de un objetivo. Si no se dispone de variación genotípica el mejorador la puede generar a partir de la variación alélica. Pero si no hay variación alélica no se puede generar variación genotípica, y la mejora no es entonces posible. Por ejemplo, si las diferencias de expresión de un carácter dependieran a nivel genético de tres genes (A, B y C) y el patrimonio genético para cada uno en una población o especie fuera de cuatro formas alélicas (A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4,.....) el número de genotipos potencialmente generables es de 1000, si fuera de tres, 216, si fuera de dos, 16 y si fuera de uno, 1. A mayor número de genotipos potencialmente generables mayor es la posibilidad de encontrar una solución genética a un problema dado.

Para practicar la mejora, es necesario disponer de variación genética, bien porque previamente existe, o bien porque potencialmente es generable. ¿Cómo se genera la variación genética? El esquema siguiente lo resume.



5. Domesticación y mejora vegetal

El hombre realizó prácticas de mejora mucho antes de que esta pudiera ser considerada como una disciplina tecnológica con base científica. Desde su más remota antigüedad adquirió de forma empírica un conocimiento sobre la posibilidad de controlar la reproducción y sobre los efectos de la consanguinidad, y aplicó de forma intuitiva procesos selectivos a plantas y animales.

Los orígenes de la agricultura y de la mejora hace 10.000 años, son consustanciales. Cuando el hombre empezó a cultivar (cuidar) las plantas (hace 10.000 años), automáticamente empezó a domesticarlas. Las primeras plantas que el hombre cultivó las tomó de poblaciones silvestres. La fuerte presión de selección, ejercida de forma automática o intuitiva por los primeros agricultores, debió producir una notable variación que pronto permitiría distinguir lo cultivado (mejor dicho lo domesticado) de lo silvestre. La domesticación es un proceso evolutivo mediante el cual, a partir de plantas silvestres, se generan plantas domesticadas. Las primeras son formas naturales, útiles para el hombre, pero que presentan características que dificultan su cultivo. Las segundas son formas que han sustituido estas características por otras que lo facilitan.

Se trata por tanto de un cambio evolutivo (evolución en un ambiente creado, por el hombre).

Estrictamente los términos planta domesticada y planta cultivada no son equivalentes, aunque lo uno va asociado a lo otro. Como se acaba de indicar, la domesticación es un proceso evolutivo, y por tanto implica cambios genéticos, mientras que el cultivo de una planta hace referencia al esfuerzo del hombre por cuidarla. Una planta silvestre, es decir, no domesticada, puede ser cultivada, es decir, cuidada. Otra cosa es que las plantas domesticadas se dejan cultivar (cuidar) mejor que las silvestres.

La domesticación lleva consigo una serie de cambios fenotípicos y reproductivos asociados. Entre otros podemos citar los siguientes:

- disminución desgrane y dehiscencia
- aumento tamaño semilla
- aumento uniformidad maduración
- aumento fertilidad floral
- aumento tamaño y nº de inflorescencias
- sincronización de la floración
- aumento rapidez germinación
- supresión de mecanismos defensivos
- reducción de la fertilidad sexual
- cambios en la biología reproductiva

Ahora bien, la mejora vegetal no adquiere una sólida base científica hasta el nacimiento de la genética como ciencia. Los principios de la genética han permitido al hombre dirigir de forma acelerada los procesos de cambio genético. Llegados a este punto podemos entender otra definición clásica de la mejora genética: *la mejora es evolución dirigida por el hombre*, de forma inconsciente y lenta (domesticación) o de forma consciente y acelerada, mediante la aplicación sistemática de procesos basados en los principios de la Genética.

6. Las vías evolutivas de la domesticación.

Los caminos a través de los cuales las plantas silvestres han evolucionado hasta convertirse en domesticadas pueden ser clasificados en tres categorías principales: variación mendeliana, hibridación interespecífica y la poliploidía.

La variación mendeliana surge a partir de las mutaciones espontáneas. Las formas silvestres pueden haberse transformado en cultivadas a partir de macromutaciones. Por ejemplo, una sola mutación diferencia los maíces vestidos de los tipo desnudos comerciales. El repollo, la coliflor, el brócoli, las coles de Bruselas tienen grandes diferencias morfológicas con respecto a la col silvestre, de la cual derivan. Pero estas diferencias dependen de diferencias en unos pocos genes.

Otras veces la diferencia entre una forma silvestre y una cultivada es debida a la acumulación de mutaciones espontáneas. Por ejemplo, las formas silvestres de judía de Lima (*Phaseolus lunatus*) tienen semillas del tamaño de un grano de trigo. Las formas cultivadas tienen una semilla entre 10 y 100 veces mayor. En este caso las diferencias morfológicas se deben a diferencias en muchos genes, por aparición y acumulación de mutaciones de efectos pequeños pero sumables.

Hibridación interespecífica. Mediante esta vía las formas cultivadas se originan a partir de los productos de segregación derivados del cruzamiento de dos especies taxonómicas distintas. Por ejemplo, las formas cultivadas de peral se agrupan en *Pyrus comunis* y posiblemente derivan de cruzamientos interespecíficos entre especies silvestres tales como *P. caucasica*, *P. nivalis* y *P. syriaca*. Otro ejemplo, las formas cultivadas de manzano se agrupan en *Malus Comunis* y posiblemente derivan de

cruzamientos interespecíficos entre *Malus silvestris*, *Malus baccata* o *Malus sirversii*, siendo quizás ésta última la que más haya intervenido en la génesis de los manzanos cultivados.

Poliploidía. Mediante esta forma de evolución, las formas domesticadas se han generado ampliando el número de copias del genomio básico de la especie (autopoliploidía) o combinando los genomios de dos o más especies diferentes (alopoliploidía) cojugos enteros de cromosomas de una forma silvestre (o de otra cultivada) Como ejemplos de cultivos que se han generado por esta vía podemos citar el plátano, la patata, los trigos duros y harineros, y el tabaco.

Los plátanos cultivados son formas autotriploides (3X). Las formas silvestres diploides (2X) son incomedibles. Aquí X representa a un genomio constituido por X cromosomas.

Nuestra patata es un autotetraploide (4X) que procede de formas silvestres diploides (2)

Los trigos semoleros son formas alotetraploides (AABB) que reúnen dos copias del genomio A y dos copias del genomio B. Aquí por A se representa el genómico de la especie diploide *Triticum monococcum* (AA) y B el de una especie desconocida del genero *Aegilops* (BB). Los trigos harineros son formas alohexaploides (AABBDD) que reúnen dos copias de los genomios A, B y D, siendo este último el de la especie diploide *Aegilops squarrosa* (DD). A, B y D son genomios de tres especies diploides diferentes, de 7 cromosomas cada uno.

El tabaco ($2n=48$) es una especie alotetraploide procedente de las especies diploides *Nicotiana silvestris* ($2n=2x=24$) y *Nicotiana tomentosa* ($2n=2x=24$).

7. Las ideas vavilonianas sobre el origen de las plantas cultivadas y sobre la distribución geográfica de la variación.

¿Dónde se tuvo lugar la domesticación de nuestros cultivos?

Los primeros en ocuparse del problema fueron Darwin y De Candolle. La figura más conocida es, sin embargo, Nikolai Ivanovitch Vavilov, no sólo por su enorme contribución al problema y su repercusión posterior, sino por su gran personalidad y su desgraciado fin como consecuencia de una de las purgas de Stalin en la antigua URSS.

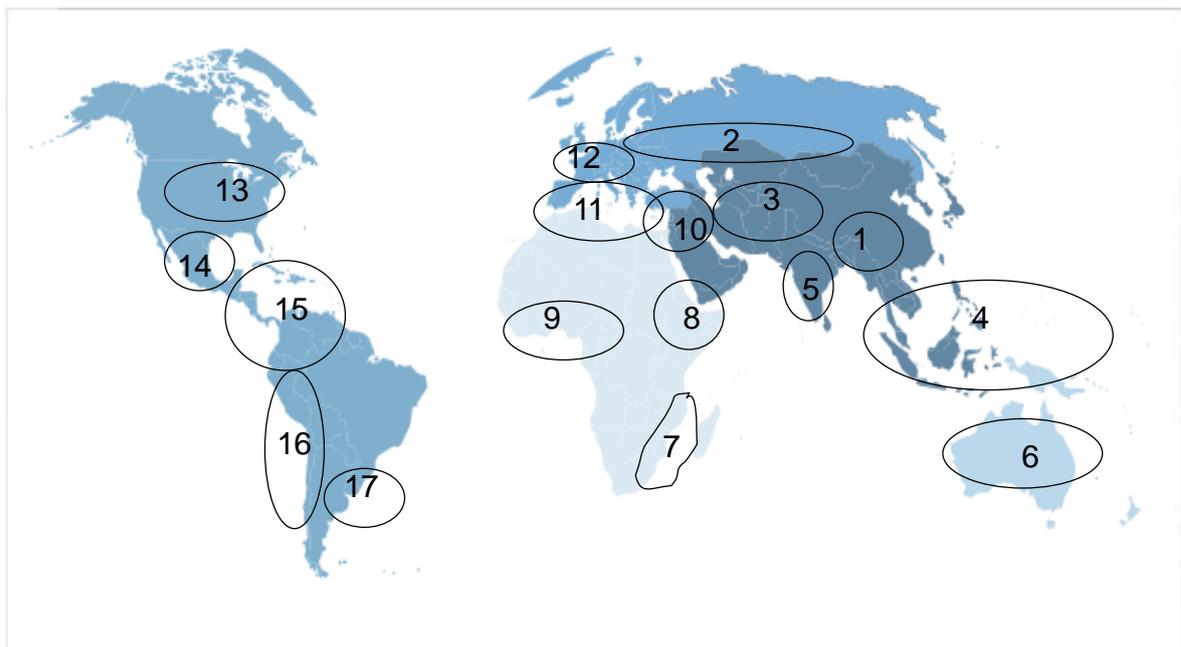
La respuesta a la cuestión ¿Dónde se tuvo lugar la domesticación de nuestros cultivos? es importante para el mejorador, ya que allí donde tuvo lugar la domesticación la evolución ha tenido más tiempo para actuar sobre las plantas cultivadas, acumulándose así una mayor cantidad de variación genética (MATERIA PRIMA) que en otras zonas donde la forma domesticada llegó más tarde. Hablamos entonces de regiones de diversidad. En cualquier caso Vavilov definió dos tipos de regiones de diversidad, los Centros de Origen, donde se domesticó la especie, y los centros secundarios, también ricos en diversidad, pero en las que no se domesticó la especie, sino que llegó allí en un tiempo relativamente corto desde su domesticación en el centro de origen, dándose también una notable diversificación de formas domesticadas.

Vavilov propuso la existencia de 8 grandes centros de diversidad para la mayoría de las especies cultivadas.



Después de Vavilov los centros Vavilonianos y sus límites han sido revisados reiteradamente, se han estudiado más cultivos, se han explorado regiones y se ha propuesto más teorías sobre la geografía de los orígenes de la agricultura, la domesticación y la diversidad genética de las especies agrícolas. En cualquier la repercusión de sus trabajos fue inmensa, y aún lo es. Mostró la extraordinaria importancia práctica del estudio de las colecciones de amplia base genética e indicó a donde hay que dirigirse en primer lugar para formar colecciones (a los Centros primarios y secundarios)

La figura y la relación siguientes muestran los centros de origen de algunas de las especies vegetales a la luz de los estudios actuales.



1. China

Melocotonero
Albaricoquero
Ciruelo Japonés
Cítricos
Arroz
Soja
Col china
Mijo

5. India

Cítricos
Arroz
Mijo
Berenjena
Pepino*
Melón*
G. arboreum
*G. herbaceum**
Mijo
Garbanzo
Lenteja

4. Sudeste asiático

Mango
Musa spp
Arroz
Cocotero
Caña de azúcar

3. Asia Central (Turkestan)

Albaricoquero
Almendro
Trigo
Cebada
Avena
Guisante
Lenteja
Garbanzo
Habas

2. Asia Central (Siberia)

Cáñamo
Agropyrum

7. África Oriental

Sorgo
Sandía
Pepino*
Melón*
*G. herbaceum**

8. Abisinia

Café
Sorgo
Trigo
Cebada
Avena
Garbanzo
Habas
Lentejas

9. África occidental

Sorgo
Arroz africano
Frijol africano

10. Oriente próximo

Ciruelo Europeo
Cerezo
Membrillero
Almendro
Trigo
Cebada
Avena
Centeno
Guisante
Garbanzo
Lentejas
Habas
Olivo
Granado
Vid
Higuera
Palmera datilera
Ajo
Cebolla
Lino
Alfalfa

11. Mediterráneo

Ajo
Cebolla
Zanahoria
Lechuga
Rábano
Cítricos
Frutales
Hortalizas

12. Europa

Manzano, Col, Colza y forrajeras

13. Norteamérica

Girasol
Fragaria virginiana
Prunus spp

14. Méjico

Maíz
Judías
G. hirsutum
Calabazas
Pimiento

15. America central y antillas

Aguacate
Piña
Batata
Cacao

16. América del sur (costa del Pacífico)

Chirimoyo
Patata
Tomate**
Pimiento
Judías
G. barbadense

17. America del Sur (Chaco)

Tabaco
Cacahuete

En azul: centro secundario

***Domesticados en la India
pero su origen botánico
está en África**

**** Domesticado en Europa
*G. = Gossypium***

9.- Los recursos fitogenéticos

Son recursos naturales constituidos por variedades locales y poblaciones naturales de plantas que han sido seleccionadas durante miles de años por los agricultores y por la naturaleza en base a su adaptación, productividad o resistencia. Son la materia prima que contiene los genes que debidamente utilizados y combinados por los mejoradores originan mejores variedades de plantas. Sin su uso, la mejora no sería posible. La mayor riqueza de los mismos se encuentra en los centros de origen y, en general, de diversidad.

Los recursos fitogenéticos son limitados y perecederos. Han sido definidos como la despensa del mundo. Si la alimentación es un derecho inalienable de la persona humana, es preciso considerar a los recursos fitogenéticos como patrimonio de la humanidad, y garantizar su libre disponibilidad lo cual exige su recolección, conservación, evaluación, documentación e intercambio.

10.- Erosión genética

Hasta la aparición de la agricultura hace 10.000 años, los procesos evolutivos aumentaron constantemente la diversidad genética dentro y entre especies. La aparición de la agricultura y su práctica tradicional hasta hace pocos años continuó favoreciendo la variabilidad genética de las especies cultivadas.

En los últimos años, una serie de factores como por ejemplo, la demanda de uniformidad en los mercados agrarios, la desaparición de pequeñas unidades de autoconsumo y la facilidad de producción, comercialización y transporte de nuevas y uniformes variedades comerciales han contribuido a la sustitución de un enorme mosaico de variedades locales, heterogéneas y primitivas, por variedades comerciales constituidas por genotipos uniformes. Todo ello ha provocado la interrupción e inversión del proceso de diversificación acumulada durante milenios (erosión genética).

El estrechamiento de la base genética de las especies cultivadas es un proceso irreversible (la variabilidad perdida es irrecuperable), aumenta la vulnerabilidad agrícola de las mismas y puede poner en peligro la seguridad alimenticia mundial. Un ejemplo, de entre los numerosos que podríamos citar, nos ayudará a comprender los riesgos que se derivan de este proceso de inversión de la diversificación genética:

A mediados del siglo XIX la patata constituía la base principal de la alimentación en Irlanda. La producción de patata estaba basada en un pequeño número de variedades comerciales procedentes todas ellas del material homogéneo traído de América Latina en el siglo XVI. Un ataque de *Phytophthora infestans*, al que resultaron susceptibles las variedades cultivadas, arrasó durante algunos años los campos y provocó la muerte de hambre de más de dos millones de personas. Para resolver el problema fue preciso la localización de fuentes de resistencia y la introducción de la misma en las variedades comerciales. Las fuentes de resistencia se encontraron entre los cultivares primitivos heterogéneos y las plantas silvestres de la región Andina, centro de diversidad de la especie.

Casos como éste se han multiplicado en los últimos años, debido a la conquista de los mercados por un pequeño número de variedades “multinacionales” uniformes, que han reducido sensiblemente la riqueza genética de algunas especies. Del ejemplo anterior podemos extraer dos conclusiones:

- la conveniencia de la ampliación de la base genética de los cultivos a nivel intervarietal, es decir, no limitar la producción agraria de una especie en un país a un reducido número de variedades

- la necesidad de coleccionar y conservar el material heterogéneo primitivo y silvestre (los recursos fitogenéticos) en sus centros de diversidad, antes de que se pierda.

11.- El CGIAR y el CIRF

El CGIAR (*Consultive Group on International Agricultural Research*) es un grupo consultivo que fue erigido en 1971 con el objetivo de promocionar, en el ámbito de la agricultura, el desarrollo tecnológico y la cooperación con los sistemas de investigación de los países en vías de desarrollo, con el fin de aliviar el hambre y la pobreza en los países más desfavorecidos. Coordina los esfuerzos internacionales, nacionales y regionales, públicos y privados para el sostenimiento de 13 centros autónomos de investigación agraria (tabla 4). Uno de los trece centros del CGIAR es el IPGRI (antes IBPGR), creado en 1974.

La función básica del IPGRI es organizar y estimular la constitución de una red internacional de centros para facilitar la recolección, conservación, documentación, evaluación y uso de los recursos filogenéticos.

12.- Conservación de recursos fitogenéticos

Básicamente, podemos hablar de dos modos de conservación de recursos filogenéticos: conservación *in situ* y conservación *ex situ*.

La conservación "*in situ*" consiste en favorecer, en aquellos sitios donde existe diversidad genética, el mantenimiento de la misma de forma espontánea. El establecimiento de parques o reservas naturales, además de permitir el mantenimiento de la integridad genética de las poblaciones, posibilita la continuidad de la dinámica evolutiva de los mismos en su ambiente natural. Esta forma de conservación está especialmente indicada para especies silvestres afines a las cultivadas, para especies forestales, pastos, forrajeras, aromáticas y medicinales..

1. CIAT	Centro Internacinal de Agricultura Tropical Cali, Columbia
2. CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo Mexico City, Mexico
3. CIP	Centro Internacional de la Papa Lima, Peru
4. IPGRI	International Plant Genetic Resources Institute Rome, Italy
5. ICARDA	International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas Aleppo, Syria
6. ICRISAT	InternationalCrops Research Institute for the Semi-Arid Tropics Hyderabad, India
7. IFRI	International Food Policy Research Institute Washington DC, USA
8. IITA	Internacional Institute of Tropical Agricultura Ibadan, Nigeria
9. ILCA	Internacional Livestock Centre for Africa Addis Abada, Ethiopia
10. ILRAD	Internacional Laboratory for Research on Animal Diseases Nairobi, Kenya

11. IRRI	Internacional Rice Research Institute Los Baños, Philippines
12. ISNAR	Internacional Service for Nacional Agricultura Research The Hague, Netherlands
13. WARDA	West Africa Rice Development Association Bouaké, Côte d'Ivoire

Tabla 4. Centros internacionales de investigación agraria asociados al CGIAR

La conservación *in situ* de cultivares primitivos o variedades locales de especies cultivadas podría realizarse incentivando a los agricultores para que siguieran explotando aquellos materiales que tradicionalmente han cultivado, pero la experiencia ha demostrado que este sistema no es realizable en la práctica. Para estos materiales el método más adecuado y seguro es la conservación “*ex situ*”.

La conservación *ex situ* consiste en la conservación de los recursos filogenéticos como colecciones de material vegetal mantenidos en centros especiales llamados bancos de germoplasma. Las colecciones de los bancos de germoplasma pueden ser:

- de semillas
- de plantas vivas o colección vivas
- de tejidos vegetales cultivados *in vitro*
- de polen
- de ADN

Por otra parte se han definido dos tipos de colecciones de germoplasma, colecciones *base* a largo plazo y colecciones *activas* a medio plazo. Las primeras son mantenidas en bancos de germoplasma como legado para generaciones venideras y no pueden ser extraídas del banco accesiones de la mismas, excepto para la realización de pruebas de viabilidad y subsiguiente regeneración (es obvio que el material almacenado, en la forma que sea, tiene una viabilidad más o menos limitada y por tanto deben ser regenerado a lo largo del tiempo), o a menos que la semilla de alguna accesión sea urgentemente requerida y no puede ser adquirida de ninguna otra fuente. En las colecciones activas, las muestras del material conservado pueden ser fácilmente enviadas a los investigadores o mejoradores que lo soliciten.

13.- Bancos de semillas

Tiene un gran interés, en cuanto a lo que la conservación se refiere, la distinción de semillas *ortodoxas* y *recalcitrantes*. Aquellas son las que pueden conservarse en condiciones de baja humedad y baja temperatura. Las recalcitrantes son las que no pueden desecarse sin pérdida de viabilidad ni mantenidas a baja temperatura sin sufrir daños graves. Ortodoxas típicas son las de leguminosas y cereales de climas templados (trigo, cebada, garbanzo, habas, etc.) y recalcitrantes son, entre otras, las de caña de azúcar, cocotero, té, caucho, castaño y cítricos. Solo se pueden conservar en bancos de semillas ortodoxas; las especies con semillas recalcitrantes han de conservarse por cualquier otro procedimiento, en particular mediante colecciones de plantas vivas y, en función de que sea posible, de cultivo de tejidos *in vitro*. Se estima que se han colectado y conservan en aproximadamente 1.300 bancos de germoplasma unos seis millones de muestras. Pero no todos los bancos ni todas las muestras se encuentran en condiciones óptimas.

Entre los factores a considerar en su establecimiento, son factores particularmente importantes la *condición* en la que se halla la semilla, que debe estar bien madura, haber sido recogida en planta sana, etc., y la *humedad* y la *temperatura* de

conservación. Las semillas deben conservarse en envases de cierre hermético al 5% de contenido en humedad de la semilla (en la práctica, entre el 7 y el 9%). La desecación de las semillas (sólo lo admiten, como ya se ha dicho, las ortodoxas) ha de ser gradual. Para la conservación *a largo plazo* se colocan en cámaras a -18°C o menos. En esas condiciones, la pérdida de viabilidad en semillas ortodoxas es muy lenta. Para las colecciones a medio plazo, basta utilizar cámaras a 0-4°C con las mismas condiciones de envasado.

Otro factor a considerar es la *dormancia*, sobre todo porque puede inducir a error sobre la viabilidad de las semillas.

Problema importante de todas las colecciones de semilla es su regeneración, es decir, la reposición de nuevas semilla en las colecciones procedentes de las muestras previamente conservadas. Las *autógamas* y las plantas de reproducción asexual por semillas no presentan más dificultades que las propias relativas al manejo de miles de muestra y de otras tantas parcelas en el campo. Las *alógamas*, aunque sólo lo sean parcialmente, presentan, por el contrario, dificultades casi insalvables en el caso de grandes colecciones, ya que las parcelas han de disponerse a bastante distancia unas de otras, o con anchas barreras de plantas entre ellas, para evitar que la semilla recogida proceda de la polinización generalizada entre todas las muestras sembradas en un mismo lugar. Además, ha de multiplicarse cada población con el número suficiente de individuos para evitar la deriva genética y la depresión por consanguinidad. En especies parcialmente *alógamas* puede ser conveniente conservar líneas puras derivadas por autofecundación del material original.

El mantenimiento a largo plazo permite, al menos teóricamente, conservar el germoplasma original sin modificaciones en la composición genética de las poblaciones recogidas. Periódicamente se deben tomar muestras para conocer el poder germinativo del material conservado. Por debajo de umbrales preestablecidos hay que regenerar las muestras correspondientes.

14.- Colecciones vivas

Muchas especies o no admiten la conservación de sus semillas (caso de las semillas recalcitrantes o de aquellas que tienen dificultades de tratamiento a causa de la dormancia, como mucho frutales de hueso y de pepita) o, aunque la admitan, requieren una conservación de la calidad de la variedad (por ejemplo la de una variedad de patata o de cualquier frutal) que se perdería si sólo se realizara la conservación en forma de semilla. En estos casos es necesaria la propagación asexual, a pesar de la complicación que conlleva y del gran espacio que con frecuencia requieren. Se conservan también propágulos como esquejes, rizomas, tubérculos, etc., pero en ningún caso existe una conservación semejante, en duración, a las de semillas ortodoxas.

Periódicamente, ha de regenerarse la colección injertando o plantando de nuevo propágulos escogidos de plantas características de cada una de las variedades conservadas. Este periodo de regeneración puede llegar a ser muy corto (18-20 meses como máximo en el caso de la patata), lo que obliga a un fuerte coste económico para el mantenimiento de las colecciones. Por ello, en tales casos, se buscan alternativas como las colecciones de cultivo *in vitro*.

15.- Colecciones *in vitro*

La puesta a punto de técnicas de cultivo de tejidos hizo pensar en su utilización para la conservación de germoplasma de difícil preservación por otras técnicas. Sólo

tienen sentido en el caso de que sea posible la regeneración de plantas completas por medio de cultivo de tejidos. Entre otras dificultades, la conservación *in vitro* presenta la necesidad de regenerar frecuentemente la colección mantenida *in vitro* para evitar el envejecimiento fisiológico y la aparición de mutantes en la masa del cultivo (variación somaclonal).

A pesar de todo, se ha tenido éxito en algunos casos como el de la mandioca, la patata y la batata. Hay que indicar que, por ahora, las colecciones *in vitro* no han eliminado a las colecciones en vivas, que se siguen manteniendo aunque se trabaje en la práctica diaria con aquellas. El complemento ideal a las colecciones *in vitro* sería su conservación a muy baja temperatura en nitrógeno líquido (criopreservación), de donde se obtendrían las muestras deseadas para regenerar plantas completas. Tal conservación sería teóricamente eterna. A pesar de los avances registrados en este campo, aun no existe la técnica necesaria para considerar la crioconservación como un método fiable de conservación de germoplasma.

Las colecciones de cultivo *in vitro* facilitan el control sanitario, la erradicación de enfermedades y el intercambio de germoplasma ya que permite el intercambio limpio de muchas enfermedades.