LOS RECURSOS FITOGENETICOS UNA INVERSION SEGURA PARA EL FUTURO

José T. Esquinas Alcázar

CONSEJO INTERNACIONAL DE RECURSOS FITOGENETICOS

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION (ESPAÑA)

CONSEJO INTERNACIONAL DE RECURSOS FITOGENETICOS

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION (ESPAÑA)

LOS RECURSOS FITOGENETICOS
UNA INVERSION SEGURA PARA EL FUTURO

José T. Esquinas Alcázar
Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos
División de Producción y Protección de Plantas
Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas - FAO
Via Terme di Caracalla
00100 Roma, Italia

Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias
José Abascal, 56. Tlfo. 441 31 93
MADRID - 3 (España)

MADRID - 1982

INDICE

Pág.

PREFACIO 5

INTRODUCCION 7

I LOS RECURSOS FITOGENETICOS. SU IMPORTANCIA Y EROSION CRECIENTE 18

II DISTRIBUCION DE LOS RECURSOS FITOGENETICOS 18

III. CLASIFICACION DE LOS RECURSOS FITOGENETICOS 18

1. Especies cultivadas 18
   a) Variedades comerciales 18
   b) Variedades locales tradicionales 18
   c) Líneas de mejora 18
   d) Otras combinaciones genéticas 18

2. Especies silvestres 22
   a) De uso directo 22
   b) De uso indirecto 22
   c) De uso potencial 23

IV SALVAGUARDIA Y UTILIZACION DE LOS RECURSOS FITOGENETICOS 24

1. Recolección del material 24

2. Conservación del material 27
   a) Especies de reproducción por semilla 27
   b) Especies de reproducción vegetativa 28

3. Rejuvenecimiento y multiplicación del material 29

4. Evaluación del material 30

5. Documentación y banco de datos 33

6. Intercambio de muestras 33

AGRADECIMIENTOS 34

APENDICE: Centros de Diversidad de las Plantas Cultivadas 35

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 41

INDICE DE CUADROS

Pág.

CUADRO 1: Vulnerabilidad genética de algunos cultivos 15

INDICE DE ILUSTRACIONES

Pág.

FIGURA 1: Comienzo de la Agricultura 13

FIGURA 2: Prácticas de labranza primitivas 13

FIGURA 3: Diversidad morfológica en cebada 14

FIGURA 4: La mecanización creciente exige variedades uniformes 14

FIGURA 5: Producción de nuevas variedades comerciales 19

FIGURA 6: Variabilidad genética de las patatas en su centro de diversidad . . 19

FIGURA 7: Dibujo de una planta de Tarwi sobre una cerámica pre-inca de hace más de 1.400 años 20

FIGURA 8: Transferencia de resistencia a roya de un *Triticum* silvestre a trigos cultivados 20

FIGURA 9: Distribución de los Centros de Diversidad de las Plantas Cultivadas 21

FIGURA 10: Toma de muestras y recogida de información en el campo 25

FIGURA 11: Banco de germoplasma 25

FIGURA 12: Almacenamiento de semillas en recipientes cerrados al vacío . . . 26

FIGURA 13: Reserva natural en América Latina 26

FIGURA 14: Cultivo de tejidos 31

FIGURA 15: Pruebas de germinación de semillas 31

FIGURA 16: Multiplicación de muestras 32

FIGURA 17: Caracterización y evaluación de cultivares 32

PREFACIO

Durante mis numerosos viajes de trabajo por los países de habla hispana, en relación con los recursos fitogenéticos, he echado de menos una publicación que sin abandonar el rigor científico pueda servir para clarificar conceptos y concienciar a las organizaciones y autoridades competentes de la grave responsabilidad en que puede incurrir nuestra generación si no se toman a tiempo las medidas necesarias para proteger estos recursos de la fuerte erosión a que se encuentran sometidos como consecuencia del progresivo desarrollo técnico, agrícola e industrial.

Con ocasión de la inauguración del primer banco español de germoplasma, he preparado en lengua castellana este trabajo que tiene como objetivos:

- Mostrar la importancia de los recursos fitogenéticos como recursos naturales que proporcionan la materia prima necesaria para la obtención de nuevas variedades de plantas cultivadas.

- Alertar sobre la erosión creciente de estos recursos en los últimos años y la necesidad de salvaguardar lo que aún queda.

- Presentar una clasificación de los recursos fitogenéticos orientada a su uso práctico.

- Proporcionar información básica sobre la recolección, conservación, evaluación, documentación e intercambio de los recursos fitogenéticos.

INTRODUCCION

Los recursos fitogenéticos son recursos naturales limitados y perecederos, que proporcionan la materia prima o genes que debidamente utilizados y combinados por los técnicos en genética vegetal originan mejores variedades de plantas.

Estos genes se encuentran dispersos en cultivares locales y poblaciones naturales de plantas, que han sido seleccionados a lo largo de miles de años por los agricultores y la naturaleza, por sus características de adaptación, resistencia y/o productividad. Sin el uso de estos recursos en los centros de investigación agrícola aplicada, la mejora de variedades no sería posible.

En los últimos años, la aparición de nuevas tecnologías, la substitución de variedades locales por variedades importadas, la colonización de nuevas tierras, los cambios en las técnicas de cultivos, etc., están provocando una rápida y profunda erosión en los mencionados recursos que puede llevar a la extinción de un material de valor incalculable y que apenas ha sido explotado. La erosión genética afecta tanto a las especies cultivadas como a muchas especies silvestres de uso agrícola, directo, indirecto o potencial.

Un incremento contínuo en la producción y calidad de los alimentos pasa por la protección y eficaz utilización de los recursos fitogenéticos y ello exige su recolección, conservación, evaluación, documentación e intercambio.

I. LOS RECURSOS FITOGENETICOS. SU IMPORTANCIA Y EROSION CRECIENTE

La edad de la Tierra se calcula en unos 5.000 millones de años. La aparición de los primeros vestigios de vida en nuestro planeta se remonta a más de 3.000 millones de años. La aparición de la especie *Homo sapiens* es un hecho relativamente reciente que ocurre hace menos de un millón de años. La agricultura es un fenómeno más moderno que nace cuando el hombre empieza a cultivar plantas silvestres de valor alimenticio apenas hace 10.000 años (Figura 1), impulsando un proceso evolutivo que ha originado innumerables cultivares muy adaptados a sus condiciones locales y que constituyen hoy una reserva inestimable de materia prima genética.

Hasta esta última etapa los procesos evolutivos sobre la tierra habían tenido como único control la selección natural que actuaba sobre la variabilidad genética existente, que a su vez era producida por fenómenos tales como las mutaciones, las migraciones y las recombinaciones. Con la aparición de la agricultura, comienza la domesticación de aquellas especies que tienen mayor interés para el hombre y la selección natural actúa ahora acompañada por la selección "artificial". Ello trae como consecuencia que la ulterior evolución de estas especies ocurra en función y al servicio del hombre.

Aunque con gran probabilidad la agricultura se inició independientemente en diversos puntos de la tierra, es en el Cercano Oriente y en la América Central donde mejor se conoce el proceso. Las primeras plantas domesticadas fueron cereales, leguminosas y otras utilizadas por sus frutas o raíces. De estos cultivos depende aún hoy la alimentacion en el mundo. Los primeros agricultores sedentarios también domesticaron especies locales como es el caso del sorgo y del mijo en Africa. Estos y otros cultivos se han extendido y adaptado hasta sus límites ecológicos actuales, transportados mediante movimientos migratorios, primero, y a través de rutas comerciales, despues.

A medida que los primeros cultivos se extendían a nuevas regiones, encontraban grandes diferencias de clima, suelo y otros factores ambientales. Las barreras geográficas naturales separaron y aislaron con frecuencia poblaciones agrícolas. Las variantes genéticas que aparecieron dentro de ciertas poblaciones evolucionaron libre e independientemente; algunas de estas variantes crecieron como malas hierbas en los cultivos o en sus alrededores y terminaron originando poblaciones aún más variables, capaces de tolerar condiciones extremas de frío, sequía, plagas y enfermedades.

Así pues, miles de años de selección realizada por los agricultores y la naturaleza, han producido variedades y genotipos locales adaptados a los distintos lugares y a prácticas culturales (Figura 2) que a su vez venían determinadas por el clima y otros factores ambientales. Hoy el espectro de variación apreciable es enorme y esta variación visible esconde una diversidad genética aún mayor. (Figura 3).

A la variación intervarietal es preciso agregar una gran diversidad genética intravarietal que es la causa de la conocida heterogeneidad morfológica de las variedades primitivas. Esta heterogeneidad existe también en otras características no tan fácilmente observa-

bles como la resistencia a enfermedades, la adaptación local, el contenido en aceites y proteínas, la composición de aminoácidos, etc.

Hasta fechas relativamente recientes y según queda reflejado más arriba, se ha favorecido un incremento constante de la diversidad; sin embargo, en los últimos años numerosos factores han contribuido a invertir drásticamente esta tendencia. El desarrollo industrial y la consecuente migración de la mano de obra agrícola hacia la industria junto con la separación cada vez más acusada entre los centros de producción y de consumo, tienden a eliminar las unidades de producción agrícola autosuficiente, y dan una nueva dimensión al transporte y a la comercialización de los productos agrarios. Procesos ambos que se favorecen con la homogenización y la normalización de las variedades cultivadas. Por otra parte, la mecanización creciente (Figura 4) de las actividades y labores agrícolas necesita de variedades con características uniformes en sus exigencias de cultivo, épocas de cosecha, etc. También la mecanización de los procesos de post-cosecha está basada en máquinas diseñadas para modelos universales de plantas y frutos.

Siguiendo la demanda del mercado, los mejoradores de plantas, las casas comerciales de semillas y el Estado mismo, han aunado sus esfuerzos para proporcionar nuevas variedades uniformes y generalmente más productivas con las cuales poder sustituir un enorme mosaico de variedades locales heterogéneas y primitivas más adaptadas a las necesidades de otra época. Este fenómeno que es prácticamente independiente del sistema político imperante, está ocurriendo o ha ocurrido en los países en vías de desarrollo, o ya desarrollados del Este y del Oeste.

No podemos olvidar, sin embargo, que el punto de partida del fitomejorador son las variedades heterogéneas de antaño. Es en ellas donde inicia su labor hacia la creación de nuevas variedades mediante una paciente y cuidadosa selección de plantas portadoras de las características deseadas. Después, mediante un largo proceso de cruzamientos, autofecundaciones y nueva selección en la descendencia, combina todas estas características en una sola variedad comercial y uniforme. Esta variedad sobre todo en plantas autógamas y en especies de reproducción vegetativa, se repite generación tras generación y su evolución es prácticamente nula. Podemos decir que ha quedado fijada en un molde determinado por el propio mejorador.

La mejora de plantas basada en cruzamientos dirigidos y no en la simple selección de genotipos procedentes de cruces comerciales en los campos de cultivo, comenzó en los siglos XVIII y XIX en Europa. A principios del siglo XX la mayor parte de las zonas cultivables de las industrializadas Europa y América del Norte, estaban sembradas de variedades que habían sido obtenidas o seleccionadas por fitomejoradores profesionales (Figura 5). Hasta los años 40, sin embargo, este proceso apenas había afectado a las regiones que contenían la máxima diversidad genética, situadas en zonas más cálidas.

Hacia 1950 un masivo y amplio desarrollo agrícola financiado en gran parte por programas de ayuda internacional, comienza a reducir las áreas dedicadas a variedades locales primitivas y la necesidad de conservar la variabilidad genética que aún queda, empieza

a ser reconocida. Esta necesidad se hace más patente cuando en los años 60, millones de hectáreas en Asia y Cercano Oriente, donde se encuentran los centros de diversidad de los cultivos más importantes, eran sembradas de variedades semienanas comerciales de trigo, al mismo tiempo que nuevas variedades de arroz estaban siendo introducidas en las llanuras del Sudeste Asiático y los modernos métodos de cultivo se extendían en América del Sur y Africa.

Nadie puede negar hoy en día que con una población mundial creciente y subalimentada, la introducción de variedades mejoradas uniformes y productivas es realmente esencial. Hemos de tener en cuenta, no obstante, que la mayor parte de estas variedades "multinacionales" modernas han sido especialmente obtenidas para responder mejor a nuevos y más costosos métodos de cultivo, con riego, fertilizantes, control de malas hierbas y otras aportaciones adicionales de energía, siendo la coadaptación entre las nuevas variedades y estos métodos de cultivo la que permite los altos rendimientos que hacen la nueva tecnología posible y rentable. Es por ello que en un mundo donde se encarece la energía, y los abonos y plaguicidas empiezan a escasear, no podemos avanzar ciegamente por este atractivo, pero caro e incierto camino, sin tener la seguridad de que los procesos desencadenados son controlables y reversibles; esto implica que muestras de las variedades tradicionales sustituidas sean conservadas adecuadamente para su posible uso futuro.

Las variedades tradicionales son a menudo capaces de soportar condiciones que dañarían seriamente muchas variedades modernas, lo cual les confiere una mayor estabilidad productiva. Su valor potencial para la humanidad, ahora y en el futuro, radica fundamentalmente en los genes que contienen que no son sólo fuente de caracteres tales como resistencia a enfermedades, calidad nutritiva y adaptabilidad a condiciones ambientales adversas, sino también de caracteres que aunque no reconocidos actualmente, pueden un día ser considerados invalorables. En el pasado las variedades primitivas y poblaciones silvestres afines han sido una fructífera fuente, a veces la única, de resistencia a plagas y enfermedades, de adaptaciones a ambientes difíciles y de otros caracteres agronómicos como el porte enano en arroz y otros cereales que han contribuido a la revolución verde en muchas partes del mundo. Con la pérdida de una variedad primitiva se elimina de modo irreversible la diversidad genética en ella contenida.

Desde un punto de vista más teórico, la importancia de mantener la diversidad genética, tiene su fundamento en las relaciones internas del binomio selección-variación. En efecto, la base de toda selección es la variación. Seleccionar es elegir una alternativa y ésto sólo es posible cuando hay varias opciones, o sea cuando existe variación. Del mismo modo toda selección genética exige la existencia de una variación genética previa. Cuanto mayor es la variedad genética existente en una población, tanto mayor es el margen de acción reservado a la selección, sea natural (motor direccional de la evolución) o artificial (motor direccional de la mejora).

FISCHER (1930), es el primero en cuantificar y mostrar matemáticamente estos principios. AYALA (1965; 1968), ha probado experimentalmente la correlación positiva

entre la cantidad de variación genética y la velocidad a la que ocurren los cambios evolutivos. Del mismo modo, se puede establecer la dependencia existente entre la eficacia de la mejora genética de una población y la variación genética para el carácter que pretendemos mejorar en dicha población.

Numerosos ejemplos experimentales de utilización con éxito de la variabilidad natural de las poblaciones nos los proporcionan FALCONER (1964), BREWBAKER (1964), LERNER (1958; 1968), y otros. A veces la selección se ha practicado experimentalmente en dos direcciones opuestas sobre distintas líneas derivadas de una misma población; WOODWORTH *et al.* (1952), seleccionaron para alto y bajo contenido en proteínas y grasas durante 50 generaciones en una población de maíz, consiguiendo líneas extremas con el 19,5 % y el 4 % respectivamente en proteínas y con el 15,4 % y el 1 % en grasas.

La tendencia a eliminar la diversidad genética contenida en las variedades locales primitivas, conduce a hipotecar la creación de futuras variedades adaptadas a imprevisibles necesidades del mañana. La enumeración de algunos ejemplos que conllevan problemas capaces de poner en peligro las economías nacionales de los países afectados, nos pueden ayudar a comprender mejor la trascendencia de todo lo anterior.

Ejemplo 1: Uno de los casos más trágicos que se recuerdan ocurrió en la década de 1840 -1850 cuando más de dos millones de irlandeses morían de hambre como consecuencia de un ataque violento y masivo de tizón (*Phytophthora infestans*) que dejó arrasados los cultivos de patata. La patata había sido la base principal de la alimentación en Irlanda durante los siglos precedentes. La causa remota del desastre fue la estrecha base genética de los tubérculos sembrados en este país, procedentes de material uniforme traido de América Latina en el siglo XVI. (HAWKES, 1979).

Para resolver el problema fue preciso localizar genes de resistencia al tizón e introducirlos en las variedades comerciales utilizadas. Dichos genes fueron encontrados en cultivares primitivos y poblaciones silvestres de los centros de diversidad en el área andina (América Latina) (Figura 6). Este ejemplo y algunos de los siguientes muestran el peligro de basar la producción nacional de un cultivo en un pequeño número de variedades uniformes y relacionadas entre sí. También muestra la necesidad de disponer o tener acceso a material primitivo heterogéneo donde buscar las resistencias y características deseadas.

Ejemplo 2: En 1970 se extendió en Estados Unidos una enfermedad del maíz producida por el *Helmintosporio maydis*. Los efectos del ataque se manifestaron discriminadamente en ciertos maizales que se perdieron por completo, mientras otros, contiguos a los anteriores, se mantenían sanos. En algunos Estados del Sur las pérdidas fueron superiores al 50 %. Pronto se observó que todos los maizales afectados procedían de semillas híbridas

Figura 1.- La agricultura comenzó hace unos 10.000 años. Este cuadro muestra un rodal de tierra en el Cercano Oriente, donde diversas especies de cereales han sido sembradas juntas.

Figura 2.- Durante miles de años, las prácticas de labranza primitivas permitieron el uso de variedades locales heterogéneas.

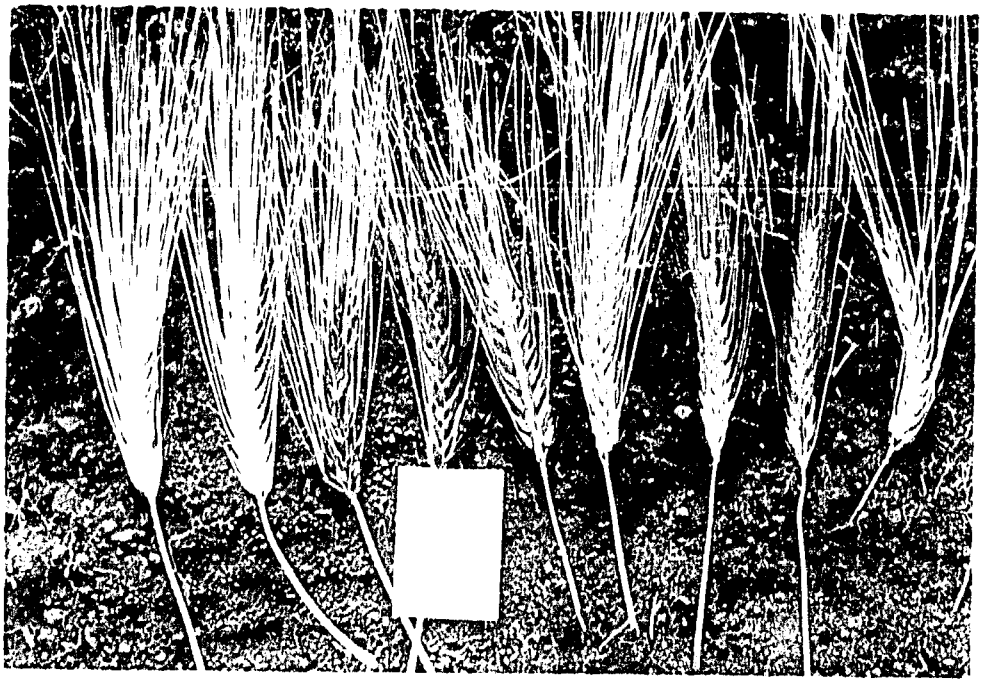

Figura 3.- La diversidad morfológica de los cultivares primitivos encierra una variabilidad genética aún mayor.

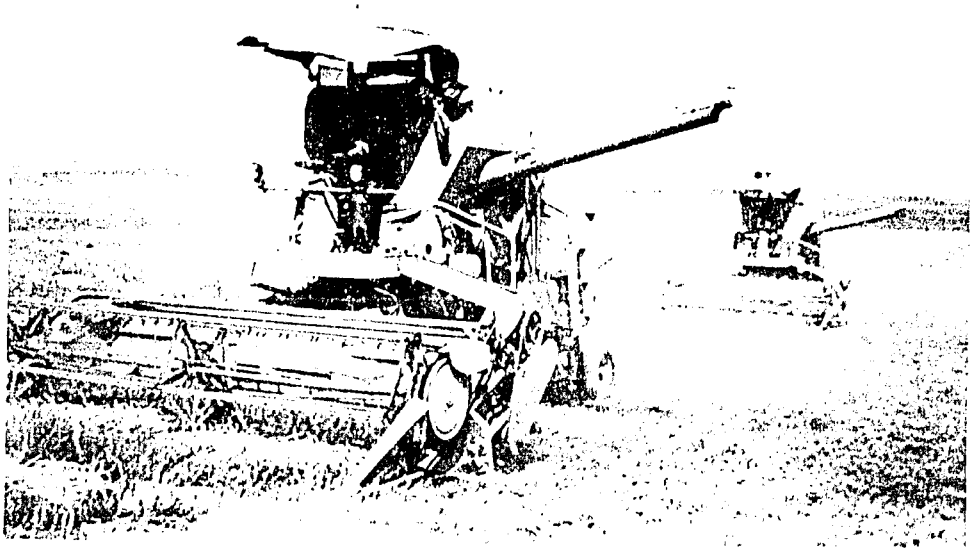

Figura 4.- La mecanización creciente de las tareas agrícolas exige variedades con características uniformes, provocando la sustitución de las variedades locales heterogéneas.

producidas mediante androesterilidad citoplasmática. La deficiencia tecnológica que dio motivo a la gran vulnerabilidad de todos estos híbridos, fue que en todos ellos se había introducido el citoplasma "Texas" muy susceptible a dicha enfermedad. El problema pudo resolverse rápidamente gracias a la existencia de materiales similares en calidad y rendimiento pero con genes de resistencia a la enfermedad. La catástrofe podía haberse evitado si la producción hubiese estado basada en una mayor diversidad genética.

Se trató de un caso extremo que provocó una gran conmoción en el ámbito científico de los Estados Unidos. La Academia Nacional de Ciencias designó un comité de expertos con la misión de analizar la vulnerabilidad genética de los principales cultivos. El informe emitido, de indudable trascendencia, fue publicado en 1972 (National Academy of Science 1972), y en base al mismo ha sido posteriormente definida la política nacional en esta materia.

Ejemplo 3*: Durante el año agrícola 1979-80 Cuba ha perdido sobre la cosecha estimada, más de un millón de toneladas métricas de azúcar por un valor aproximado de quinientos millones de dólares USA debido a un fuerte ataque de roya (*Puccinia melanocefala*). Esta dañó sobre todo a la importante variedad comercial Barbados 4362 que representaba por sí sola casi el 40 % del total sembrado y que ha resultado ser muy susceptible a la mencionada enfermedad. El problema ha afectado también drásticamente a otros países del Caribe que basaban su producción en esta variedad.

En este caso el uso de fungicidas resulta antieconómico y la solución consiste en la sustitución de las variedades afectadas por otras resistentes. También pueden introducirse genes de resistencia en las variedades susceptibles.

Ejemplo 4:** El tarwi (*Lupinus mutabilis*), es uno de los cultivos andinos que ha constituido la base de la alimentación de los campesinos de origen Inca durante milenios (Figura 7). El tarwi, por su alto contenido protéico, es esencial en la dieta del indígena. Las variedades locales cultivadas para el autoconsumo familiar, han sido inconscientemente seleccionadas a través de muchas generaciones por la calidad y cantidad de sus proteínas (hasta 40 %). Aunque ésto tiene menos interés para el campesino, el tarwi es también rico en grasas (hasta 26 %).

---

* Información obtenida por el autor en una reciente visita a Cuba.

** Información proporcionada a título personal por el Dr. Mario Tapia, Cuzco, Perú.

En 1977 se instaló a unos 80 km al sur de Lima, una fábrica para la extracción de aceites a partir del tarwi. Y durante dos años se estimuló la producción comercial de este cultivo. Los campesinos sustituyeron sus semillas, la mayor parte de las veces muy variadas y bien adaptadas a sus necesidades dietéticas, por nuevas selecciones que presentaban mejores características para la extracción de aceites. La fábrica cerró en 1979 y los campesinos se vieron obligados a utilizar las nuevas variedades para su alimentación. En muchos casos dos años bastaron para perder definitivamente el germoplasma que durante miles de años y muchas generaciones se había seleccionado para consumo humano.

Afortunadamente algo de esta pérdida se evitó por haberse recogido y alamacenado muestras de variedades locales.

En un país que posee una enorme superficie con condiciones andinas, igual camino pueden recorrer otras especies de gran valor alimenticio como la quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ollucus tuberosa*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*). Lo más grave de todo ello es que la variabilidad perdida es ya irrecuperable. Es por eso importante la recolección de muestras del material existente y su mantenimiento en almacenes o bancos de germoplasma, asegurando su disponibilidad en el futuro.

Innumerables ejemplos (HARLAN, 1975; MOONEY, 1979) además de los citados más arriba, están surgiendo cada vez con más frecuencia en todo el mundo en desarrollo, cuando ya es demasiado tarde para lamentarse. El incremento de casos registrados en los últimos años es una consecuencia de la conquista de los mercados nacionales e internacionales por un pequeño grupo de variedades uniformes para cada especie, que han estrechado dramáticamente la base genética de los cultivos más importantes. En el Cuadro 1 se hace un análisis cuantitativo de la situación de algunos de estos cultivos en Estados Unidos y Canadá.

Si las autoridades competentes de muchos países comprendiesen el valor económico y social inestimable de sus limitadas reservas naturales, entre las que ocupan un primerísimo lugar los recursos genéticos, no regatearían esfuerzos para salvaguardarlos. El valor de las minas como sede de la materia prima para la producción de productos minerales manufacturados, fue reconocido desde muy antiguo; la importancia del petróleo como fuente natural inestimable de energía, ha sido reconocida en fechas muy recientes; la importancia de los recursos genéticos naturales como fuente de genes de valor incalculable para su uso por las generaciones venideras, no ha sido aún reconocida en toda su magnitud y mañana puede ser ya demasiado tarde.

Al principio de la década de los años sesenta, los organismos internacionales comenzaron a preocuparse seriamente por la pérdida de los recursos genéticos en el mundo y

CUADRO 1

Vulnerabilidad de algunos cultivos importantes en Estados Unidos y Canadá. Número de variedades principales y tanto por ciento de la producción total basada en las mismas. (según P.R. MOONEY, 1979)

CULTIVO	VARIEDADES	%
	ESTADOS UNIDOS	
Mijo	3	100
Algodón	3	53
Soja	6	56
Judías secas	2	60
Judías verdes	3	76
Guisantes	2	96
Maíz	6	71
Patatas	4	72
Batatas	1	69
	CANADA	
Trigo panificable	4	76
Lino	4	92
Colza	4	96
Avena	4	65
Cebada	3	64
Centeno	4	81

en 1961 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), convocó una reunión técnica que condujo a la creación en 1965 de un Cuadro de Expertos en Prospección e Introducción de Plantas. Este grupo coordinó las actividades de la FAO en materia de germoplasma durante varios años, y dio lugar a la aparición en 1974 del Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (CIRF)*. El CIRF que trabaja en estrecha colaboración con la FAO, y cuyas oficinas centrales se encuentran en la sede de la FAO en Roma, es una de las organizaciones del Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales y su misión consiste en la creación de una red internacional de instituciones nacionales y regionales dedicadas a la conservación de recursos genéticos de interés agrícola, así como en promover el uso de los mismos para producir variedades mejores, movilizando asistencia técnica y financiera cuando sea necesario.

Este aldabonazo a la conciencia internacional ha tenido su eco a muchos otros niveles. En los últimos años numerosos países y grupos de países a lo largo y ancho del mundo han creado en su seno centros o unidades de recursos genéticos con la misión de conservar y utilizar la diversidad existente en las especies de interés agrícola dentro del territorio de su competencia.

* En inglés IBPGR

II. DISTRIBUCION DE LOS RECURSOS FITOGENETICOS

La variabilidad genética de las plantas cultivadas no está distribuida al azar por toda la tierra. VAVILOV en la década 1920 - 1930 identificó por primera vez ciertas zonas con características fisiográficas similares, donde existe la máxima variabilidad para las especies cultivadas más importantes. Los estudios realizados posteriormente no han introducido modificaciones sustanciales en el mapa de distribución propuesto por VAVILOV, (1926 y 1951). Según D. ZOHARY (1970), los principales centros de diversidad de las plantas cultivadas son: América Central y México, Area Andina, Area Mediterránea, Asia Central, Brasil y Paraguay, Cercano Oriente, Chile, China, Etiopía, India e Indo-Malasia (Figura 9) y la distribución de las especies más importantes en estos centros está presentada en el Apéndice.

III. CLASIFICACION DE LOS RECURSOS FITOGENETICOS

Los recursos genéticos vegetales utilizados o potencialmente utilizables por el hombre pueden agruparse en las siguientes categorías:

1. Especies cultivadas

a) *Variedades comerciales:* Son las variedades o cultivares normalizados y comercializados que, en general, han sido obtenidas por fitomejoradores profesionales. La mayoría de ellos se caracteriza por una gran productividad cuando son sometidos a sistemas de cultivos intensivos que requieren fuertes inversiones (con fertilizantes, riegos, plaguicidas, etc.) y por una uniformidad que les confiere una gran vulnerabilidad genética y falta de homeostasis.

b) *Variedades locales tradicionales:* Son variedades o cultivares primitivos que han evolucionado a lo largo de los siglos o incluso milenios y en los que han influido de forma decisiva las migraciones y la selección tanto natural como artificial. Existe una gran diversidad entre y dentro de estas variedades, que estando adaptadas a sobrevivir en condiciones desfavorables, tienen producciones bajas pero constantes propias de las agriculturas de subsistencia.

c) *Líneas de mejora:* Es el material (F_1, F_2, productos de recruzamiento, etc.), obtenido por el fitomejorador como subproducto de su programa. Estas líneas suelen tener base genética estrecha por ser originadas en general, a partir de un pequeño número de variedades o poblaciones.

d) *Otras combinaciones genéticas:* Bajo esta categoría incluimos los mutantes génicos, cromosómicos y genómicos producidos natural o artificialmente y, en la mayor parte de los casos, conservados en las colecciones de los fitomejoradores. Este material puede tener valor en sí mismo o como instrumento en manos del fitomejorador. Ejemplo de este último caso son los genes marcadores y los individuos trisómicos o monosómicos.

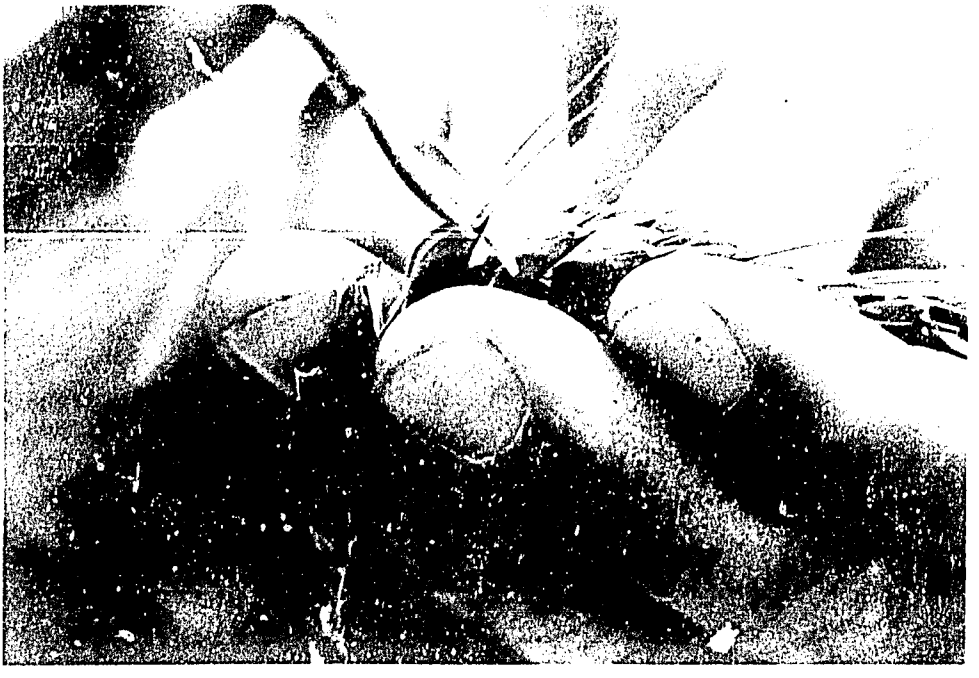

Figura 5.- Las nuevas variedades comerciales son producidas por fitomejoradores profesionales mediante técnicas de selección y cruzamiento.

Figura 6.- Frente a la estrecha base genética de las patatas europeas, la variabilidad genética en su centro de diversidad, en América Latina, es asombrosa.

Figura 7.- El tarwi (*Lupinus mutabilis*) ha constituido durante milenios la base de la alimentación protéica en el área andina. Aquí se observa el dibujo de una planta de tarwi sobre un vaso ceremonial de cerámica de la cultura pre-inca Wari, fabricado hace más de 1.400 años.

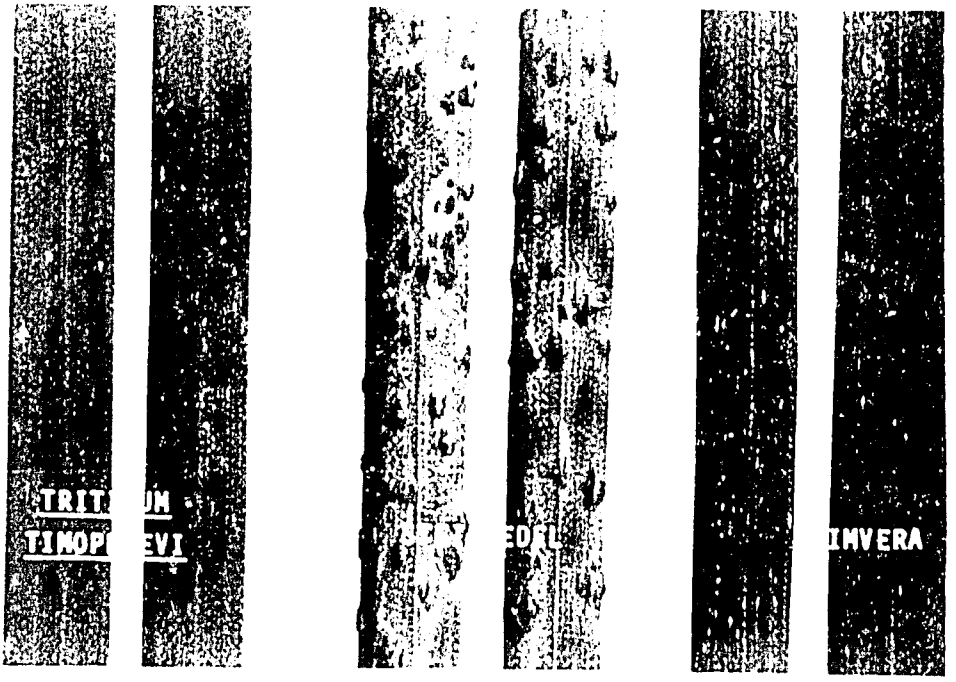

Figura 8.- Los genes contenidos en los parientes silvestres de las plantas cultivadas pueden ser utilizados por el hombre para obtener mejores variedades. En el centro se muestran hojas de una variedad cultivada de trigo afectada gravemente por la roya del tallo. A la izquierda una especie silvestre de *Triticum*, resistente a esta enfermedad. Y a la derecha un híbrido de ambas especies al que se ha transferido la resistencia de la segunda.

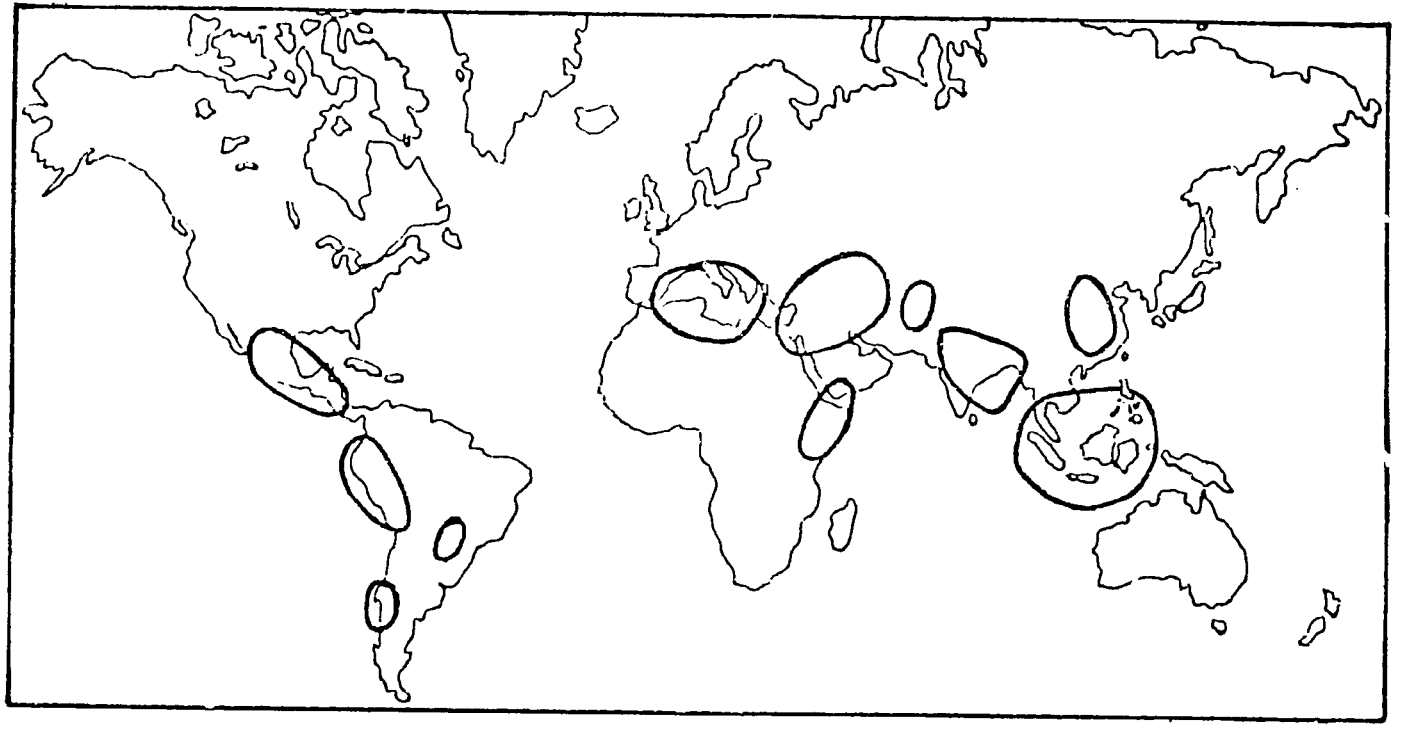

Figura 9.- Distribución de los Centros de Diversidad (Centros de Origen *sensu* Vavilov) de las plantas cultivadas.

2. Especies silvestres

a) De uso directo: Se trata de especies silvestres que el hombre utiliza pero no siembra ni cultiva. La erosión genética en esta categoría no se produce al azar sino discriminadamente contra el material más valioso. En efecto en las poblaciones naturales de estas especies el hombre selecciona y consume las plantas que poseen los caracteres más codiciados. En muchas ocasiones este consumo lleva consigo la destrucción de las semillas o de las plantas antes de la producción de aquellas, desencadenando una selección negativa que acaba por eliminar en pocas generaciones dichos caracteres.

Un caso típico de esta categoría son las numerosas especies silvestres de *Durio* spp. que crecen en Malasia e Indonesia y alcanzan 20 metros de altura; los nativos derriban los árboles más productivos para coger sus frutos. También en el caso de las especies arbóreas madereras, los individuos de mejor porte y calidad son los primeros en ser eliminados. Otro ejemplo viene presentado por las especies forrajeras de reproducción sexual, existentes en pastos naturales sometidos a explotación intensiva; el ganado elimina antes de la producción de semillas los ejemplares más apetitosos. En estos tres ejemplos se produce una drástica selección en contra de las plantas portadoras de los caracteres más deseables.

b) De uso indirecto: Son especies silvestres o asilvestradas afines a las especies cultivadas, que poseen caracteres hereditarios beneficiosos que pueden ser utilizados por sus parientes cultivados (Figura 8).

En las especies de reproducción por semilla los caracteres deseados pueden ser transferidos a los cultivos mediante cruzamientos sexuales. Cuando la afinidad entre la especie silvestre y la cultivada no es suficiente para permitirnos dichos cruzamientos, se puede recurrir a cruzamientos somáticos y a técnicas de cirugía genética cada vez más a nuestro alcance. Un ejemplo sobresaliente es el género *Lycopersicon* que está integrado por las especies silvestres afines al tomate. Estas especies que en general cruzan bien con el tomate cultivado (*L. esculentum*), han sido ya utilizadas con éxito como donantes de genes de resistencia a hongos (*L. hirsitum, L. pimpinellifolium* y *L. peruvianum*), de resistencia a virus (*L. chilensa* y *L. peruvianum*), de resistencia a nemátodos (*L. peruvianum*), de resistencia a insectos (*L. hirsitum*), de mejora de calidad (*L. chmielewskii*), de adaptación a ambientes adversos (*L. cheesmanii*), etc. (J.T. ESQUINAS ALCAZAR, 1981a). Otros ejemplos importantes los proporcionan especies silvestres afines a la patata, al arroz, al girasol, a la caña de azúcar, etc., que han resuelto diversos problemas de estos cultivos.

En las especies de reproducción vegetativa los parientes silvestres de las plantas cultivadas, en general más rústicos que éstas, pueden a veces ser injertados y utilizados como patrones. Este sistema permite extender el cultivo a áreas marginales con condiciones edafoclimáticas adversas que no serían toleradas por la especie cultivada.

Así el *Poncirus trifoliata* utilizado como patrón de diversos citrus cultivados proporciona a éstos mayor resistencia al frío. Este método tambien permite evitar ciertas enfermedades infecciosas que penetran a través de las raíces y a las que son sensibles ciertas plantas cultivadas, mientras que son resistentes algunas de sus especies silvestres afines. Este es el caso de la *Vitis labrusca* y otras vides silvestres americanas que se utilizan como patrones de la vid cultivada (*Vitis vinifera*) para combatir la *Philoxera vastatrix.*

c) *De uso potencial:* Son especies que hoy no se utilizan pero que sus características o composición hacen probable su utilización en el futuro. Este es el caso de algunas especies silvestres de crecimiento rápido a las que la crisis energética actual ha abierto grandes perspectivas de utilización como productores rentables de agroenergía. También entran en esta categoría muchas especies silvestres que tras ser analizadas en laboratorios farmacéuticos han mostrado un contenido en ciertas sustancias medicinales, superior al de las especies utilizadas tradicionalmente para la obtención de estos productos.

Dentro de las especies cultivadas, la categoría de **variedades comerciales**, incluyendo aquéllas que están obsoletas, han sido y continúan siendo utilizadas para la obtención de nuevas variedades. Constituyen un acervo genético valioso, pero bastante limitado debido a su uniformidad y a la estrecha relación existente entre ellas. HARLAN (1975), cita algunos ejemplos de epidemias en los que se demuestra dramáticamente los peligros de una extrema homogeneidad genética. En general, las variedades comerciales están bien representadas en las colecciones existentes.

En los últimos años la máxima atención se ha dirigido a **variedades locales tradicionales** por dos razones: la riqueza de la variación genética potencialmente útil que contienen, y la rapidez con que están desapareciendo al ser sustituidas por variedades comerciales. Con algunas excepciones, estas variedades no están ni mucho menos adecuadamente representadas en las colecciones existentes, debido a que: 1) En muchas colecciones se da más importancia a las líneas puras y al material de selección. 2) Muchas de las poblaciones recolectadas en el campo han sido sometidas a selección antes de ser almacenadas, reduciendo su variabilidad genética. 3) La mayoría de las colecciones han sido tradicionalmente mantenidas mediante multiplicaciones periódicas en pequeños campos colindantes con la consiguiente erosión genética debida a las hibridaciones, a la selección natural y a la deriva genética propia de las pequeñas poblaciones.

Se ha prestado poca atención a la conservación de las **especies silvestres de uso directo, indirecto o potencial** porque se pensaba que estaban menos amenazadas; desgraciadamente, esto ha dejado de ser verdad en muchos casos, y factores tales como la colonización agrícola e industrial de nuevos territorios, la deforestación intensiva de bosques naturales, el uso de herbicidas, el incremento de sustancias nocivas en la atmósfera, etc., modifican drásticamente los equilibrios ecológicos existentes en ciertas áreas y ponen en peligro la diversidad genética e incluso la propia existencia de muchas especies silvestres útiles o utilizables.

IV. SALVAGUARDIA Y UTILIZACION DE LOS RECURSOS FITOGENETICOS

La salvaguardia y utilización de los recursos fitogenéticos en peligro, exige su recolección, conservación, multiplicación, evaluación, documentación e intercambio.

1. Recolección del material

Para la mayor parte de las especies, el material que ha de recogerse son semillas, si bien en otros casos puede tratarse de bulbos, tubérculos, raíces, plantas enteras, o incluso granos de polen, dependiendo de las características de la especie y del modo en que vaya a ser conservado el material.

El equipo de recolección debe poseer amplios conocimientos de botánica, de genética de poblaciones y de mejora de plantas, sin que el criterio de una de estas disciplinas prevalezca sobre las otras. Es también importante que los recolectores estén familiarizados con las especies objeto de recolección, y conozcan bien el país o región donde se efectúa la expedición.

Un capítulo importante en la recogida de material es la toma de muestras. Una muestra debe ser representativa de la variabilidad genética de la población. Las principales decisiones que deben adoptarse son:

a) Número de plantas que han de recolectarse en cada lugar;
b) Distribución de dichas plantas;
c) Número de lugares en que se colectará dentro de una área determinada; y
d) Distribución de dichos lugares.

Las respuestas no son siempre las mismas. Se debe tener muy presente que los objetivos últimos son colectar la máxima variabilidad genética y obtener, si es posible, muestras que mantengan las frecuencias alélicas de las poblaciones o variedades recolectadas. A veces estos dos objetivos pueden entrar en conflicto, exigiendo una respuesta que dependerá en cada caso de sus circunstancias concretas.

Durante la toma de muestras se deben tomar también una serie de datos de campo que incluyan las características climáticas y edafológicas y el tipo de vegetación del lugar de recolección. Estos datos acompañarán a las muestras en el futuro y pueden ser de gran utilidad a los mejoradores.

La información procedente de los agricultores de la zona de recolección puede tener un valor insustituible (Figura 10), como lo demuestra el siguiente ejemplo: Durante una misión de recolección de quinua (*Chenopodium quinoa*) en las salinas de Garci Mendoza, departamento de Oruro, Bolivia, en 1964, el Ing. J. Rea del IBTA y su equipo, encontraron una quinua de grano negro, que no había sido descrita anteriormente. El equipo colector pensó que se trataba de una enfermedad y cuando solicitaron información a los campesinos de la región, la sorprendente respuesta fue que esta

Figura 10.- Durante la toma de muestras la información proporcionada por los agricultores puede ser de gran importancia

Figura 11.- Los bancos de germoplasma no son más que almacenes de semillas con condiciones ambientales controladas que permiten mantener el poder germinativo del material conservado.

Figura 12.- Para su conservación durante largos períodos de tiempo las semillas "ortodoxas" son desecadas y almacenadas en recipientes especiales cerrados al vacío.

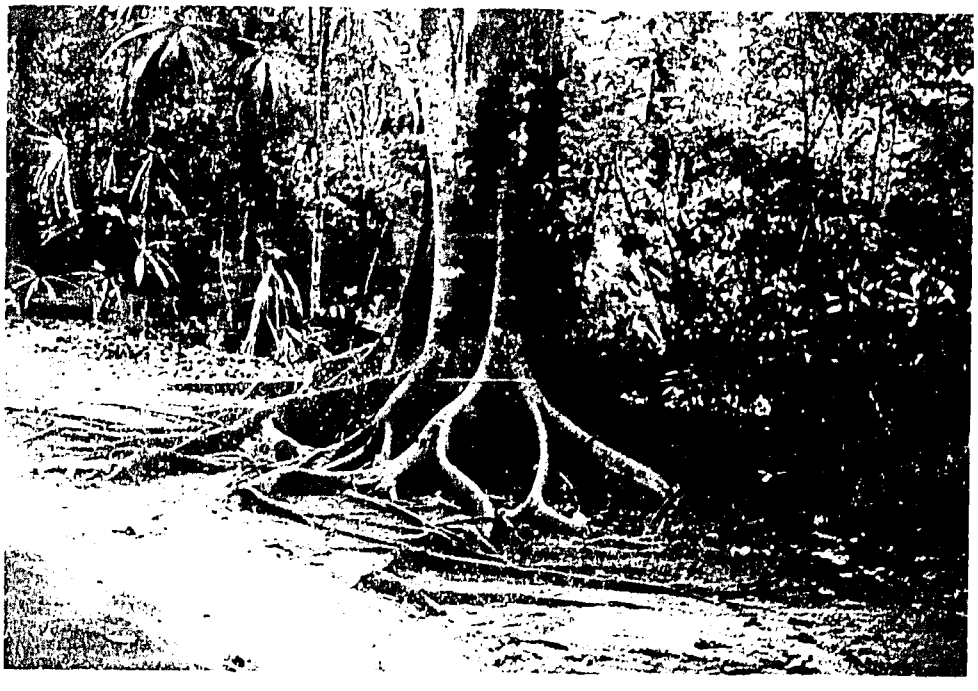

Figura 13.- El germoplasma de especies de reproducción vegetativa puede conservarse en jardines botánicos o reservas naturales.

quinua negra se utilizaba para curar a los tuberculosos. Las semillas obtenidas fueron analizadas en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú; en la Universidad Técnica del Altiplano, Puno, Perú; y en la Estación Experimental de Patacamaya, IBTA, Bolivia, y todos los resultados confirmaron que las semillas de la quinua negra encontrada tenían un contenido en proteínas de aproximadamente el 19 % frente a menos del 14 % de las demás quinuas colectadas. Aunque la composición de aminoácidos no ha sido aún estudiada, existen razones para creer que el contenido en aminoácidos esenciales de la quinua negra es también superior al de otras quinuas*.

2. Conservación del material

De nada sirve obtener o colectar el germoplasma, si no podemos conservarlo en condiciones de propagación indefinida. Esta debe ser la actividad central de un banco de germoplasma (Figura 11).

Si bien no existen dudas entre los científicos especializados en el tema sobre la importancia de conservar indefinidamente las poblaciones o variedades independientemente de su valor aparente, existe cierta controversia en el caso de las líneas de mejora (F_1, F_2, productos de retrocruzamiento, etc.) obtenidas por el fitomejorador como subproductos de su programa. Se trata de un material que puede ser valioso, si bien con una base genética estrecha por proceder en última instancia y en la mayor parte de los casos de muy pocas variedades o poblaciones. El enorme número de líneas o muestras que a veces existen de este material plantea problemas de espacio. La tendencia actual es que las líneas de mejora se mantengan en la colección de trabajo del fitomejorador, reservando las cámaras frías para las poblaciones o variedades originales en las cuales suponemos que están representados todos los genes introducidos en las líneas de mejora.

Por razones de seguridad deben conservarse duplicados de las colecciones en varios bancos de germoplasma.

Las necesidades de conservación y el tratamiento que se ha de aplicar, varían mucho según se trate de especies que se reproducen por semillas o de aquéllas de reproducción vegetativa.

a) Especies de reproducción por semilla

J. HARRINGTON (1963), estableció que en la mayor parte de las semillas procedentes de las plantas cultivadas, puede inducirse un aumento predecible de su longevidad disminuyendo la temperatura y humedad de su almacenaje. ROBERTS (1973), acuñó el nombre de "ortodoxas" para las semillas que tienen este tipo de comportamiento y que toleran una disminución significativa de su contenido en humedad y el nombre de "recalcitrantes" para aquéllas que no toleran este trata-

---

* Información proporcionada verbalmente por el Ing. J. Rea, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Bolivia.

miento, pues la reducción de su humedad interna provoca procesos químicos irreversibles que originan la muerte de las semillas.

El IBPGR (1976), aconseja que las semillas "ortodoxas" almacenadas a largo plazo sean conservadas en recipientes cerrados al vacío (Figura 12), con un contenido de humedad interna de aproximadamente el 6 % y a una temperatura ambiente de −18°C. Según ROBERTS y ELLIS (1977), estas condiciones permiten mantener una buena viabilidad de dichas semillas durante un siglo o más.

El período de viabilidad de las semillas "recalcitrantes" oscila entre unas semanas y varios meses. Entre los cultivos que producen este tipo de semillas, hay algunos de gran interés económico como el café, el cacao, el coco, el caucho, etc. (CHIN, 1978; CHIN y ROBERTS, 1980; ROBERTS, 1975; SYKES, 1978; WANG, 1974 y 1975). Es por tanto importante encontrar técnicas alternativas que permitan prolongar su período de conservación. Algunas técnicas, aún en fase experimental son:

i) Conservar las semillas completamente embebidas en agua a temperatura normal (VILLIERS, 1975).
ii) Mantener las semillas a una humedad relativamente alta, pero en el extremo frío de la escala térmica, en nitrógeno líquido (−196°C) por ejemplo (SAKAI y NOSHIRO, 1975).
iii) Utilizar inhibidores de la germinación.
iv) Conservar los granos de polen, si bien este sistema tiene el inconveniente de que cuando queremos reconstruir las plantas, necesitamos utilizar óvulos (o sea la mitad de la información genética) de otra población que esté disponible en ese momento. Esta dificultad puede desaparecer con el perfeccionamiento de las técnicas de cultivo de polen y posterior duplicación del número de cromosomas.

Un problema general de la conservación de semillas es el tamaño mínimo de las muestras a conservar. Esto depende de factores como las frecuencias alélicas y grado de heterocigosis de la población. En poblaciones polimórficas la probabilidad de incluir todos los alelos presentes en la población aumenta con el tamaño de la muestra. En general, las principales limitaciones de tamaño proceden del espacio disponible y de las posibilidades de manejo de las muestras, más que de otras consideraciones teóricas.

b) Especies de reproducción vegetativa

Mención aparte merece la conservación de cultivos de reproducción vegetativa, como es el caso de los frutales, las alcachofas, las fresas, las patatas, etc. Una característica de estas especies cultivadas es que la naturaleza y el agricultor han seleccionado durante siglos no sólo genes, sino también las combinaciones alélicas más "convenientes" en genotipos muy heterocigóticos, que se mantienen gracias al sistema de reproducción vegetativa utilizada para su propagación. Son estos geno-

tipos y no sólo los genes que los integran, los que nos interesan y no es por tanto suficiente guardar las semillas, que al proceder de parentales heterocigóticos producirían una alta segregación con la aparición de nuevos genotipos y la pérdida del genotipo inicial. Algunas de las soluciones adoptadas para resolver este problema son:

i) Mantenimiento de colecciones de crecimiento vegetativo* en campo, como es el caso de un arboretum, un jardín botánico o una reserva natural (Figura 13).
ii) Mantenimiento de estaquillas, bulbos o tubérculos en condiciones de humedad y temperatura controladas. Este sistema para almacenaje prolongado está aún en una fase muy prematura de experimentación.
iii) Usando técnicas de cultivo de tejidos (Figura 14), (HENSHAW y GROUT, 1977; G. MOREL, 1975; IBPGR, 1980). Estas técnicas, aunque incipientes para la mayoría de las especies, se están desarrollando rápidamente y se utilizan ya en forma comercial para algunas especies. Un ejemplo de su uso sistemático es el programa de conservación e intercambio de germoplasma de patata en el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú. Otro programa similar para germoplasma de yuca está empezando a funcionar en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia.

3. Rejuvenecimiento y multiplicación del material

La pérdida del poder germinativo de las semillas almacenadas obliga a su rejuvenecimiento periódico. Este período varía naturalmente con la especie, y en algunas especies como la lechuga y la cebolla puede cambiar mucho con la variedad de que se trate. Las diferencias son enormes según se trate de especies de semillas "ortodoxas" o "recalcitrantes", ya que como dijimos anteriormente, las últimas no admiten la desecación necesaria para una conservación prolongada.

Para determinar los períodos mínimos de rejuvenecimiento, las pruebas de germinación son imprescindibles (Figura 15).

Antes de perder el poder germinativo y a medida que la semilla envejece, las mutaciones aumentan y si se espera demasiado para rejuvenecer el material, la estructura genética de la población puede variar.

La multiplicación de semillas puede también ser necesaria para poder abastecer la demanda de muestras por parte de los fitomejoradores.

Las técnicas para multiplicar o rejuvenecer las poblaciones evitando la contaminación

---

* El autor no considera correcto el uso de la expresión "in vivo" para designar las colecciones que crecen vegetativamente en el campo. Este término, aunque universalmente aceptado, parece implicar que otros tipos de colecciones como las de semillas no fuesen vivas.

genética deben tener en cuenta las características reproductivas de cada especie y fundamentalmente el porcentaje de alogamia, (Figura 16).

Conviene que el lugar donde se multiplique el material tenga características ecológicas similares a aquel en que fue recolectado, con el fin de evitar una selección indeseada que puede alterar las frecuencias alélicas e incluso eliminar los individuos más sensibles a ciertos factores edafo-climáticos. La elección del lugar de multiplicación es especialmente importante en especies exigentes en fotoperíodo, integral térmica o vernalización.

Las decisiones sobre el número mínimo de semillas necesarias así como la elección de la técnica y lugar adecuados para multiplicar o rejuvenecer el material deben ser tomadas en cada caso por personal especializado, para reducir al mínimo la pérdida de la variabilidad genética inicial.

Por último, es muy importante aprovechar el proceso de rejuvenecimiento o multiplicación del material para eliminar virosis y otras enfermedades infecciosas. Las técnicas de cultivos de meristemos pueden ser muy importantes para este propósito (IBPGR, 1980).

4. Evaluación del material

Los apartados anteriores se han dedicado a la recolección y mantenimiento de los recursos fitogenéticos; con ello, es cierto, podemos evitar su desaparición. Sin embargo, y para poder utilizarlos con la máxima eficacia, es preciso conocer lo que tenemos o sea evaluarlo (Figura 17). La evaluación de una población comienza en el momento de su recolección y no termina nunca.

Mientras que debido a la erosión genética el plazo que tenemos para colectar y conservar es mínimo, el tiempo para evaluar es mucho más flexible. Se puede hacer más o menos rápido dependiendo de las necesidades o de los medios disponibles. Puede abarcar uno o varios de los muchos aspectos posibles: agronómico, morfológico, bioquímico, citológico, etc. Puede hacerse en una o varias etapas. Puede llevarse a cabo por el fitogenetista, el botánico, el bioquímico, el agrónomo, etc. No obstante, cuanto antes se haga y más completa sea, más útil será y más pronto será rentable la inversión inicial.

Como caracteres para describir una población, podemos utilizar todos los datos disponibles, desde los recopilados por el colector hasta aquellos procedentes de la última evaluación. Todos ellos pueden también ayudarnos a detectar duplicaciones y diferencias entre las muestras conservadas.

El término "descriptor" se emplea cada vez con más frecuencia al referirse a cada uno de aquellos caracteres considerados importantes y/o útiles en la descripción de una población. Los "descriptores" varían con la especie y también varían según sean seleccionados por fitomejoradores, botánicos, genetistas o expertos en otras disciplinas. Los

Figura 14.- Las técnicas de cultivo de tejidos abren un campo nuevo a la conservación de germoplasma.

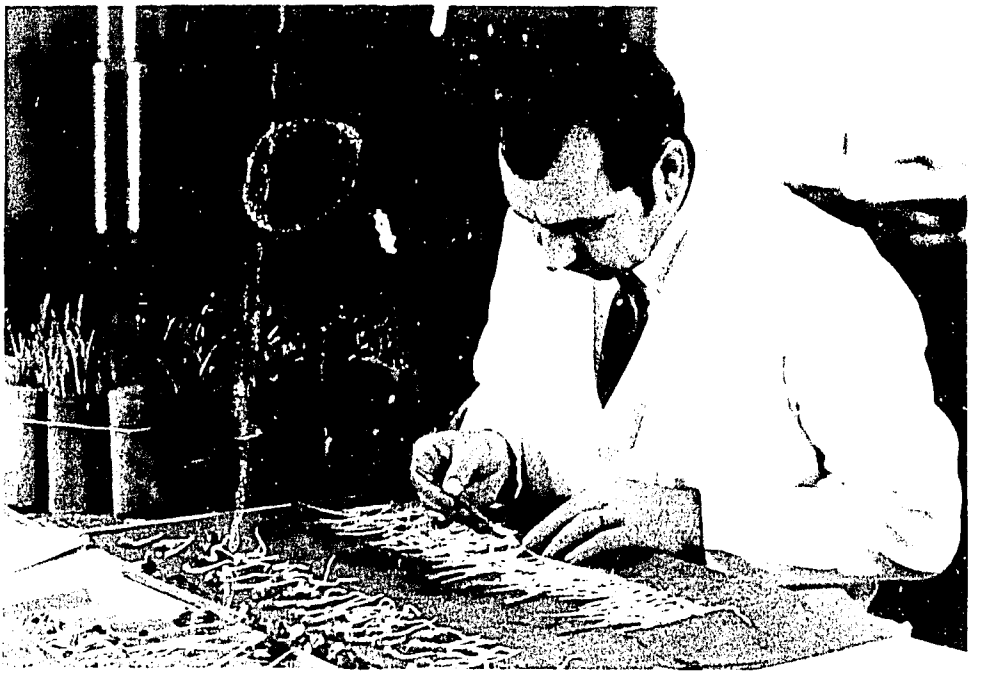

Figura 15.- Las pruebas periódicas de germinación son imprescindibles para saber el momento en que debe rejuvenecerse el material almacenado.

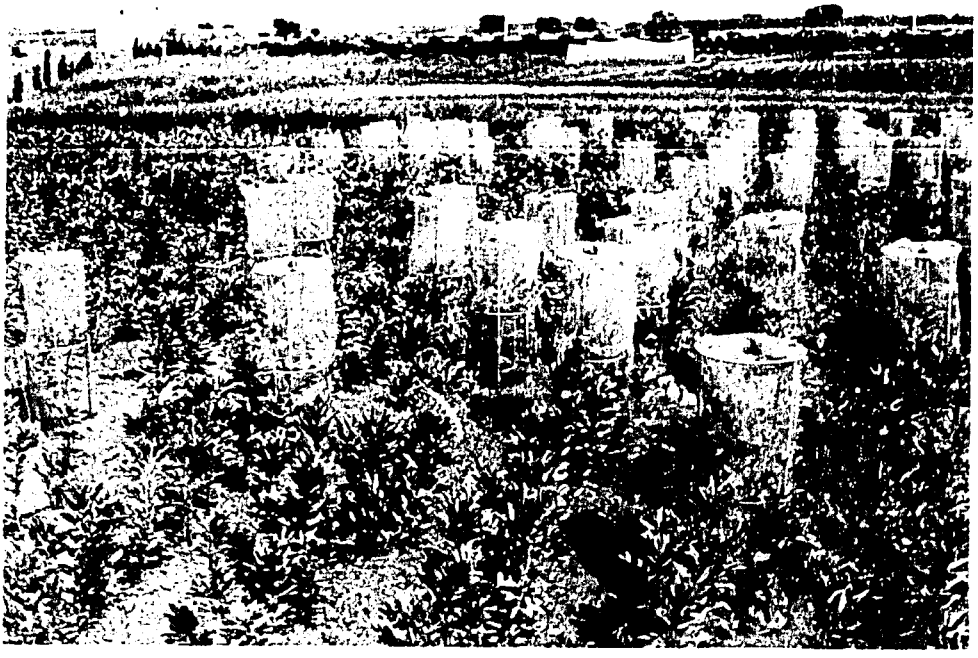

Figura 16.- Las técnicas de multiplicación de muestras deben tener en cuenta las características reproductivas de cada especie. La utilización de jaulas de malla permite el control de la polinización en las especies entomófilas.

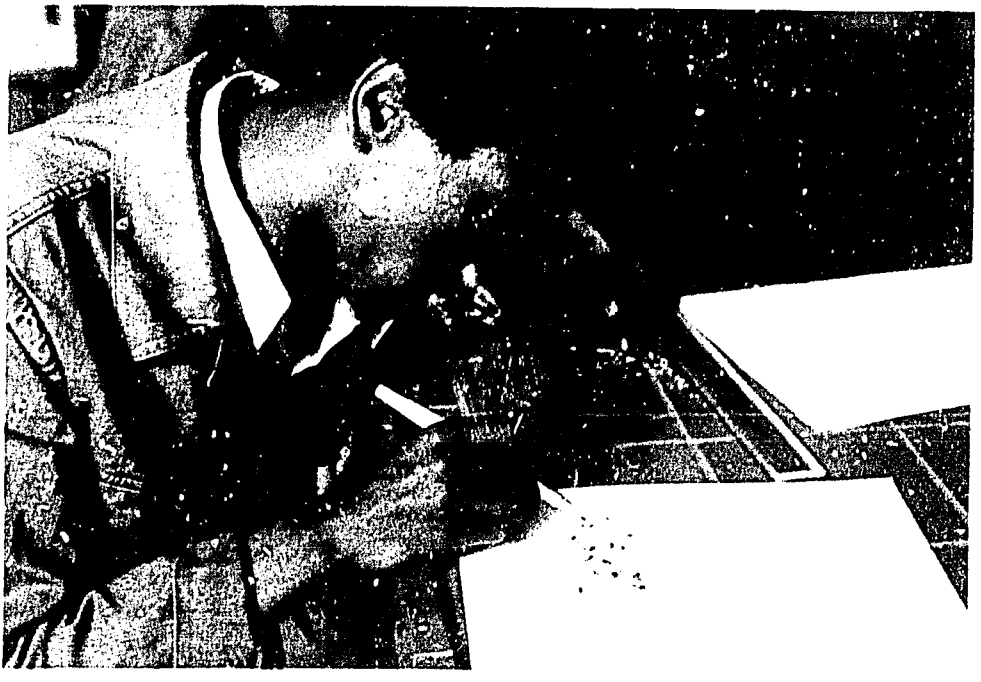

Figura 17.- La caracterización y evaluación de los cultivares almacenados en los bancos de germoplasma permite su utilización eficaz en los trabajos de mejora de plantas.

fitomejoradores tienden a elegir "descriptores" de interés agronómico útiles para la mejora y que generalmente son poligénicos; los botánicos eligen caracteres morfológicos independientemente de su regulación genética; mientras los genetistas tratan de elegir caracteres cualitativos y monogénicos con poder discriminatorio. Naturalmente, la mayor utilidad de unos y otros dependerá del fin que nos propongamos. Hoy se tiende a soluciones de compromiso mediante selección de un número mínimo de "descriptores" universalmente aceptados que faciliten el intercambio de información y material.

El reciente desarrollo de técnicas de electroforesis nos permite conocer la composicion aloenzimática de los individuos (zimograma), y las distancias genéticas entre poblaciones (J.T. ESQUINAS ALCAZAR, 1981b) y nos acerca cada vez más al ideal de detectar las "huellas dactilares" de las poblaciones y variedades (BROWN, 1978).

5. Documentación y banco de datos

Un buen sistema de documentación es la clave de la utilización del material depositado en un banco de germoplasma. La falta de una documentación adecuada es la mayor limitación para el empleo de las colecciones.

El uso de un ordenador central para almacenar los datos obtenidos durante la colección y evaluación de las poblaciones permite a los fitomejoradores con acceso a la red de terminales del ordenador obtener casi instantáneamente toda la información disponible sobre cada una de las muestras existentes en un gran número de bancos de germoplasma.

Durante algunos años se consideró que era necesario conseguir un sistema de documentación ideal y universalmente aceptado que permitiera un intercambio de información rápido y eficaz dentro de una red mundial de bancos de germoplasma. Sin embargo, las distintas realidades y necesidades de cada centro de germoplasma unido a que los sistemas de documentación quedan pronto obsoletos, ha obligado a cambiar de opinión y a aceptar que la diversidad de sistemas es necesaria e inevitable. Por otra parte, el rápido desarrollo tecnológico en este campo permite hoy el intercambio de datos entre sistemas muy distintos.

Actualmente existen en el mundo numerosos sistemas de documentación de recursos genéticos e incluso un mismo centro tiene a veces diversos sistemas para distintos cultivos. Nada de ello es óbice para que el intercambio de datos entre centros sea posible, siempre que existan acuerdos para la utilización de los mismos "descriptores".

6. Intercambio de muestras

El escalón principal de todo el proceso descrito es la utilización por los fitomejoradores de muestras debidamente documentadas. La distribución del material y documentación existentes es el fin último de un banco de germoplasma.

El intercambio de material exige buenos servicios de inspección e instalaciones adecua-

das de cuarentena que permitan reducir al mínimo los riesgos de dispersión de plagas y enfermedades.

Los recursos genéticos se deben considerar patrimonio internacional, y como tal, su intercambio debe estar por encima de cualquier barrera política.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a la Dra. M. A. Bueno, INIA (España) y a la Srta. I. Calero (España) por su importante colaboración en la preparación del primer borrador de este trabajo.

Las acertadas críticas y permanente disponibilidad del Dr. O. Brauer y del Ing. C. Rossell, Director y Funcionario respectivamente de la Dirección de Producción y Protección de Plantas de la FAO, junto a los valiosos comentarios de los especialistas: Dr. F. Cárdenas Ramos, INIA (México); Dr. L. Chiarappa, FAO (Italia); Ing. R. Christen, FAO (Italia); Dr. D. Giacometti, CENARGEN (Brasil); Dr. C. Gómez Campo, ETSIA (España); Dr. M. Holle, CATIE (Costa Rica); Ing. W. F. Kugler, INTA (Argentina); Dr. J. León, CATIE (Costa Rica); Dr. L. López, ICA (Colombia); Dr. M. Tapia, IICA (Perú) han sido fundamentales para el perfeccionamiento del borrador y redacción definitiva de esta publicación.

La cooperación y sugerencias del Dr. J. T. Williams, Secretario Ejecutivo del CIRF y del resto de mis colegas en este Secretariado han contribuido de manera decisiva a la realización del trabajo.

Algunas de las fotografías presentadas aquí, son cortesía de E. Bennet, Roma (Italia); de J. Engels, CATIE (Costa Rica); de J. Valladolid, Ayacucho (Perú) del CIP (Perú). y de las fototecas del CIRF y de la FAO; otras son propiedad del autor.

También deseo agradecer a la Srta. M.A. Forbes, FAO (Italia) y al Sr. J. L. Moscoso, FAO (Italia) sus correcciones de estilo en el manuscrito y a la Srta. M. Ochandiano, FAO (Italia) y la Sra. S. Rossi, FAO (Italia), el trabajo de mecanografía de esta segunda edición.

APENDICE

APENDICE*

Centros de Diversidad de las Plantas Cultivadas
(Basado en D. Zohary, 1970)

AMERICA CENTRAL Y MEXICO

Zea mays (maíz)
Phaseolus vulgaris (fríjol, habichuela, judía, poroto)
Capsicum annum (ají, chile, pimiento)
Gossypium hirsutum (algodón)
Agave sisalana (sisal)
Cucurbita spp. (calabaza, zapallo)

AREA ANDINA

Ipomea batatas (batata, boniato, camote)
Solanum tuberosum (papa, patata)
Phaseolus lunatus (haba de Lima, poroto de manteca)
Lycopersicon esculentum (tomate)
Gossypium barbadense (algodón)
Carica papaya (papaya)
Nicotiana tabacum (tabaco)

AREA MEDITERRANEA

Triticum durum (trigo duro o semolero)
Avena strigosa (avena)
Vicia faba (habas)
Lactuca sativa (lechuga)
Brassica oleracea (berza, col, coliflor, repollo)
Olea europea (olivo)

CERCANO ORIENTE

Triticum monococcum (escanda menor o o escaña)
Triticum durum (trigo duro o semolero)
Triticum turgidum (trigo redondillo)
Triticum aestivum (trigo blando o candeal)
Hordeum vulgare (cebada)
Secale cereale (centeno)
Cicer arietinum (garbanzo)
Lens culinaria (lenteja)
Pisum sativum (arveja, chicharo, guisante)
Medicago sativa (alfalfa)
Sesamun indicum (ajonjolí, sésamo)
Linum usitatissimun (lino)
Cucumis melo (melón)
Prunus amygdalus (almendro)
Ficus carica (higuera)
Punica granatum (granado)
Vitis vinifera (vid)
Prunus armeniaca (albaricoquero, damasco)
Pistacia vera (pistacho)

* A cada nombre latino acompaña los nombres vulgares más comúnmente usados en los países de habla hispana.

INDIA

Oryza sativa (arroz)
Eleusine coracana (mijo africano)
Cicer arietinum (garbanzo)
Vigna spp.
Dolichos biflorus
Vigna sinensis (caupí)
Solanum melongena (berenjena)
Indigofera tinctoria (añil)
Raphanus caudatus
Colocasia spp. (malanga, taro)
Cucumis sativus (pepino)
Gossypium arboreum

Corchorus olitorius (yute)
Piper nigrum (pimienta)

ASIA CENTRAL

Triticum aestivum (trigo blando o candeal)
Triticum compactum (trigo piña o mazudo)
Triticum sphaerococcum (trigo enano de India)
Secale cereale (centeno)
Pisum sativum (guisante)
Lens culinaria (lenteja)
Cicer arietinum (garbanzo)
Sesamun indicum (ajonjolí, sésamo)
Linum usitatissimum (lino)
Carthamus tinctorius (cártamo)
Daucus carota (zanahoria)
Raphanus sativus (rábano)
Pyrus communis (peral)
Malus pumila (manzano)
Juglans regia (nogal)

CHINA

Avena nuda (avena)
Glycine max (soja, soya)
Vigna spp.
Phyllostachys spp.
Brassica juncea (mostaza)
Prunus armeniaca (albaricoquero)
Prunus persica (duraznero, melocotonero)
Citrus sinensis (naranjo dulce)
Sesamun indicum (ajonjolí, sésamo)
Camellia sinensis (té)

ETIOPIA

Triticum durum (trigo duro o semolero)
Triticum turgidum (trigo redondillo)
Triticum diococcum (trigo almidonero, escanda de dos carreras)
Hordeum vulgare (cebada)
Cicer arietinum (garbanzo)
Lens culinaria (lenteja)
Eragrostis abyssinica
Eleusine coracana (mijo africano)
Pisum sativum (arveja, chicharo, guisante)
Linum usitatissimum (lino)
Sesamum indicum (ajonjolí, sésamo)
Ricinus comunis (ricino)
Coffea arabica (café)

INDO-MALASIA

Dioscorea spp. (ñame)
Citrus maxima (toronja)
Musa spp. (banano, plátano)
Cocos nucifera (cocotero)

CHILE

Solanum tuberosum (papa, patata)

BRASIL - PARAGUAY

Manihot utilissima (mandioca, yuca)
Arachis hypogea (cacahuete, maní)
Theobroma cacao (cacao)
Hevea brasiliensis (caucho di pará)
Ananas comosa (ananás, piña)
Passiflora edulis (granadilla)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AYALA F.J., 1963. Relative fitness of populations of *Drosophila serrata* and *Drosophilla birchii. Genetics,* **51**, 527-544.

AYALA F.J., 1968. Genotype, environment and population numbers. *Science,* **162**, 1453-1459.

BREWBAKER J.L., 1964. *Agriculture Genetics.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

BROWN A.H.D., 1978. Isozymes, Plant Population Genetic Structure and Genetic Conservation. En *Theor. Appl. Genet.,* **52**, 145-157.

CHIN H.F., 1978. Production and Storage of Recaicitrant Seeds in the Tropics: Seed Problems. *Acta Horticulturae,* **83**, 17-21.

CHIN H.F., ROBERTS E.H., 1980. *Recalcitrant Seeds.* Tropical Press Sdn. Bhd. Malasya, 152 pp.

ESQUINAS ALCAZAR J.T., 1981 a. *Genetic resources of tomatoes and wild relatives.* IBPGR - FAO.

ESQUINAS ALCAZAR J.T., 1981b. Alloenzyme variation and relationships among Spanish land-races of *Cucumis melo* L. *Kulturpfanze,* **XXIX**, 337-352.

FALCONER D.S., 1964. *Introduction to Quantitative Genetics.* Oliver and Boy, London.

FISHER R.A., 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection.* Claredon Press Oxford.

HARLAN J.R., 1975. Our vanished genetic resources. *Science,* **188**, 618-621.

HARRINGTON J.F., 1963. Practical advice and instructions on seed storage. *Proceedings of the International Seed Testing Association,* **28**, 989-994.

HAWKES J.G., 1979. *Genetic poverty of the potato in Europe.* En *Proc. Conf. Broadening the Genetic Base of Crops,* by Zeven A.C., and Van Harten A.M., PUDOC, Wageningen, 19-28.

HENSHAW C.G., GROUT B.W.W., 1977. Conservation - the Long-term Storage of Plant Tissues by Means of Meristem Culture and Other in vitro Techniques. *139th Annual Meeting of the British Association for the Advancement of Science.* University of Aston, England.

IBPGR, 1976. Group on Engineering, Design and Costs Aspects of Long-term Seed Storage Facilities. FAO, Roma

IBPGR, 1980. *Tissue Culture Storage for Genetic Conservation,* L.A. Withers. FAO Roma

LERNER I.M., 1958. *The Genetic Basis os Selection*, Wiley. New York.

LERNER I.M., 1968. *Heredity, Evolution and Society*, Freeman, San F rancisco.

MOONEY P.R., 1979. *Semillas de la Tierra: Un recurso público o privado?*. International Coalition for Development Action, London. 138 pp.

MOREL G., 1975. *Meristem culture techniques for the Long-term storage of cultivated Plants.* En *Crop Genetic resources for today and tomorrow*, by Frankel O.H., and Hawkes J.G., Cambridge University Press, Cp. 25.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1972. *Genetic vulnerability of food crops.* Washington D.C., USA.

ROBERTS E.H., 1973. Predicting the storage life of seed. *Seed Science and Technology*, **1**, 499-514.

ROBERTS E.H., 1975. *Problems of Long-term storage of seed and pollen for genetic resources conservation.* En *Crop Genetic resources for today and tomorrow*, by Frankel O.H., and Hawkes J.G., Cambridge University Press, 269-296.

ROBERTS E.H., ELLIS R.H., 1977. Prediction of seed longevity at sub-zero temperatures and genetic resources conservation. *Nature, London*, **268**, 431-432.

SAKAI A., NOSHIRO, 1975. *Some factors contributing to the survival of crop seeds cooled to the temperature of liquid nitrogen.* En *Crop Genetic resources for today and tomorrow*, by Frankel O.H., Hawkes J.G., Cambridge University Press, Cap. 24.

SYKES J.T., 1978. The conservation of crop genetic resources: International actions in Long-term seed storage. *Seed Science and Technology*, **6**, 1053-1058.

VAVILOV N.I., 1926. Centers of Origin of Cultivated Plants. *Trudi po Prikl. Bot.*, **17** (2).

VAVILOV N.I., 1951. Phytogeographic Basis of Plant Breeding. The Origin, Variation, Inmunity and Breeding of Cultivated Plants. *Chronica Bot.*, **13**, 1-366.

VILLIERS T.A., 1975. *Genetic Maintenance of Seeds in inbibed storage.* En *Crop genetic resource of today and tomorrow*, by Frankel O.H., Hawkes J.G. Cambridge University Press. Cap. 23.

WANG B.S.P., 1974. *Tree-seed Storage.* Department of the Environment. Canadian Forest Service, Publication no. 1335.

WANG B.S.P., 1975. *Tree Seed and Pollen Sotorage for Genetic Conservation: Possibilities and Limitations.* Report on a pilot study on the methodology of conservation of

forest genetic resources to the Food and Agriculture Organization of the United Nations, **99**, 93-103.

WOODWORTH C.M., LENG E.R., INGENHEIMER R.W., 1952. Fifty generations of selection by protein and oil in corn. *Agron. J.*, **44**, 60-66.

ZOHARY D., 1970. *Centers of diversity and centers of origin.* En Frankel O.H., Bennet E. *Genetic resources in Plants - their exploration and conservation*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 33-42.

Otras publicaciones consultadas son:

CREECH J.L., REITZ L.P., 1971. Plant Germoplasm now and for tomorrow. *Avd. Agron.* **23**, 1 - 49.

FRANKEL O.H., 1971. *The Significance, Utilization and Conservation of Crop Genetic Resources.* FAO. AGPE: Misc./71/1. 29 pp.

FRANKEL O.H., BENNET E., 1970. *Genetic Resources in Plants - their exploration and conservation.* IBP Handbook no. 11, Oxford, Blackwell Sceintific Publication, **554** pp.

FRANKEL O.H., HAWKES J.G., 1975. *Crops genetic resources for today and tomorrow.* Cambridge University Press, Cambridge, 492 pp.

HARLAN J.R., 1972. Genetics of disaster. *J. environ. Qual.*, **1**, 212-215.

HEWITT W.B., CHIARAPPA L., 1977. *Plant health and quarantine in international transfer of genetic resources.* CRC Press, Cleveland, Ohio, USA.

HODGSON R.E., ed., 1961. *Germplasm resources.* London. Bailey.

IBPGR, 1975. *The Conservation of Crop Genetic Resources,* edited by Eleanor Lawrence, FAO, Roma.

IBPGR, 1976. *A Bibliography of Plant Genetic Resources*, by Hawkes J.T., Williams J.T., Hanson J., FAO, Roma.

IBPGR, 1979. *A review of Policies and Activities 1974-78 and the Prospects for the future.* FAO, Roma.

IBPGR, 1979. *Seed Technology for Genebanks.* FAO, Roma.

IBPGR, 1979. *The Storage of Recalcitrant Seeds - Achievement and Possible Approaches* by King M.W., Roberts E.H. FAO, Roma.

MATSUO T., ed. 1975, *JIBP synthesis.* Vol. 5. *Gene conservation-exploration, collection, preservation and utilization of genetic resources.* Tokyo, University of Tokyo Press, 130 pp.

SIMMONDS N.W., 1962. Variability in crop plants, its use and conservation. *Biol. Rev.*, **37**, 422-465.

THOMPSON P.A., 1975. The collection, maintenance and environmental importance of the genetic resources of wild plants. *Environ. Conserv.*, **2**, 223-228.