

Mayo 1997



منظمة الأغذية  
والزراعة  
للأمم المتحدة

联合国  
粮食及  
农业组织

Food  
and  
Agriculture  
Organization  
of  
the  
United  
Nations

Organisation  
des  
Nations  
Unies  
pour  
l'alimentation  
et  
l'agriculture

Organización  
de las  
Naciones  
Unidas  
para la  
Agricultura  
y la  
Alimentación

## COMISION DE RECURSOS GENETICOS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA

### MEJORA GENETICA PARA MANTENER LA DIVERSIDAD EN LOS CULTIVOS AGRICOLAS

por Fernando Nuez, Juan José Ruiz y Jaime Prohens

Este documento ha sido preparado a solicitud del Secretariado de la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura de la FAO, a fin de proporcionar información sobre el modo en que la tecnología como instrumento y la mejora genética como ciencia pueden ser utilizadas para mantener y incluso incrementar la diversidad genética. La información contenida puede ser de utilidad en el proceso de revisión del Compromiso Internacional. El texto es la responsabilidad de los autores y no necesariamente representa los puntos de vista de la FAO. Los autores son profesores e investigadores en la Universidad Politécnica de Valencia (España).

Por razones económicas este documento está disponible solamente en español, el idioma en el cual ha sido preparado, con resúmenes en inglés y francés.

### GENETIC IMPROVEMENTS FOR MAINTAINING DIVERSITY IN AGRICULTURAL CROPS

by Fernando Nuez, Juan José Ruiz and Jaime Prohens

This document was prepared at the request of the Secretariat of the FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture to provide information on the way in which technology as a tool, and plant breeding as a science, can be used to maintain and even increase genetic diversity. The information contained here could be of use in the process of the revision of the International Undertaking. The views expressed are the responsibility of the authors and do not necessarily represent the point of view of FAO. The authors are professors and researchers of the Polytechnic University of Valencia (Spain).

For reasons of economy, this document is only available in the language in which it was prepared (Spanish) but summaries in English and French are provided.

### L'AMELIORATION GENETIQUE POUR LA CONSERVATION DE LA DIVERSITE DANS LES CULTURES AGRICOLES

par Fernando Nuez, Juan José Ruiz et Jaime Prohens

Ce document a été préparé à la requête du Secrétariat de la Commission de la FAO des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture, pour fournir des informations sur la façon par laquelle la technologie comme outil et l'amélioration variétale comme science peuvent contribuer à la conservation, voire même à l'accroissement de la diversité génétique. Les informations contenues pourraient être utiles dans le processus de la révision de l'Engagement international. Les opinions exprimées sont de la responsabilité des auteurs, et ne représentent pas nécessairement celles de la FAO. Les auteurs sont professeurs et chercheurs à l'Université polytechnique de Valence (Espagne).

Pour raisons économiques, ce document n'est disponible qu'en espagnol, la langue dans laquelle il a été préparé, avec des résumés en anglais et français.



## INDICE

|   | <i>Página</i> |
|---|---------------|
| <i>RESUMENES</i>  |               |
| Resumen (español)   | iii           |
| Summary (English)   | iv            |
| Résumé (français)   | v             |
| 1. INTRODUCCION   |               |
| 2. NECESIDAD DE MANTENER LA BIODIVERSIDAD EN LA PRODUCCION AGRICOLA                         | 2             |
| 3. INTERACCION GENOTIPO-MEDIO Y BIODIVERSIDAD   | 3             |
| 4. MEJORA PARA EL RENDIMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE LA PRODUCCION                             | 4             |
| 5. METODOS DE MEJORA QUE CONTRIBUYEN A UN INCREMENTO DE LA BIODIVERSIDAD                    | 5             |
| 5.1. Liberación directa de cultivares procedentes de las primeras generaciones de selección | 5             |
| 5.2. Mezclas de cultivares  | 6             |
| 5.3. Cultivares multilínea  | 6             |
| 5.4. Variedades locales   | 7             |
| 5.5. Cruces compuestos  | 7             |
| 5.6. Híbridos “topcross”  | 7             |
| 5.7. Variedades sintéticas  | 8             |
| 5.8. Variedades de polinización abierta   | 8             |
| 5.9. Híbridos de varias vías  | 8             |
| 5.10. Otros materiales plásticos  | 8             |
| 6. CONTRIBUCIONES DE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGIAS AL DESARROLLO DE CULTIVARES BIODIVERSOS      | 9             |
| 7. LA BIODIVERSIDAD EN LOS DISTINTOS SISTEMAS DE CULTIVO                                    | 9             |
| 7.1. Sistemas de cultivo múltiples en el tiempo   | 10            |
| 7.1.1. Cultivos secuenciales o rotaciones de cultivos (“double” o “triple cropping”)        | 10            |
| 7.1.2. Cultivos en relevo (“relay cropping”)  | 10            |
| 7.1.3. Cultivos rebrotados (“ratoon cropping”)  | 10            |
| 7.1.4. Intercultivo temporal (“temporal intercropping”)                                     | 10            |
| 7.2. Sistemas de cultivo múltiples en el espacio  | 11            |
| 7.2.1. Intercultivo espacial (“spatial intercropping”)                                      | 11            |
| 7.2.2. Cultivo en callejón o pasillo (“alley cropping”)                                     | 11            |
| 7.3. Sistemas de cultivo múltiples en el espacio y en el tiempo                             | 11            |

|            |  |        |
|------------|--|--------|
| 8.         | ESTRATEGIAS DE MEJORA EN FUNCION DE LOS SISTEMAS AGRICOLAS   | 11     |
|            | 8.1.    Sistemas de altos insumos  | 12     |
|            | 8.2.    Sistemas de bajos insumos  | 13     |
| 9.         | LA PARTICIPACION DEL AGRICULTOR  | 14     |
| 10.        | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA MEJORA GENETICA EN EL MANTENIMIENTO Y DESARROLLO DE LA AGRODIVERSIDAD                   | 16     |
|            | 10.1.  Normativa legal para la protección de los derechos del obtentor   | 16     |
|            | 10.2.  Política científica agraria de los organismos internacionales   | 17     |
|            | 10.3.  Promoción de cultivares tradicionales y biodiversos   | 18     |
|            | 10.4.  Fomento de la participación del agricultor en los programas de mejora   | 19     |
| <br>ANEJOS |  |        |
| 1.         | ASPECTOS TECNICOS DE LA INTERACCION GENOTIPO-MEDIO EN RELACION CON LA BIODIVERSIDAD  | 20     |
|            | 1.1.    Adaptación específica frente a adaptación general. Utilización positiva de la interacción GxE en la maximización del rendimiento | 20     |
|            | 1.2.    Eficacia de la selección. Heredabilidad del rendimiento  | 21     |
|            | 1.3.    Selección en ambientes pobres  | 22     |
| 2.         | HOMEOSTASIS Y AGROBIODIVERSIDAD  | 24     |
| 3.         | TECNICAS BIOTECNOLOGICAS QUE PUEDEN CONTRIBUIR AL DESARROLLO DE CULTIVARES BIODIVERSOS   | 26     |
|            | 3.1.    Técnicas que pueden incrementar la efectividad de la selección   | 26     |
|            | 3.2.    Técnicas que pueden aumentar la base genética disponible para el mejorador   | 26     |
|            | <br><i>LITERATURA CITADA</i>   | <br>28 |

## **MEJORA GENETICA PARA MANTENER LA DIVERSIDAD EN LOS CULTIVOS AGRICOLAS**

### **RESUMENES**

---

#### **RESUMEN (ESPAÑOL)**

Desde la aparición de la agricultura se ha generado una enorme biodiversidad en la producción agrícola. Basándose en esta diversidad, la mejora genética formal ha hecho posible un aumento muy importante de la productividad agrícola a nivel mundial. Sin embargo, el uso que se ha hecho de las herramientas de mejora disponibles ha contribuido a la sustitución de las variedades locales tradicionales por cultivares modernos de amplia difusión y genéticamente uniformes, lo cual ha llevado a una pérdida de diversidad no sostenible. El mantenimiento de la biodiversidad en la producción agrícola es necesario, ya que permite la salvaguarda de los recursos fitogenéticos, la explotación de las interacciones genotipo-medio y una mayor estabilidad de la producción, contribuye a la mejora de las condiciones de vida de muchos agricultores, conserva los conocimientos etnobotánicos y permite conservar el ambiente. La estrategia seguida hasta ahora de obtención de cultivares de “amplia adaptación” genéticamente uniformes impide el aprovechamiento de las interacciones genotipo-medio y hace necesario el requerimiento de elevados insumos para la obtención de productividades elevadas. Mediante la selección para ambientes específicos se optimiza la productividad y se reduce la necesidad de insumos. Esta adaptación a ambientes específicos sólo es posible mediante el uso de la biodiversidad. La biodiversidad, a través de la diversificación de cultivos y cultivares, permite maximizar y estabilizar la producción agraria. Además, existe una correlación positiva entre la diversidad de un cultivar y su respuesta homeostática frente a cambios ambientales. A pesar de que la mejora genética ha sido considerada como culpable de la pérdida de la biodiversidad en la producción agrícola, la mejora es sólo un conjunto de métodos y técnicas e incluye alternativas que permiten mantener o incrementar la biodiversidad en la producción agrícola. Entre éstas se encuentran la liberación directa de cultivares procedentes de las primeras generaciones de selección y el uso de mezclas de cultivares, cultivares multilínea, variedades locales, cruces compuestos, híbridos “topcross”, variedades sintéticas, variedades de polinización abierta, híbridos de varias vías, así como de otros materiales plásticos. Las herramientas de mejora procedentes de las nuevas biotecnologías pueden hacer una eficiente contribución a la mejora, ya que permiten incrementar la efectividad de la selección y aumentar la base genética disponible para el mejorador. Dependiendo del uso que se haga de estas técnicas, las nuevas biotecnologías pueden contribuir a disminuir, mantener o incrementar la biodiversidad a nivel global en la producción agrícola. Diferentes sistemas de cultivo albergan diferentes niveles de biodiversidad, de forma que algunos de ellos, en especial algunos sistemas de cultivo múltiple, se basan fundamentalmente en la explotación de la biodiversidad. Los sistemas de cultivo de altos insumos se caracterizan porque son genéticamente poco diversos, pero altamente productivos, mientras que los de bajos insumos suelen ser genéticamente diversos, pero poco productivos, por lo cual son necesarias estrategias de mejora diferentes. En el primer caso es necesario aumentar la diversidad y al mismo tiempo mantener o elevar la productividad, mientras que en el segundo caso se hace necesario mejorar la productividad manteniendo la diversidad. Mediante la participación del agricultor, éste puede hacer importantes contribuciones a los programas de mejora, ya que puede aportar sus ideas y conocimientos sobre el material vegetal y sus usos, así como realizar selección por sí mismo a partir de sus propios materiales y de los que le aporta el mejorador,

obteniendo de este modo cultivares mejorados específicamente adaptados a sus condiciones ambientales y usos particulares. Para que la mejora genética pueda contribuir al mantenimiento de la biodiversidad hacen falta una serie de medidas políticas, administrativas y legales adicionales que incluyan el desarrollo y la promoción de las variedades tradicionales y de otros materiales biodiversos, la relajación de los criterios de uniformidad de los registros varietales, la promoción de la diversidad en el consumidor, la potenciación de la investigación pública en la mejora aplicada, y una legislación sobre protección de variedades compatible con el uso de la biodiversidad.

### **SUMMARY (ENGLISH)**

Since the beginnings of agriculture, a considerable amount of biodiversity has built up in crop production. With the application of scientific methods to plant breeding, the world's agricultural output has increased immensely. The application of the tools of plant breeding, however, has led to the substitution of traditional local varieties by widespread genetically homogeneous varieties, and a loss of non-sustainable diversity. The maintenance of diversity in agriculture is essential to protect plant genetic resources, maintain genotype-environment interaction, and provide greater production stability. It also helps improve the living conditions of many farmers, and protects the environment. The approach of selection for genetic uniformity and "wide adaptation" has hampered the exploitation of genotype-environment interactions, and has led to the need for high input levels in order to achieve high productivity. Breeding for specific environments improves productivity and reduces input needs. Adaptation for specific environments is only possible through the use of biodiversity. Crop and cultivar diversification improve and stabilize crop production. There is a positive correlation between within-cultivar genetic diversity and homeostatic response to environmental change. Although plant breeding has been seen as responsible for the loss of diversity in crop production, it is no more than a set of methods and tools, and admits of alternative approaches that can maintain and even increase crop diversity. These include stopping selection in early generations, and the use of cultivar blends, multiline cultivars, landraces, composite crosses, topcross hybrids, synthetic varieties, open pollinated varieties, three- and four-way hybrids, and other diverse materials. New biotechnologies offer powerful tools for a more effective selection and the broadening of the genetic base available to the breeder. Depending on the use made of these techniques, the new biotechnologies may contribute to decreasing, maintaining or increasing biodiversity in crop production. Cropping systems differ in the levels of diversity that they contain, and multiple cropping systems, in particular, rely heavily on biodiversity. Systems requiring high input levels are characterized by a low level of genetic diversity and high productivity, and low-input systems are usually characterized by a high degree of genetic diversity, but low productivity. Differing approaches are called for, depending on the cropping system in question. With high input systems the aim should be to increase diversity while maintaining or even improving productivity; with low-input systems enhanced productivity could be pursued while maintaining diversity. Through participatory strategies, farmers can make substantial contributions to breeding programmes, because of their skills and knowledge in managing their crops. They can also select varieties, starting with their own landraces and materials supplied by breeders, in order to obtain varieties adapted to their specific environments and particular needs. For plant breeding to contribute to maintaining diversity, a number of political, legislative and administrative measures are called for. These include: the development and promotion of folk crop varieties and other biodiverse materials; a relaxation in the uniformity criteria for varietal registration; promotion of an awareness of the need for diversity at consumer level; enhanced public research in applied plant breeding; and plant breeders' rights, legislation compatible with the use of diversity.

## RESUME (FRANCAIS)

Depuis l'apparition de l'agriculture, une énorme biodiversité s'est générée dans la production agricole. En tenant compte de cette diversité, les progrès en matière de génétique ont rendu possible une augmentation considérable de la productivité agricole à l'échelle mondiale. Cependant, ce progrès a tendance à remplacer les variétés locales traditionnelles par des variétés modernes de grande diffusion et génétiquement homogènes, et par conséquent, à provoquer une perte de diversité non soutenable. Le maintien de la biodiversité en agriculture est essentiel puisqu'il permet la sauvegarde des ressources phylogénétiques, le maintien des interactions génotype-environnement et une meilleure stabilité de la production. Il contribue également à l'amélioration des conditions de vie d'un grand nombre d'agriculteurs, et permet de protéger l'environnement. La stratégie suivie jusqu'à présent pour obtenir des variétés "d'ample adaptation" génétiquement homogènes, entrave l'exploitation des interactions génotype-milieu, et rend nécessaire l'emploi de nombreux intrants afin d'obtenir un niveau de production élevé. Grâce à la sélection pour des milieux spécifiques, la productivité augmente et les besoins en intrants diminuent. Cette adaptation aux ambiances spécifiques est uniquement possible à travers l'utilisation de la biodiversité. La diversité de cultures et de variétés permet d'augmenter et de stabiliser la production. Il existe, en plus, une corrélation positive entre la diversité à l'intérieur d'une variété et sa réponse homéostatique aux modifications du milieu. Bien que l'amélioration génétique ait été considérée comme responsable de la perte de la biodiversité dans la production agricole, celle-ci n'est qu'un ensemble de méthodes et techniques qui permettent également par des approches alternatives de conserver ou voire même d'accroître la biodiversité. Parmi celles-ci, on trouve: l'interruption du processus de sélection après quelques générations de sélections et l'emploi de mélanges de variétés, cultures-multilignes, populations locales, croisements composés, hybrides "topcross", variétés synthétiques, variétés à pollinisation libres, hybrides à plusieurs voies et autres matériaux divers. Les puissants outils fournis par les nouvelles biotechnologies permettent d'augmenter l'efficacité de la sélection et d'élargir la base génétique à disposition du sélectionneur. Selon l'usage fait de ces techniques, les nouvelles biotechnologies peuvent contribuer à diminuer, maintenir ou développer la biodiversité. Les systèmes de culture se distinguent en fonction de leurs différents niveaux de biodiversité, et certains d'entre eux, en particulier les systèmes de cultures multiples, se basent fondamentalement sur l'exploitation de la biodiversité. Les systèmes de cultures à intrants massifs sont génétiquement peu diversifiés mais très productifs, tandis que ceux à bas emploi d'intrants sont généralement diversifiés sur le plan génétique mais peu productifs. On utilise différentes approches en fonction du système de cultures en question. Dans le cas de systèmes au niveau d'intrants élevé, le but devrait être d'augmenter la diversité tout en maintenant ou améliorant la productivité tandis que pour les systèmes à bas niveau d'intrants, on pourrait chercher à augmenter la productivité tout en maintenant la diversité. Par une approche participative, l'agriculteur sera en mesure de contribuer lui-même aux programmes d'amélioration grâce à son expérience et ses connaissances de la production des cultures traditionnelles. Il peut aussi sélectionner les variétés à partir de ses propres populations locales et du matériel fourni par le sélectionneur afin d'obtenir des variétés adaptées tant aux conditions locales qu'à ses propres besoins. Pour que l'amélioration variétale puisse contribuer au maintien de la biodiversité, il est nécessaire de mettre en oeuvre toute une série de mesures politiques, administratives et législatives telles que le développement et la promotion des variétés traditionnelles et autres matériaux ayant une variabilité génétique importante, l'assouplissement des critères d'uniformité des variétés enregistrées, la promotion de la diversité auprès du consommateur, la recherche publique en matière d'amélioration appliquée, et une législation sur la protection des variétés compatibles avec l'emploi de la biodiversité.



## MEJORA GENETICA PARA MANTENER LA DIVERSIDAD EN LOS CULTIVOS AGRICOLAS

---

### 1. INTRODUCCION

Desde que el hombre inició la agricultura en el Neolítico, la domesticación de plantas, la selección y el mantenimiento por parte de los agricultores de las mutaciones y recombinantes asociados a tipos deseables, junto con su dispersión y evolución bajo cultivo en condiciones locales, han generado una enorme diversidad en las especies cultivadas (62, 64, 97).

El advenimiento de la mejora genética científica a principios de este siglo ha posibilitado el desarrollo de variedades que han contribuido a un incremento espectacular de la producción mundial de alimentos, multiplicándose el rendimiento medio de los cultivos principales hasta en varias veces (18, 107). Sin embargo, por razones económicas, comerciales y de distribución, las técnicas disponibles de mejora genética han sido usadas con frecuencia de forma que han promovido la pérdida, en muchos casos irreversible, de la agrobiodiversidad al reemplazar cultivares locales genéticamente diversos por otros de alto rendimiento, genéticamente uniformes y de uso generalizado (58, 96).

Varios factores han contribuido a la reducción de la biodiversidad en los sistemas agrícolas. Entre ellos queremos destacar:

- a) La demanda de uniformidad de los mercados agrarios. Los criterios de uniformidad prevalecientes en los mercados actuales, junto con las estrictas normas de uniformidad establecidas por varias organizaciones, como la UPOV, han llevado a una menor utilización de la biodiversidad a nivel global, ya que han restringido la comercialización a cultivares con una elevada uniformidad (74).
- b) La degradación, por la internacionalización de la agricultura, de las pequeñas unidades de autoconsumo, las cuales mantenían un elevado grado de diversidad.
- c) La situación de oligopolio de los mercados de semillas. Ello hace que los productores comerciales decidan de acuerdo con sus objetivos económicos qué productos van a ser destinados a cada mercado (46, 97). Para maximizar su beneficio económico, las casas de semillas se centran en un número reducido de cultivos y tipos varietales que les permitan un buen volumen de negocio; en métodos de mejora, como la obtención de híbridos, que les proporcionen una patente física; y en el paso de programas de mejora de ámbito local o regional a otros de nivel nacional e incluso mundial (39, 58, 95).
- d) Amplia preponderancia de la investigación privada en la mejora aplicada. En los últimos tiempos, la investigación pública se ha centrado en la investigación básica, dejándose la investigación aplicada a la empresa privada. Esto ha llevado a desarrollar cultivos económicamente interesantes para las multinacionales que controlan las casas de semillas y a una atención reducida a muchos cultivos secundarios y a las variedades locales, lo cual ha ido en perjuicio de la biodiversidad (46, 96).

La mejora genética moderna ha sido considerada como culpable de esta pérdida de diversidad, pues ha permitido la obtención de cultivares mejorados altamente productivos que han sustituido a la biodiversidad característica de los sistemas agrícolas tradicionales. Además, existe el temor de que la aplicación de las nuevas biotecnologías a los programas de mejora pueda acelerar todavía más la pérdida de diversidad. No obstante, la mejora es sólo un conjunto de herramientas y dependiendo de

cómo se utilicen se puede incrementar, mantener o disminuir la biodiversidad al mismo tiempo que se produce un aumento de la productividad.

Este trabajo pretende demostrar que la mejora genética es compatible con el desarrollo sostenible de los sistemas agrarios y su biodiversidad. Más concretamente, los objetivos son los siguientes:

- a) Resaltar la importancia del mantenimiento de la biodiversidad agrícola.
- b) Destacar los aspectos positivos de la adaptación varietal a ambientes específicos en relación con el mantenimiento de la biodiversidad agrícola. Se revisan los fundamentos científicos de dicha adaptación específica basados en la existencia de interacciones entre los genotipos y el medio.
- c) Presentar métodos específicos de mejora que contribuyan a un incremento de la biodiversidad, incluyendo tanto métodos clásicos como procedentes de las nuevas biotecnologías.
- d) Analizar el mantenimiento de la biodiversidad en distintos sistemas agrícolas y las diferentes estrategias de mejora a seguir en función de estos sistemas.
- e) Estudiar la participación del agricultor en el desarrollo de los nuevos programas de mejora.
- f) Proponer, teniendo en cuenta las anteriores consideraciones técnicas, algunas medidas políticas, administrativas y legales que contribuyan al mantenimiento de la biodiversidad.

## **2. NECESIDAD DE MANTENER LA BIODIVERSIDAD EN LA PRODUCCION AGRICOLA**

El mantenimiento de la biodiversidad en la producción agrícola es una alternativa frente a los actuales modelos de producción no sostenible basados en la uniformidad genética. La biodiversidad en la producción agrícola es necesaria debido a que permite:

- a) La salvaguarda de los recursos genéticos, los cuales son indispensables para futuros avances genéticos. La uniformidad de los cultivares modernos está erosionando la agrobiodiversidad existente o los recursos genéticos en los que se ha basado, con lo cual se comprometen las posibles mejoras en el futuro (64). Es verdad que se ha hecho un importante esfuerzo de recolección y conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos para evitar su pérdida. Sin embargo, aunque en algunos de los cultivos más importantes gran parte de la biodiversidad se puede considerar recolectada, en otros muchos cultivos, plantas adventicias y plantas silvestres relacionadas con los cultivos, en los que la erosión genética está actuando fuertemente, se está todavía en una fase muy precaria (53).
- b) Explotar la interacción genotipo-medio, utilizando genotipos adaptados a ambientes específicos, con lo cual se maximiza la productividad y se reduce la necesidad de utilización de insumos adicionales. Esto permite proteger el ambiente y aumentar la independencia y la autosuficiencia de los agricultores. Debido a la importancia de este punto, se trata más detalladamente en el apartado 3.
- c) Una mayor estabilidad de la producción. Es bien conocido que un incremento de la diversidad genética va asociado a un incremento de la estabilidad de la producción, ya que la biodiversidad actúa como amortiguador frente a los cambios ambientales y disminuye los riesgos de plagas y enfermedades (73). Al igual que en el punto anterior, por su importancia, los aspectos relacionados con la estabilidad y la biodiversidad se desarrollan en el apartado 4.
- d) Contribuir a la mejora de las condiciones de vida de muchos agricultores, principalmente de aquellos con escasos recursos. En determinadas situaciones, la sustitución de la diversidad por

variedades modernas genéticamente uniformes y sus requerimientos asociados, han contribuido a la destrucción de las estructuras sociales, a la pobreza y malnutrición de muchos agricultores de países en vías de desarrollo, ya que éstos han perdido sus variedades tradicionales y se han visto obligados a depender del suministro de semillas, fertilizantes y pesticidas a precios que muchas veces no se pueden permitir (6, 115).

- e) Conservar la experiencia y profundos conocimientos etnobotánicos asociados a la biodiversidad. Este saber ha sido adquirido por los agricultores durante cientos de años en base a sus necesidades y sistemas de cultivo. De estos conocimientos se han derivado muchos beneficios, no sólo en relación con la alimentación, el vestido y la vivienda, sino también en otros campos como la sanidad, industria química, etc. (42, 117). El mantenimiento de este saber va indisolublemente unido al mantenimiento de la diversidad biológica.
- f) Conservar el ambiente como tal ya que, como se hizo patente en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992, la biodiversidad es una parte sustancial del ambiente. Este aspecto va más allá del sector agrario y trasciende a aspectos más generales de la sociedad. A lo largo de la Historia, frente al monomorfismo, la Humanidad ha apostado por la diversidad.

### 3. INTERACCION GENOTIPO-MEDIO Y BIODIVERSIDAD

La interacción genotipo-medio (GxE) aparece cuando una variación ambiental no tiene el mismo efecto sobre genotipos diferentes o, a la inversa, cuando un mismo genotipo responde de distinta manera en diversos ambientes. En Agricultura, las interacciones GxE se presentan muy frecuentemente (49).

En tanto en cuanto el objetivo fundamental de los programas de mejora es la obtención de cultivares que muestren un buen comportamiento en un amplio rango de ambientes, las interacciones GxE suponen un serio obstáculo o inconveniente. En estos casos, las interacciones GxE disminuyen los progresos de la selección. Es decir, es más difícil identificar los mejores genotipos en base a sus características observables (38, 79, 119). Sin embargo, propuestas de mejora alternativas pueden aprovechar las interacciones GxE, contribuyendo además al desarrollo de una agricultura más biodiversa y sostenible. Aunque los aspectos técnicos se discuten de forma más amplia en el anejo 1, queremos destacar las siguientes consideraciones:

- a) Es posible utilizar la interacción GxE para aumentar el rendimiento de los cultivos mediante la adaptación específica de éstos a condiciones locales.
- b) El aprovechamiento de la adaptación específica tiene efectos positivos sobre la biodiversidad y el medio ambiente. Resulta evidente que en la “moderna” agricultura se ha mejorado la productividad fundamentalmente manipulando el ambiente para adaptarlo a genotipos con altas necesidades de insumos (50, 55). Esta estrategia está llegando a ser demasiado cara, tanto en lo que se refiere al coste mismo de los insumos como, sobre todo, a su negativo impacto ambiental. Por el contrario, la estrategia de adaptar las plantas al medio, además de mantener y generar agrodiversidad a través del desarrollo de numerosos cultivares adaptados a condiciones específicas, permite reducir el nivel de insumos, minimizar la contaminación ambiental y mantener un ecosistema más adecuado (28, 35, 45, 55, 87), contribuyendo como estrategia de mejora al desarrollo de una agricultura más sostenible.
- c) El aprovechamiento de la adaptación específica tiene claras ventajas para el agricultor. Los agricultores son indiferentes a que sus cultivares presenten amplia adaptación. Por el contrario, están interesados en cultivares específicamente adaptados a sus condiciones, necesidades y

usos. Por ello, sobre todo en una agricultura marginal, la utilización de cultivares específicamente adaptados puede servir mejor a los pequeños agricultores (28, 31, 55).

La importancia de la selección para adaptación específica en la maximización del rendimiento y de su estabilidad está siendo ya recogida en los programas de mejora de los Centros de Investigación Agrícola Internacionales (IARCs). Así, los programas de mejora de la lenteja y de la cebada del ICARDA tienen como objetivo producir germoplasma mejorado adaptado a los diferentes ambientes y prácticas agrícolas (29, 31). Igualmente, los programas de mejora del trigo del CIMMYT intentan aplicar diferentes estrategias para cada región, basándose en el principio de que el material resistente al estrés es difícil de identificar si no se expone a los estreses que prevalecen en cada área objetivo (151). Así mismo, en proyectos de la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) para mejorar la sostenibilidad y la productividad de los sistemas agrícolas convencionales y alternativos, como el proyecto sorgo/mijo, el germoplasma se distribuye a los países en vías de desarrollo colaboradores para la obtención de cultivares adaptados a ambientes locales (36).

#### **4. MEJORA PARA EL RENDIMIENTO Y LA ESTABILIDAD DE LA PRODUCCION**

La estabilidad, entendida como la escasa variación del rendimiento de un año a otro y como una minimización de los fallos de cosecha, es un objetivo socioeconómico importante ya que contribuye a la mejora de la calidad de vida de los agricultores. En los países en vías de desarrollo, la estabilidad de la cosecha juega un papel fundamental para la agricultura de subsistencia. Al contrario que en los países desarrollados, existen pocas infraestructuras de almacenaje y de transporte que permitan compensar las bajas producciones obtenidas en años desfavorables (5). En estos países, la inestabilidad del rendimiento contribuye a la malnutrición y a la desigualdad social (6).

La diversificación de cultivos y cultivares, así como la ubicación de la explotación, son algunos de los medios más comunes por los cuales los agricultores pueden maximizar y estabilizar la producción agrícola. Estos medios permiten (89):

- a) Hacer un uso más completo y eficaz de los factores de producción.
- b) Incrementar la productividad, adaptando los requerimientos fisiológicos de los cultivares a microambientes específicos.
- c) Satisfacer los requerimientos del consumo casero. En los países en vías de desarrollo son habituales los fallos en el suministro de productos, los cuales pueden amortiguarse con la diversificación de cultivos y cultivares.
- d) Explotar las complementariedades de los diversos cultivos en el caso del cultivo múltiple. De este modo se mejora la estabilidad y la productividad a nivel de parcela.
- e) Reducir el riesgo.

El uso de diferentes cultivos y variedades en una misma localidad y explotación es una estrategia para estabilizar la producción, ya que permite compensar los riesgos ambientales (fallos en las lluvias, enfermedades, plagas, etc.) (33). Para ello, los agricultores utilizan distintas variedades y cultivos con distintas características morfológicas, fisiológicas y de comportamiento frente a estreses bióticos y abióticos. Ello permite utilizar diferentes fechas de plantación, de recolección y de otras labores culturales, adaptando el material vegetal a períodos específicos de estrés, como sequía, picos de población de insectos, etc. que pueden ocurrir durante períodos críticos del crecimiento. Con ello se disminuye el riesgo de pérdida de cosecha (89).

Las condiciones ambientales, especialmente las climáticas, que se van a dar en un año concreto dentro de una localidad, explotación y parcela son impredecibles. Esto hace imposible, en presencia de interacción genotipo x año, elegir el cultivar que en esa localidad proporcionaría la máxima productividad en un año dado. De hecho, en muchos casos, la elevada significación de la interacción cultivar x año obtenida para muchos cultivares refleja fluctuaciones en el ambiente que en la mayor parte de ocasiones no pueden ser predichas (70, 91). Por tanto, estas fluctuaciones sólo pueden ser contrarrestadas por los cultivares que, además de presentar adaptación específica a las condiciones ambientales de una localidad dada, tengan una plasticidad que les proporcione un buen tamponamiento poblacional frente a los cambios interanuales en dicha localidad. La diversidad genética de los cultivares puede contribuir de forma eficaz a este tamponamiento (Anejo 2).

En muchos casos se ha argumentado que la selección conjunta para productividad y estabilidad disminuye la eficacia de la selección para rendimiento. Sin embargo, esto no es una regla general, ya que se han encontrado casos, por ejemplo en sorgo y mijo (66, 86), en que estabilidad y elevado rendimiento pueden ser compatibles. Cuando no sea posible conseguir al mismo tiempo estabilidad y rendimiento, en algunos casos, especialmente para la agricultura de subsistencia en áreas áridas y semiáridas, puede ser más importante la estabilidad de un cultivar que su potencial de rendimiento.

## **5. METODOS DE MEJORA QUE CONTRIBUYEN A UN INCREMENTO DE LA BIODIVERSIDAD**

Hemos visto que el uso de la biodiversidad permite una adaptación a condiciones específicas y un incremento de la estabilidad. Muchos métodos de mejora utilizados en la práctica han dado lugar a cultivares uniformes y genéticamente homogéneos (122). Sin embargo, existen alternativas de mejora que permiten incrementar o mantener la biodiversidad. Entre éstas se encuentran las siguientes:

### **5.1. Liberación directa de cultivares procedentes de las primeras generaciones de selección**

Uno de los métodos más fáciles para mantener diversidad dentro de cultivar es finalizar la selección dentro de familia en las primeras generaciones, de forma que en las generaciones avanzadas sólo se hace selección dentro de familia para la eliminación de tipos desfavorables. Esto permite el mantenimiento de una cantidad importante de variación.

Esta propuesta ha sido utilizada en algunas ocasiones. Muchos cultivares de trigo de invierno utilizados en los EEUU proceden de las generaciones F2 (p.e., 'Brule'), F3 (p.e., 'Arapahoe' y 'Scout') o F4 (p.e., 'Centurk'), y únicamente han sufrido selección dentro de familia eliminando tipos no deseables. Estos cultivares son heterogéneos, como indica la alta frecuencia de nuevos cultivares obtenidos a partir de reelección en estos materiales (10). En la actualidad el ICARDA, en su programa de mejora genética de la lenteja, produce familias procedentes de plantas F4 seleccionadas y luego cultivadas en masa, lo cual proporciona cierta heterogeneidad (31).

Las poblaciones derivadas de selección en las primeras generaciones son más estables que las obtenidas a partir de las selecciones realizadas en generaciones avanzadas (26, 129) y al mismo tiempo permiten alcanzar productividades elevadas. Boerma y Cooper realizaron selección entre familias de soja utilizando familias heterogéneas derivadas de F2 (en las que no se realizaba selección dentro de familia excepto para eliminar tipos desfavorables), obteniendo un grupo de cultivares que rendían hasta un 109% del parental más productivo (73). Los cultivares procedentes de F2 mostraron algunas ventajas, como tiempo reducido de obtención y rendimientos competitivos.

## 5.2. Mezclas de cultivares

En general se opina que las mezclas proporcionan más estabilidad y ofrecen una mejor protección frente a plagas y enfermedades que los monocultivos (73, 88).

Numerosas evidencias experimentales apoyan esta hipótesis. Frey y Maldonado (57) y Shorter y Frey (120) encontraron que las mezclas de líneas de avena presentaban un mayor tamponamiento frente a los cambios ambientales que las líneas componentes de las mezclas. Qualset y Granger (106) encontraron que la estabilidad de la mezcla de dos variedades de avena (una al 75% y otra al 25%) era siete veces mayor que la encontrada en el cultivo de la más estable de las dos variedades. También se ha demostrado que los efectos de la heterocigosidad y la heterogeneidad sobre la estabilidad del rendimiento pueden ser aditivamente combinados en mezclas de híbridos F1 (109). Por otra parte, Browning (22) encontró que las mezclas de dos variedades de avena (una susceptible a la roya del tallo y la otra sensible) excedían en rendimiento a la media de las variedades componentes, especialmente en condiciones de infección. Además, el ataque de roya fue mucho menor en el cultivar sensible cuando estaba en la mezcla que cuando se cultivaba en monocultivo, ya que la no uniformidad proporciona una cierta barrera a la dispersión del patógeno.

## 5.3. Cultivares multilínea

Al igual que con las mezclas, a nivel teórico, los cultivares multilínea son una alternativa atractiva a las líneas puras y además presentan la ventaja de su mayor uniformidad. El concepto de multilínea como la mezcla de una serie de líneas puras, desarrolladas para su cultivo específico como componentes de una variedad heterogénea, fue propuesto por Jensen (72).

Muchas veces no se encuentran diferencias significativas para rendimiento y calidad al comparar multilíneas con sus líneas componentes. Sin embargo, sí que se obtiene una mejora en la estabilidad, de forma que las multilíneas resultan en general más estables que las líneas puras (73). Así, Walker y Fehr (141) encontraron que las mezclas de líneas de soja presentaban una tendencia hacia mayor estabilidad que las líneas puras. En consecuencia propusieron el cultivo de una mezcla de varias líneas como un método para estabilizar la producción en aquel cultivo.

En poblaciones tales como las multimezclas y multilíneas, los cambios genéticos pueden ser controlados mediante la composición anual de nueva semilla, lo cual permite utilizar y explotar los diferentes microambientes. Además, para mejorar la estabilidad de una multilínea, el propio Jensen (73) propone el uso de componentes menos fijados que las líneas puras, pudiéndose utilizar retrocruces con un número restringido de generaciones de retrocruzamiento en lugar de líneas puras. De este modo se introduciría diversidad adicional dentro de la población.

Al igual que con las mezclas, una de las ventajas de las multilíneas es que también pueden ayudar a disminuir los efectos de las epidemias. Borlaug (17) propuso una variedad compuesta que sería una mezcla de varias líneas fenotípicamente similares para los caracteres de interés agronómico, pero genotípicamente diferentes para la resistencia, lo cual proporcionaría mejor protección frente a las enfermedades.

#### **5.4. Variedades locales**

Las variedades locales tienen una buena adaptación específica a condiciones locales, no sólo ambientales, sino también sociales y culturales. Las variedades locales son típicamente mezclas de diferentes genotipos conteniendo una gran cantidad de variación genética dentro de un fondo adaptado (21, 24, 34), lo cual les proporciona un importante tamponamiento poblacional que les permite enfrentarse con los cambios impredecibles del clima y de otros estreses bióticos y abióticos (31).

Los rendimientos medios de las variedades tradicionales se ven menos afectados por las interacciones genotipo x año que los de las variedades modernas y su variabilidad genética les proporciona seguridad contra posibles riesgos (62). Debido a esta resistencia, dentro de su área de adaptación, los rendimientos de las variedades locales son más estables en el tiempo y en el espacio que los de las variedades modernas (51). Las evidencias existentes sugieren que las variedades locales pueden verse menos afectadas por estreses de tipo ambiental como la salinidad y la sequía. La resistencia a plagas y patógenos que presentan probablemente es resultado de la resistencia horizontal controlada por varios genes, comparada con la resistencia vertical de las variedades modernas basada en uno o pocos genes de resistencia (31, 137, 143).

La mejora de las variedades locales puede conseguirse mediante la simple selección dentro de variedad local. Sin embargo, esta selección podría llevar a una pérdida importante de diversidad de las razas locales y, en último extremo, a la selección de líneas puras (28). Por tanto, esta selección debería hacerse con presiones de selección bajas, eliminando únicamente tipos desfavorables. Otra opción de mejora es la introgresión de germoplasma foráneo con buenas características de productividad u otras para las cuales puede no existir variación (o ésta es pequeña) en la variedad local. Esta introgresión de germoplasma foráneo podría, mediante hibridación y recombinación, mejorar la raza local gracias a la aparición de recombinantes superiores. Brush (24) ha encontrado que en México, muchas variedades locales de maíz se han visto mejoradas debido a que han entrado en contacto con variedades modernas.

#### **5.5. Cruces compuestos**

Las poblaciones procedentes de cruces compuestos ofrecen una oportunidad de producir cultivares con mucha diversidad. En cebada, se ha encontrado que los cruces compuestos son, en general, más estables que los cultivares comerciales (130), ya que tienen un mayor tamponamiento frente a las variaciones ambientales. El rendimiento medio de las primeras generaciones de los cruces compuestos suele ser menor que el de las variedades comerciales, pero como consecuencia de la evolución y selección en ambientes específicos, los cruces compuestos continúan aumentando su rendimiento a medida que pasan las generaciones (68, 124, 135). Esto permite que en generaciones avanzadas se obtengan rendimientos incluso superiores a los de las variedades comerciales (136).

#### **5.6. Híbridos “topcross”**

Los híbridos “topcross” (línea x variedad) han sido frecuentemente usados en maíz y sorgo para determinar la aptitud combinatoria general de líneas con esterilidad masculina o de poblaciones restauradoras, pero no han sido comercialmente utilizados. Los híbridos “topcross” pueden representar un compromiso potencial entre el alto rendimiento de los híbridos y la mayor estabilidad de las variedades de polinización abierta y razas locales (94, 148).

En un estudio realizado en mijo (86), el análisis de la estabilidad basado en las desviaciones de la regresión indicó que los “topcrosses” eran tan estables o más que sus polinizadores. La comparación de los polinizadores con sus “topcrosses” mostró que éstos mejoran el rendimiento al mismo tiempo que mantienen la heterogeneidad genética, lo cual permite aumentar la estabilidad de la producción y retener la adaptación a ambientes de bajo rendimiento.

### **5.7. Variedades sintéticas**

En plantas alógamas, el desarrollo de variedades sintéticas de amplia base genética es una alternativa atractiva, ya que permite utilizar una alta proporción de la heterosis y el efecto ventajoso de la heterogeneidad al mismo tiempo que proporciona estabilidad del rendimiento (133). Las variedades sintéticas presentan una amplia flexibilidad para soportar las condiciones ambientales variables, además de permitir al agricultor utilizar su propia semilla año tras año (94). Esto ha hecho que, en cultivos como el maíz, las variedades sintéticas hayan sido muy utilizadas, especialmente en condiciones marginales. Por otra parte, las variedades sintéticas han sido utilizadas en muchos cultivos, como los forrajeros, en que la producción de híbridos es económicamente inviable (65, 111)

### **5.8. Variedades de polinización abierta**

Las variedades de polinización abierta son utilizadas en muchos cultivos alógamos y se caracterizan por su amplia base genética y por su capacidad de adaptación (9, 127). Estas variedades se ven menos afectadas por las fluctuaciones ambientales y requieren menos insumos que las variedades homogéneas (83). Las variedades de polinización abierta, en general, son menos productivas que los cultivares modernos en ambientes favorables (27), pero se comportan mejor en ambientes marginales. En algunos cultivos, como en el centeno, las variedades de polinización abierta presentan una productividad superior a la de los cultivares homogéneos.

### **5.9. Híbridos de varias vías**

Los híbridos de tres y cuatro vías fueron muy utilizados en maíz hasta que la producción de semilla de híbridos simples llegó a ser económicamente competitiva. En principio, los híbridos simples son más heteróticos, uniformes y fáciles de obtener que los híbridos de varias vías; pero la obtención de la semilla F1 entre líneas puras es más costosa debido al escaso vigor de las líneas parentales. A medida que se fueron obteniendo líneas puras más vigorosas, el uso de los híbridos de varias vías fue disminuyendo al abaratare los costes de obtención de semilla híbrida F1 (94). Sin embargo, los híbridos de varias vías presentan una mayor estabilidad que los híbridos simples, consecuencia de su mayor heterogeneidad (13, 69, 102), y pueden tener productividades similares a las de los híbridos simples (116).

### **5.10. Otros materiales plásticos**

En algunos cultivos de propagación vegetativa, la obtención de híbridos entre clones heterocigotos, pero genéticamente distanciados, puede proporcionar híbridos con una gran variabilidad y al mismo tiempo heteróticos, presentando una productividad superior a la de los clones parentales. Además de ser más productivos, en algunos cultivos como el pepino dulce, estos híbridos clonales se han mostrado más homeostáticos frente al estrés de tipo salino que los parentales (113).

## **6. CONTRIBUCIONES DE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGIAS AL DESARROLLO DE CULTIVARES BIODIVERSOS**

La aplicación de las nuevas herramientas proporcionadas por la biotecnología ofrece la posibilidad de una auténtica revolución en la mejora de plantas, ya que permite superar algunas de las limitaciones de la mejora convencional. En términos simples (25, 39), la biotecnología puede ayudar al mejorador incrementando la efectividad de la selección y aumentando la base genética disponible para el mejorador (anexo 3).

El impacto de estas biotecnologías en la biodiversidad agrícola depende del uso que de ellas se haga. Existe el peligro de que estas técnicas se utilicen en un número limitado de cultivos, dejándose de lado a muchos cultivos secundarios y a los que se muestran recalcitrantes a estas técnicas. Existe también el peligro de que la liberación de unas pocas variedades con alguna característica superior desplace la biodiversidad agrícola en favor de la uniformidad. Sin embargo, si se utilizan de forma adecuada, no sólo pueden contribuir a un importante avance en la mejora, sino también al mantenimiento o aumento de la diversidad global. Además, estas técnicas pueden ser utilizadas para introducir mejoras en variedades adaptadas a ambientes específicos (87).

En la mejora de la resistencia a plagas y enfermedades encontramos un ejemplo concreto de la contribución que estas técnicas pueden tener al mantenimiento de la biodiversidad agrícola. Con la internacionalización de la agricultura, se ha favorecido la diseminación de muchas plagas y enfermedades, de forma que muchos cultivares y variedades locales adaptados a ambientes específicos se encuentran desprotegidos frente a estos nuevos enemigos. Las técnicas de transformación genética, al posibilitar la conversión de un elevado número de genotipos, podrían permitir la introducción de forma rápida de resistencias o tolerancias a estas plagas y enfermedades en las variedades locales y la rápida producción de variedades multilínea resistentes a patógenos.

## **7. LA BIODIVERSIDAD EN LOS DISTINTOS SISTEMAS DE CULTIVO**

Un sistema de cultivo simple es aquel en el que se lleva a cabo un único cultivo durante el año. Si el período potencial de cultivo es corto, este sistema puede ser relativamente eficiente, dado que inevitablemente implica crecimiento y maduración rápidos. Evidentemente estos sistemas de cultivo presentan muy poca diversidad genética. Ejemplos extremos son el cultivo de la patata en las grandes llanuras de CentroEuropa y el del maíz en el llamado “cinturón del maíz” en EEUU. Este último ejemplo, cuando implica el cultivo de híbridos simples de maíz, constituye un sistema con diversidad genética mínima.

En contraposición, el concepto de cultivo múltiple es muy amplio (128), pudiendo incluir desde una simple variedad de cereal multilínea, hasta los altamente complejos sistemas de cultivo practicados en las tierras bajas de Asia y Africa, en los cuales intervienen de forma casi simultánea más de doce especies distintas (99). Por ello, algunas de las estrategias biodiversas antes citadas corresponden en la práctica a algún tipo de cultivo múltiple.

En general, estos sistemas, al distribuir el riesgo entre varios cultivos, ofrecen una mayor estabilidad de la producción de alimentos, de los ingresos, o de ambos (89, 128, 147). Además, se pueden obtener mayores rendimientos debido a un uso más eficiente de los recursos (80, 138) y a la reducción de la incidencia de plagas y enfermedades. Los sistemas de cultivo más frecuentes son:

## 7.1. Sistemas de cultivo múltiples en el tiempo

### 7.1.1. Cultivos secuenciales o rotaciones de cultivos (“double” o “triple cropping”)

Cuando se llevan a cabo dos (o más) cultivos consecutivos, sembrando el segundo después de la cosecha del primero. Ejemplos: áreas con 750 mm de lluvia en suelos vertisoles profundos de la India. Un primer cultivo madura bajo buenas condiciones al final de los 90-100 días del período lluvioso y un segundo cultivo crece con el agua residual durante 90-100 días más. Se pueden obtener altas cosechas de maíz, sorgo o soja seguidas de garbanzo, cártamo o sorgo (108). La inclusión de leguminosas en las rotaciones de cultivos proporciona la conocida ventaja de aportar nitrógeno mediante fijación simbiótica. Las rotaciones de cultivos son también muy características de zonas tradicionales de horticultura intensiva del litoral mediterráneo.

Estos sistemas tienen el inconveniente de que se pueden dar periodos de excesiva acumulación de trabajo de campo.

### 7.1.2. Cultivos en relevo (“relay cropping”)

Un segundo cultivo se siembra 2 ó 3 semanas antes de la cosecha del primero, evitando la coincidencia en el tiempo de ambos trabajos. Se diferencia del “intercropping” en que el período de solape es demasiado corto como para causar competencia entre ambos cultivos. El ejemplo más común es la siembra a voleo de una variedad “relevo” dentro de un cultivo de arroz de 2 a 5 semanas antes de la cosecha de éste.

Normalmente estos sistemas requieren cultivares diferentes a los utilizados en monocultivo, de ciclos más cortos y con adaptación a requerimientos térmicos específicos. Presentan el inconveniente de dificultar la recolección del primer cultivo.

### 7.1.3. Cultivos rebrotados (“ratoon cropping”)

El rastrojo de un primer cultivo se deja crecer para que produzca un segundo cultivo (cultivo rebrotado), con la ventaja de evitar los costes y problemas de establecer un nuevo cultivo, obteniéndose además un menor período de crecimiento. Sin embargo, pocas especies anuales se prestan a este sistema. El sorgo y el mijo perla (*Pennisetum americanum*) lo hacen, pero las segundas cosechas son menores y más variables. Una nueva posibilidad es el desarrollo de genotipos de guisante de Angola (*Cajanus cajan*) muy tempranos, que pueden madurar en 90-100 días y que producen una buena cosecha “ratoon” (147).

Desde el punto de vista de la agrobiodiversidad este sistema es similar al monocultivo.

### 7.1.4. Intercultivo temporal (“temporal intercropping”)

Cuando un cultivo de rápido crecimiento y de maduración precoz se intercultiva con otro más lento y de maduración tardía. Un ejemplo típico lo constituyen las combinaciones sorgo/guisante de Angola, las cuales son un sistema de cultivo muy común en la India.

## 7.2. Sistemas de cultivo múltiples en el espacio

### 7.2.1. Intercultivo espacial (“*spatial intercropping*”)

Este tipo de cultivo se basa en combinaciones en las que se da poca o ninguna diferencia entre los períodos de maduración de los cultivos, pero hay diferencias en la distribución espacial del follaje, del sistema radical, o de ambos. Un ejemplo típico es el sistema mijo/cacahuete, común en la India y África Occidental. Normalmente se suele hablar de cultivos de estrato bajo (“*low story crops*”) y de estrato alto (“*high story crops*”).

### 7.2.2. Cultivo en callejón o pasillo (“*alley cropping*”)

Cultivos anuales que se siembran entre filas de leguminosas arbóreas de rápido crecimiento y raíces profundas (muy utilizados son los géneros *Leucaena* y *Gliricidia*). Los setos normalmente se podan al comienzo de la estación lluviosa o antes de sembrar el cultivo anual. Estos sistemas son especialmente adecuados para la conservación de suelos muy expuestos a la degradación por el viento o el agua (78).

Un sistema intermedio entre el intercultivo espacial y en callejón es el que se emplea en el cultivo del café en zonas en las que se da una excesiva insolación para esta planta, por lo cual se cultiva bajo el sombreado producido por leguminosas de gran porte.

## 7.3. Sistemas de cultivo múltiples en el espacio y en el tiempo

Se trata de sistemas en los que se emplea una enorme diversidad de cultivos. Quizá el ejemplo más característico lo constituyan los pequeños huertos o milpas de Centroamérica, como el descrito por Edgar Anderson (4) en su libro “*Plants, Man and Life*”. Se pueden encontrar cerca de 25 especies cultivadas en el mismo huerto, utilizadas de forma que previenen la erosión del suelo, evitan la infestación de malas hierbas no deseadas, retienen la humedad del suelo y hacen el mejor uso posible del espacio disponible. Estos huertos están en continua producción a lo largo de todo el año, ofreciendo además de forma simultánea diferentes alimentos o especias. Son los sistemas que más se asemejan a los ecosistemas naturales más diversos.

## 8. ESTRATEGIAS DE MEJORA EN FUNCION DE LOS SISTEMAS AGRICOLAS

En los sistemas de manejo agrícola normalmente ha existido una compensación entre diversidad y mejora genética formal, dándose una importante interacción entre los requerimientos de insumos y la mejora genética científica efectuada (11). De esta forma, los sistemas agrícolas basados en altos insumos, que son aquellos en donde más ha actuado la mejora genética formal, son menos diversos que los de bajos insumos, en los cuales la mejora genética formal ha actuado poco (33, 64, 101). Por tanto, para estos dos tipos de sistemas, se hacen necesarios dos tipos diferentes de estrategias de mejora:

- a) Para los sistemas agrícolas de altos insumos, que son muy productivos pero genéticamente poco diversos, debería aumentarse la diversidad, manteniéndose o incluso elevándose la productividad.
- b) Para los sistemas agrícolas de bajos insumos, que son poco productivos pero genéticamente diversos, debería incrementarse la productividad, evitándose reducir la diversidad.

### 8.1. Sistemas de altos insumos

En estos sistemas la biodiversidad se encuentra restringida, cultivándose en general muy pocos cultivos con muy pocas variedades de cada cultivo (58). A modo de ejemplo, el cultivar ‘Florunner’ llegó a ocupar el 93 % de la superficie total de cultivo del cacahuete en los EEUU. En estos sistemas de altos insumos el reemplazamiento varietal suele ir asociado a la introducción de nuevas resistencias a plagas o enfermedades (81, 131). Sin embargo, en muchos casos, sólo suelen introducirse cambios en unos pocos genes, permaneciendo el fondo genético prácticamente sin modificar.

La diversidad en estos sistemas se podría incrementar mediante varias estrategias, al mismo tiempo que se mantiene la productividad:

- a) Ampliando la base genética de los cultivares utilizados, mediante un mayor uso en los programas de mejora de los recursos fitogenéticos de los cultivos o de especies relacionadas (64). A modo de ejemplo, más del 90% de los programas de mejora del maíz en los EEUU se ha basado fundamentalmente en sólo el 2% del germoplasma disponible de esta especie (60).
- b) Explotando la adaptación a condiciones locales. Hasta ahora se ha seguido una estrategia diferente, intentándose obtener variedades genéticamente uniformes y con amplia adaptación geográfica (28). La mejora para condiciones locales podría hacer una importante contribución a la sostenibilidad, ya que al permitir la obtención de variedades adaptadas a ambientes específicos, posibilitaría reducir los insumos. La mejora para condiciones locales además permitiría incrementar el número de variedades cultivadas.
- c) Introduciendo cultivos múltiples. La agricultura occidental no hace un uso suficiente del cultivo múltiple, ya que presenta mayores dificultades de mecanización que los monocultivos. Sin embargo, muchos científicos reconocen que hay insuficiente investigación sobre las posibles interacciones positivas entre especies y cultivares utilizados en estos sistemas de cultivo. Los cultivos múltiples pueden contribuir de forma importante a la diversidad y sostenibilidad de la producción agraria (55).
- d) Introduciendo mezclas de cultivares y multilíneas. A pesar de sus ventajas en cuanto a la estabilidad y la protección frente a plagas y enfermedades, una objeción común al cultivo de mezclas ha sido la cuestión de la uniformidad. Sin embargo, en la actualidad se está notando un cambio de actitud en algunos sectores, propiciado por la concienciación sobre la necesidad de respetar el ambiente y hacerlo sostenible. Por ejemplo, aunque los elaboradores de malta habían sido reacios a aceptar mezclas de variedades, debido a su menor uniformidad, en los últimos tiempos las están aceptando, de forma que en la actualidad sólo en Dinamarca ya hay más de 100.000 ha cultivadas con mezclas de cebada cervecera (149).
- e) Incrementando la diversidad genética dentro de cultivar. En estos sistemas se ha tendido a utilizar cultivares genéticamente uniformes (122). Sin embargo, esta diversidad podría incrementarse siempre y cuando se mantenga la uniformidad fenotípica para determinados caracteres de interés comercial y relacionados con la mecanización, recolección, etc. Esto no parece que sea un objetivo imposible de conseguir, ya que muchas variedades locales, las cuales son genéticamente diversas, mantienen una uniformidad fenotípica considerable.
- f) Introduciendo y recuperando cultivos marginados. La mejora genética no se aplica con la misma intensidad y éxito en todos los cultivos, de forma que la competitividad económica de cultivos específicos determina los flujos de apoyo económico para su desarrollo en un proceso de “retroalimentación” (58). Así, los programas de mejora formal han hecho un énfasis mínimo en cultivos menores, especies promisorias y silvestres (1). De esta manera, muchos cultivos con un gran potencial están sin explotar (93, 95, 96, 140).

## 8.2. Sistemas de bajos insumos

Una característica destacable de estos sistemas es su alto grado de diversidad en el tiempo y en el espacio (32, 33), como ocurre en los sistemas de cultivo múltiple antes mencionados. Estos sistemas representan una estrategia para promover la diversidad de alimentos y de otros recursos no alimentarios, la estabilidad de la producción, la minimización del riesgo, etc. (1). Sin embargo, en muchas ocasiones presentan una productividad baja y las estrategias utilizadas hasta ahora para realizar su mejora han sido poco efectivas. En condiciones de bajos insumos la sustitución de variedades locales por cultivares generalmente homogéneos no ha conducido a los resultados apetecidos (63, 90).

Varias estrategias pueden usarse para mejorar la productividad manteniendo la diversidad:

- a) Mejorando los cultivos teniendo en cuenta la complejidad del sistema. Estos sistemas normalmente comprenden varios cultivos, por lo que la mejora debería dirigirse al sistema completo más que a los cultivos individuales. Por ejemplo, en las típicas rotaciones trigo-lenteja del Cercano Oriente, la mejora debe hacerse teniendo en cuenta que el trigo aprovecha parte del agua dejada el año anterior por la lenteja. Por tanto, una mejora independiente de la lenteja y del trigo, podría llevar a variedades de lenteja más productivas pero que dejasen agotada el agua del suelo, con lo cual quedaría seriamente perjudicado el cultivo de trigo (33). También una mejora para la fijación de nitrógeno en las especies leguminosas podría aumentar la productividad del sistema y no tener un efecto visible en el cultivo o variedad en la que se efectúa la mejora, pero repercutiría muy positivamente en los cultivos siguientes. Así mismo, el “intercropping” es un sistema de cultivo usual en situaciones de bajos insumos (126, 147). Sin embargo, se ha hecho poco trabajo de mejora formal en este sistema de cultivo. La mejora debería hacerse teniendo en cuenta las interacciones entre los cultivos (55). Esto no se suele hacer ya que normalmente se mejora para monocultivo esperando una respuesta correlacionada en condiciones de “intercropping”. Sin embargo, se ha demostrado que la evaluación en condiciones de monocultivo no es útil para identificar cultivares adecuados para “intercropping” (47). Entre los caracteres de importancia que deberían ser tenidos en cuenta están: tiempo hasta madurez, sensibilidad al fotoperíodo, morfología de la planta, sistema radical, tolerancia al estrés, respuesta a la densidad de plantación, resistencia a plagas y enfermedades, calidad, estabilidad, etc (128)
- b) Mejorando las variedades locales. Las variedades locales son genéticamente heterogéneas y están adaptadas a ambientes físicos, sociales y culturales, ya que han sido desarrolladas durante muchas generaciones en localidades particulares (34, 62, 152). Las variedades locales heterogéneas son todavía la columna vertebral de la producción en muchos países en desarrollo, principalmente en ambientes marginales (29), ya que requieren pocos insumos y se encuentran adaptadas a las necesidades de los agricultores. Además de la mejora de las razas locales mediante selección e introgresión de germoplasma, las razas locales también pueden intervenir en otras propuestas como la utilización de híbridos “topcross”, que pueden mejorar mucho la productividad al mismo tiempo que mantienen la diversidad y la adaptabilidad (86). Los cruces compuestos podrían ser utilizados en zonas en que no existen variedades locales adaptadas. Debido a la evolución y a la selección natural en ambientes específicos (103, 130), el cruce compuesto puede llegar a convertirse en una “variedad local” genéticamente heterogénea y adaptada a las condiciones locales en que ha evolucionado.

- c) Utilizando variedades sintéticas y de polinización abierta. En alógamas, estas variedades pueden aumentar la productividad en este tipo de sistemas, ya que la diversidad que presentan les confiere una importante plasticidad. Además, con ellas el agricultor no necesita comprar semilla año tras año (94).
- d) Utilizando mezclas de cultivares. Esta estrategia es frecuente (24, 63, 139). En este sentido puede tener un claro interés la introducción de variedades nuevas, no para reemplazar las existentes sino para integrarlas en los sistemas de cultivo y manejo propios de estos sistemas. De hecho, es frecuente la plantación mixta de variedades mejoradas y antiguas, incorporando variedades modernas pero sin descartar las variedades tradicionales (24).
- e) Recuperando cultivos marginados. Algunos cultivos sobre los que la mejora ha hecho mucho énfasis, como el arroz y el trigo, son cultivos de lujo en algunas zonas, mientras que otros cultivos que en sus zonas tienen una importancia considerable, como el mijo, mandioca, guisantes, caupíes y otros muchos, han recibido poca atención hasta hace poco (63). La recuperación de cultivos locales marginados permitiría aumentar la sostenibilidad. Muchos de estos cultivos han evolucionado durante largo tiempo bajo condiciones locales, por lo que se encuentran muy adaptados y presentan una mayor resistencia frente a plagas y enfermedades (23), lo cual contribuye a incrementar la estabilidad global de la producción.

## **9. LA PARTICIPACION DEL AGRICULTOR**

Los agricultores juegan un papel activo como mejoradores al mantener e incrementar la diversidad genética. Los agricultores desarrollan variedades nuevas a través de una diversidad de técnicas. Estas técnicas incluyen la recolección y la domesticación de plantas silvestres, el mantenimiento de mutaciones espontáneas, la hibridación con plantas silvestres, la elección del sistema de plantación para regular la polinización cruzada, la eliminación de plantas no deseadas en el campo y la selección de semillas para replantación (34). Muchos mejoradores están de acuerdo en que desde el principio de la agricultura, los agricultores han contribuido mucho más a la mejora de los cultivos que la mejora formal durante el período de mejora genética moderna (2).

Algunas prácticas llevadas a cabo por los agricultores tradicionales contribuyen especialmente al proceso de mejora y al aumento de la diversidad. Por ejemplo, mediante la práctica de cultivo no limpio, los agricultores inadvertidamente incrementan el flujo de genes entre los cultivos y las plantas silvestres y adventicias relacionadas con ellos (1). Aunque la hibridación natural a corto plazo disminuye la productividad, incrementa la variabilidad y la diversidad genética disponible para los agricultores (62). Hay evidencias de que algunos agricultores mexicanos permiten al teosinte que permanezca en sus campos de maíz o cerca de ellos, por lo que se dan algunos cruces espontáneos (146). La presencia de adventicias específicas en los agroecosistemas tradicionales puede permitir una domesticación progresiva (1, 41). Los agricultores, además, pueden obtener otros beneficios de la presencia de niveles tolerables de adventicias en sus campos, ya que algunas son utilizables directamente para propósitos medicinales y de cocina (40).

Recientemente se han descrito detalladamente las prácticas que usan los agricultores para ensayar y seleccionar nuevas variedades. Por ejemplo, algunas comunidades en Africa y Asia realizan experimentos para probar nuevos materiales obtenidos por ellos mismos o por intercambio con comunidades vecinas (82). Estas comunidades realizan ensayos en campo, incluyendo estimas de rendimiento, y seleccionan nuevas variedades que se añaden a las ya existentes. En un cultivo como el arroz, por estos procedimientos, se llegan a adoptar dos o tres variedades nuevas en cada estación, demostrando claramente la naturaleza dinámica de la mejora efectuada por los agricultores (139).

La participación del agricultor en los programas modernos de mejora ha estado limitada al papel pasivo de proporcionar tierra para los ensayos dentro de explotación y en aportar recursos fitogenéticos a los programas de mejora (48). Sin embargo, son evidentes las habilidades de mejora de los agricultores, el valor de las variedades tradicionales como base de mejora para ambientes específicos, especialmente marginales, y el potencial de participación del agricultor en los programas de mejora mediante colaboración con los mejoradores formales.

Los programas de mejora rara vez han aprovechado el sofisticado conocimiento de los pequeños agricultores sobre diferencias entre cultivares y el uso de estas diferencias en las estrategias de mejora. Cuando la mejora se centra sólo en aspectos físicos (clima, suelo, etc.) y no se tienen en cuenta los aspectos sociológicos, como los usos, la adaptabilidad para la rotación de cultivos, para "intercropping", etc., probablemente los agricultores rechazarán las variedades de alto rendimiento más valoradas por los mejoradores científicos. En muchas ocasiones existen diferencias profundas en los criterios de selección entre los agricultores y los mejoradores. Muchas de las variedades desarrolladas por los mejoradores han sido de poca relevancia para los agricultores y, por otra parte, los mejoradores han rechazado material que posteriormente ha tenido amplia aceptación entre los agricultores (90). Los mejoradores, en su busca del cultivar ideal, son muy restrictivos en sus criterios de selección y, en muchas ocasiones, son mucho más conservadores que los agricultores, lo cual ha llevado a rechazar algunos cultivares potencialmente útiles (63). Por ejemplo, en el Sudeste asiático, algunas variedades inicialmente descartadas por los mejoradores demostraron posteriormente su valor, siendo cultivadas por un gran número de agricultores.

La mejora, por tanto, no debería subestimar el papel del agricultor, ya que puede beneficiarse de la habilidad de los agricultores en el manejo de la diversidad (150). Los agricultores por sí mismos son experimentadores expertos con nuevos materiales. Su participación en los programas de mejora contribuiría a perfeccionar estos programas, al hacer uso de sus conocimientos y sistemas propios de experimentación. Al mismo tiempo permitiría acelerar la evolución de las variedades tradicionales en respuesta a las necesidades rápidamente cambiantes (92). Por tanto, en los casos en que la selección y la experimentación de los agricultores se ha deteriorado como resultado de cambios sociales o ambientales es muy conveniente restablecer la colaboración de los agricultores en los programas de mejora formal (34).

Al establecer el diseño experimental, los agricultores pueden contribuir a definir criterios de evaluación (7). Usualmente, los agricultores intervienen en los experimentos dentro de las estaciones experimentales o bien son consultados de manera más o menos formal. La participación del agricultor debería intensificarse mediante la formación de paneles de agricultores que regularmente visiten y expresen sus opiniones y sus limitaciones a los mejoradores, la creación de grupos de trabajo con agricultores innovadores, la organización de reuniones comunitarias en las cuales los agricultores puedan expresar sus opiniones sobre el diseño de los ensayos dentro de explotación, etc. (63, 90).

Además de aportar información para un mejor desarrollo de los planes de mejora, los agricultores pueden intervenir activamente realizando mejora genética por sí mismos. Los agricultores pueden utilizar sistemas de mejora relativamente sencillos y que permiten un incremento importante de la producción. Por ejemplo, en el maíz se ha encontrado una alta correlación entre la sincronización de la floración y el rendimiento; la selección para una mayor sincronización de la floración puede ser realizada fácilmente por los agricultores (16). En algunos sistemas de cultivo del arroz, la recolección se hace panícula a panícula usando un pequeño cuchillo. Esta práctica cultural permite la inspección de

todas las panículas y la selección de nuevas formas fuera de tipo (139). Berg et al. (14) abogan por que los mejoradores formales proporcionen material avanzado, genéticamente diverso, a los agricultores para que éstos realicen selección en sus campos. Esta estrategia participatoria es especialmente interesante en el caso de agricultores con bajos recursos, ya que ellos mismos pueden desarrollar sus propias variedades adaptadas a sus peculiares condiciones de cultivo (132, 150). De hecho, en un programa participativo de mejora del arroz en la India, los agricultores creían inicialmente que no era posible mejorar bajo sus condiciones restringidas, mientras que al cabo de sólo un año de experimentación pedían que los experimentos se extendiesen a más especies (90).

Los programas de mejora pueden ser más efectivos mediante la participación de los agricultores, especialmente en sistemas de bajos insumos, favoreciendo una mejora para condiciones específicas de cultivo y de usos, basada en la agrodiversidad.

## **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA MEJORA GENETICA EN EL MANTENIMIENTO Y DESARROLLO DE LA AGRODIVERSIDAD**

Ya hemos visto que la mejora genética puede hacer una eficaz contribución al mantenimiento de la diversidad agrícola. Sin embargo, se hacen necesarias medidas adicionales en el ámbito político, administrativo y legal que hagan posible que las propuestas técnicas antes expuestas puedan ser desarrolladas de forma efectiva. La aplicabilidad de algunas de estas medidas o de algunos aspectos de las mismas está condicionada por la situación particular de cada país o región. Sin pretender ser exhaustivos, pasamos a considerar algunas sugerencias que podrían contribuir al mantenimiento de la agrodiversidad.

### **10.1. Normativa legal para la protección de los derechos del obtentor**

Las tendencias actuales del mercado, especialmente en los países desarrollados, valoran de forma muy importante la uniformidad, particularmente en los productos hortofrutícolas. Esto es así no sólo porque la uniformidad facilita el manipulado, procesado, envasado y presentación de los productos, sino porque los gustos actuales de los consumidores han sido educados en este sentido. Las campañas publicitarias han enfatizado la imagen de un producto homogéneo y uniforme, identificándolo con alta calidad. De esta forma, las exigencias del mercado condicionan las características varietales y objetivos de mejora en los programas de desarrollo de nuevos cultivares. Por otra parte, los obtentores necesitan ver protegidas sus variedades para poder obtener un beneficio económico del trabajo realizado. Para que estas variedades puedan ser registradas y protegidas por la UPOV (Unión para la Protección de las Obtenciones Vegetales), uno de los requerimientos específicos es su uniformidad u homogeneidad. La legislación actual en materia de derechos del obtentor solamente es aplicable al material de propagación distinto, uniforme y estable a lo largo de las generaciones. Además, los sistemas de protección de variedades exigen el fácil reconocimiento del objeto de protección y la precisa identificación de las posibles infracciones. De esta forma, variedades con elevado grado de uniformidad son registradas sin problemas, mientras que materiales con cierto grado de diversidad pueden ver dificultado su registro.

Esta normativa legal actual sobre protección de variedades no favorece el uso de materiales biodiversos en la producción agrícola. Así, los obtentores se han centrado en la obtención de materiales homogéneos, lo cual ha llevado a una pérdida importante de biodiversidad en la producción agrícola. El

establecimiento de una normativa menos estricta sobre la uniformidad de los materiales podría contribuir de forma significativa al mantenimiento de la agrobiodiversidad.

Por otra parte, los criterios de protección de variedades de la UPOV sólo afectan a los países miembros de esta organización, la mayoría de los cuales son países desarrollados. Sin embargo, en el Acuerdo sobre los ADPIC, Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio (TRIPS, Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights) aprobado como parte de los resultados de la Ronda Uruguay del GATT (en la que han participado casi todos los países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo), se han introducido normas internacionales sobre la protección de los derechos del obtentor. En virtud del artículo 27.3.b), los Miembros “otorgarán protección a todas las obtenciones vegetales mediante patentes, mediante un sistema eficaz sui generis o mediante una combinación de aquéllas y éste”. Ello significa que a pesar de tener que ofrecer una protección a las obtenciones vegetales, se da una cierta libertad sobre la forma de hacerlo. De este modo, muchos países que en la actualidad no protegen las variedades vegetales (especialmente los países en vías de desarrollo) tienen suficientes posibilidades para elaborar sus sistemas de protección de manera que se ajusten a sus necesidades y usos. Esta cierta libertad podría utilizarse para relajar los criterios actuales de registro y protección de variedades, de forma que materiales no estrictamente uniformes y con cierta plasticidad residual pudiesen ser registrados y protegidos.

Sería conveniente que los sistemas de protección de variedades fuesen asociados a la “exención del obtentor”. Esta “exención” permite, en determinadas condiciones, utilizar una variedad protegida como base para la obtención de una variedad ulterior por terceros. Si el sistema utilizado para la protección de las variedades, especialmente en el caso del sistema de patentes, restringe la “exención del obtentor”, se podría ver disminuida la variabilidad fácilmente disponible para el obtentor. En cambio, su mantenimiento, junto con la posibilidad de registro de materiales con cierto grado de diversidad, tendría un efecto multiplicativo sobre el uso de la agrobiodiversidad. Posibilitaría el uso por parte de los mejoradores de material biodiverso ya mejorado, lo cual favorecería el aumento de la diversidad en los cultivos agrícolas.

## **10.2. Política científica agraria de los organismos internacionales**

En la actualidad los nuevos cultivares son obtenidos por un número muy reducido de grandes empresas que controlan la multiplicación y la comercialización de la semilla. La experiencia indica que estas empresas han absorbido a las pequeñas empresas tradicionales, las cuales aseguraban el mantenimiento de una amplia biodiversidad, ya que realizaban mejora para condiciones específicas. A su vez, las genuinas empresas de semillas han pasado a ser dependientes en gran parte de otras de capital diversificado. Mediante los procesos de absorción y fusión de empresas se vislumbra una clara tendencia hacia el oligopolio, y hacia el paso de programas de adaptación específica a programas de adaptación general, lo cual puede llevar a una pérdida muy importante de la agrobiodiversidad.

Con los sistemas de protección de variedades se pretende incentivar la innovación, proporcionando unos beneficios al obtentor. Con ello, el obtentor estará más dispuesto a invertir en I + D. En un mercado de libre competencia, la competencia entre diferentes productos protegidos suele hacer que la mayor parte del beneficio de las protecciones vaya a parar al consumidor. Este efecto desaparece si falta la libre competencia como consecuencia del oligopolismo generado por la absorción y fusión de empresas (12, 95).

Los esfuerzos de investigación de la empresa privada se están concentrando en los cultivos y tipos varietales que les dan un mayor rendimiento económico, desarrollándose cultivares con adaptación general. Para compensar la situación anterior, los organismos públicos deberían fomentar la mejora para adaptación a condiciones específicas. Como hemos visto en el apartado 3, el aprovechamiento de la adaptación específica permite disminuir los insumos, optimizar la productividad y la estabilidad, al mismo tiempo que tiene efectos positivos en la agrobiodiversidad. Una vía por la cual se podría promocionar la diversidad agrícola sería mediante un apoyo económico condicionado a los grupos que realizasen mejora para condiciones específicas y usasen métodos, como los descritos en el apartado 5, que no colapsan la variabilidad.

### **10.3. Promoción de cultivares tradicionales y biodiversos**

Como hemos dicho, las tendencias del mercado dominantes hasta el momento han hecho un énfasis especial en la uniformidad. Sin embargo, en la actualidad, el consumidor de los países más desarrollados empieza a exigir algo más que buena presentación, existiendo una opinión negativa muy generalizada entre los consumidores sobre las cualidades organolépticas de muchos productos procedentes de variedades modernas. Esta situación podría ser utilizada perfectamente para la promoción de las variedades tradicionales, las cuales frecuentemente presentan características particulares que las hacen especialmente adecuadas para determinados tipos de uso y, en general, son localmente muy apreciadas por los consumidores. Se abre así una interesante posibilidad de aprovechar las variedades tradicionales mediante una adecuada comercialización. La clave estaría en comercializar estos productos de forma que fueran distinguibles por el consumidor, ya sea mediante marcas diferenciadoras o mediante la Denominación de Origen, la cual haría que un producto estuviese identificado con una región de origen. La promoción de las variedades tradicionales mediante estas estrategias puede suponer un estímulo para invertir en I + D, ya que pueden convertirse en rentables para la empresa privada. El éxito de esta propuesta garantizaría un mercado para los productores y, por tanto, un mayor uso de la agrobiodiversidad.

Otros aspectos complementarios que podrían ayudar a esta promoción son:

- a) La realización de campañas organizadas que destaquen las características distintivas y atributos de calidad de los productos derivados de estos materiales, lo cual permitiría potenciar su consumo.
- b) La eliminación de medidas legales que desincentivan el uso de las variedades tradicionales. Esto permitiría la equiparación de las variedades tradicionales y modernas en cuanto a la incentivación por parte de los organismos públicos. El hecho de que las variedades tradicionales, debido a su menor productividad y uniformidad, no estén, en muchos países, incentivadas de la misma forma que las variedades modernas, las coloca en condiciones de inferioridad. Brush (24) propone medidas que van desde la limitación de los créditos agrícolas para el uso de variedades modernas, no locales, y la eliminación de las subvenciones a mercancías no locales y alimentos importados, hasta la desaparición de los programas de extensión agraria que preconizan el uso de variedades modernas. Unas medidas no tan drásticas y que podrían ser aplicables de una forma más realista, incluirían la extensión de estas subvenciones, o la transferencia de parte de los recursos destinados a éstas, a la incentivación de las variedades tradicionales. Esto las situaría, al menos, en condiciones de igualdad frente a las variedades modernas, eliminándose la discriminación que hasta ahora están llevando a cabo los organismos subvencionadores, los cuales han premiado de forma casi exclusiva la productividad.

- c) La promoción de explotaciones modelo en escuelas, ayuntamientos, cooperativas y otras instituciones en las que se cultiven y mantengan variedades tradicionales. Esto permitiría un mayor conocimiento del público en general acerca de este tipo de variedades y facilitaría su acceso a los agricultores.

#### **10.4. Fomento de la participación del agricultor en los programas de mejora**

En los países en vías de desarrollo, la participación del agricultor en los programas de mejora es fundamental si se desea un mantenimiento de la diversidad agrícola. Ya hemos visto (apartado 9) que debido a las características especiales de los sistemas de bajos insumos, propios de este tipo de países, el agricultor puede contribuir de una forma muy efectiva a la mejora y al mantenimiento de la biodiversidad. Se debería realizar un importante esfuerzo para que los programas de mejora incluyesen a los agricultores, especialmente en condiciones de bajos insumos. Esta contribución no debe limitarse al papel de incluir a los agricultores en los ensayos dentro de explotación, sino que se debe fomentar su participación activa en los programas de mejora. Los criterios de los mejoradores y agricultores muchas veces difieren, restringiendo la utilización de las nuevas obtenciones. Para evitar este inconveniente debería potenciarse la comunicación mejorador-agricultor, la cual podría mejorarse mediante la formación de paneles de agricultores que intercambien sus opiniones con los mejoradores, interviniendo directamente en los programas de mejora. La mejora de la comunicación permitiría al mejorador definir sus objetivos de mejora en función de la problemática del agricultor. Esta colaboración agricultor-mejorador contribuiría a potenciar la mejora para adaptación específica y, por tanto, al aumento de la agrodiversidad.

También sería conveniente estimular el interés entre los agricultores por los cultivares biodiversos y establecer distinciones oficiales que reconozcan y premien sus conocimientos, habilidades y capacidad de innovación y mejora en el manejo de estos materiales. De esta forma se incentivaría y reforzaría el papel del agricultor en el desarrollo y mantenimiento de cultivares biodiversos.

## ANEJO 1

### ASPECTOS TECNICOS DE LA INTERACCION GENOTIPO MEDIO EN RELACION CON LA BIODIVERSIDAD

#### A.1.1. ADAPTACION ESPECIFICA FRENTE A ADAPTACION GENERAL. UTILIZACION POSITIVA DE LA INTERACCION GxE EN LA MAXIMIZACION DEL RENDIMIENTO

Desde las primeras fases de la domesticación de plantas hasta la introducción de la mejora genética científica, la mayor parte de la selección ha sido realizada por los agricultores para una mejor adaptación a ambientes muy específicos. Con la llegada de la Genética y la Mejora Vegetal, la selección se orientó hacia alto potencial de cosecha, con adaptación más amplia (20). De hecho, sobre todo en los países desarrollados, la estrategia más utilizada en mejora ha sido la de desarrollar cultivares genéticamente uniformes y ampliamente adaptados e implantarlos sustituyendo a los cultivares locales, en un intento de maximizar y rentabilizar el esfuerzo de mejora. En la práctica, muchos programas de mejora nacionales e internacionales todavía consideran la amplia adaptación como un objetivo prioritario del programa de mejora, contemplándose el grado de sustitución de variedades como una medida del desarrollo. La mayor parte de la evidencia del éxito de esta estrategia proviene de la mejora del arroz y del trigo, donde el uso de genes de enanismo y de insensibilidad al fotoperíodo permitió la dispersión del mismo cultivar sobre una amplia área. Estos cultivares se mostraron altamente productivos y han constituido un componente esencial de lo que se ha dado en llamar la “Revolución Verde”. Generalmente se aceptó que el alto potencial de rendimiento de estos cultivares, asociado a la eliminación de las barreras de adaptación, es una ventaja aún en condiciones marginales.

Aparte de los efectos negativos directos sobre la biodiversidad agrícola de este tipo de estrategias de mejora, es necesario considerar que el concepto de “amplia adaptación” puede ser falso si tiene un sentido más geográfico que ambiental (28). Es decir, los cultivares se emplean en un área muy amplia y muy diversa geográficamente, pero en realidad los ambientes de cultivo son muy parecidos, habiendo sido profundamente modificados en función de estos cultivares, los cuales están a su vez específicamente adaptados a condiciones que se encuentran cerca del óptimo. Así, los cultivares de “amplia adaptación” han sido generalmente seleccionados en ambientes favorables, por lo que responden bien a elevados niveles de insumos pero son normalmente poco estables (145), de forma que su superioridad en ambientes buenos puede no expresarse en condiciones subóptimas. En este sentido, puede ser interesante considerar los resultados obtenidos por Sroyer y Cox (121) en trigo: cien años de mejora bajo condiciones de alta fertilidad del suelo no han producido incrementos en el rendimiento de los cultivares de trigo en condiciones de baja fertilidad. En la práctica, los cultivares que presentan una verdadera adaptación amplia son la excepción más que la regla (70). La interacción GxE, muy frecuentemente considerada como un obstáculo para la mejora genética, podría ser explotada para maximizar el rendimiento de muchos cultivos y su estabilidad mediante la mejora para adaptación específica (29, 30, 87, 123). Un ejemplo ilustrativo es el aportado por Ceccarelli (28). A partir de un grupo de 332 líneas de cebada se seleccionaron para alto rendimiento 10 líneas en un ambiente poco favorable y otras 10 líneas en un ambiente favorable para la obtención de alto rendimiento. Lo mismo se hizo a partir de otro grupo de 234 líneas. Se comparó el rendimiento y la estabilidad de las líneas seleccionadas bajo los dos tipos de ambiente (Cuadro 1). Los resultados indican claramente que la estrategia de mejora más adecuada sería la basada en la adaptación específica a cada uno de los ambientes.

Cuadro 1. Rendimiento en grano (kg/ha), coeficiente de regresión y coeficiente de variación de líneas seleccionadas de cebada.

| Ambiente de selección   | Ambiente del ensayo |                  | Coeficiente de regresión (b)* | Coeficiente de variación (CV) |
|-------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                         | alto rendimiento    | bajo rendimiento |                               |                               |
| <b>Grupo 1 (n=332)</b>  |                     |                  |                               |                               |
| <b>Alto rendimiento</b> | 5420                | 522              | 1.13                          | 0.72                          |
| <b>Bajo rendimiento</b> | 4505                | 1186             | 0.82                          | 0.54                          |
| <b>Grupo 2 (n=234)</b>  |                     |                  |                               |                               |
| <b>Alto rendimiento</b> | 6354                | 389              | 1.26                          | 0.90                          |
| <b>Bajo rendimiento</b> | 4786                | 930              | 0.87                          | 0.65                          |

\*La estabilidad de los genotipos se evaluó dentro de cada grupo mediante análisis de regresión lineal (52) y por el método descriptivo de Francis y Kannenberg (54) basado en la relación entre la media y el coeficiente de variación.

### A.1.2. EFICACIA DE LA SELECCION. HEREDABILIDAD DEL RENDIMIENTO

Existen dos opiniones contrapuestas sobre las condiciones en las cuales debe realizarse la selección de nuevos cultivares. Según algunos autores la selección debe realizarse en condiciones óptimas, independientemente del ambiente en que vayan a cultivarse las variedades seleccionadas; según otros debe seleccionarse en las condiciones del ambiente de destino.

Según los primeros (15, 56, 110, 112), la heredabilidad del rendimiento disminuye bajo condiciones donde el rendimiento es bajo, por ejemplo, en condiciones de estrés. Los genotipos seleccionados que parecen rendir relativamente bien en un ciclo de selección bajo estrés pueden no portarse tan bien en otro ciclo. Por lo tanto, la selección para caracteres tales como resistencia a la sequía mediante la evaluación del rendimiento en lugares de bajo rendimiento sería ineficiente (15). En avena, Johnson y Frey (75) concluyeron que generalmente los ambientes no estresados permiten una mejor expresión del genotipo, lo que resulta en una mayor estima de la heredabilidad para el rendimiento y sus componentes y, por tanto, una mayor eficacia en la selección. En alfalfa, Rumbaugh et al. (114) encontraron que bajo diferentes condiciones de estrés hídrico la ganancia genética para un índice de productividad se reducía a medida que las condiciones de estrés aumentaban. Concluyeron que la selección debería ser realizada bajo condiciones controladas de estrés “moderado”.

Los razonamientos que normalmente se ofrecen para justificar una menor heredabilidad en ambientes de bajo rendimiento o estresados se basan fundamentalmente en que la variabilidad normal que se suele encontrar en el campo se amplifica, en términos de respuestas de la planta, cuando se dan condiciones de estrés. Por ejemplo, una variación intra-parcela de 5 kg/ha en el contenido de nitrógeno del suelo, que puede considerarse normal, no causaría modificaciones notables en el rendimiento cuando el nivel medio de nitrógeno fuese de 200 kg/ha, pero probablemente sí que produciría variaciones detectables si el nivel medio de nitrógeno fuese de 50 kg/ha. De forma similar, cuando el estrés es causado por un exceso de algún factor (salinidad o toxicidad por algún metal), pequeños incrementos de este factor causan mayores efectos a partir de un cierto nivel (15).

Según otros autores, entre los que se encuentra Simmonds (123), los datos ofrecidos por aquellos que aseveran que la heredabilidad del rendimiento disminuye en ambientes de bajo rendimiento son escasamente convincentes. Bolanos y Edmeades (16) encontraron en maíz Tuxpeño que la selección

para resistencia a la sequía trajo como respuesta correlacionada una mayor sincronización de la floración. Esta selección para resistencia a la sequía consiguió aumentar el rendimiento en 0.7 t/ha, no sólo en los ambientes de sequía, sino también en aquellos en los que el rendimiento varió entre 1 y 8 t/ha. En este caso, las condiciones de estrés debido a sequía incrementaron el período de tiempo entre la floración masculina y femenina, permitiendo una identificación y selección más precisa de las familias capaces de sincronizar la floración. Bouzerzour y Dekhil (19) también encontraron que la selección efectuada en ambientes pobres para aumentar el rendimiento de líneas de cebada cultivadas en estos ambientes, fue más eficaz que la selección efectuada en ambientes óptimos. Así mismo, Ceccarelli (28) tampoco está de acuerdo con la afirmación de que en general la heredabilidad disminuya en ambientes de bajo rendimiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estimaciones de la heredabilidad en diferentes cultivos en ambientes óptimos y pobres (38, modificado).

| Cultivo | Tipo de ambiente |       | Referencia                 |
|---------|------------------|-------|----------------------------|
|         | Óptimo           | Pobre |                            |
| Maíz    | 0.52             | 0.71  | Selmani y Wassom (118)     |
| Trigo   | 0.25             | 0.03  | Roy y Murty (112)          |
| Trigo   | 0.78             | 0.32  | Allen et al. (3)           |
| Trigo   | 0.33             | 0.68  | Pederson y Rathjen (104)   |
| Trigo   | 0.89             | 0.74  | Pfeiffer (105)             |
| Cebada  | 0.47             | 0.54  | Allen et al. (3)           |
| Cebada  | 0.65             | 0.66  | Weltzein y Fischbeck (143) |
| Cebada  | 0.47             | 0.68  | Singh y Ceccarelli (125)   |
| Avena   | 0.45             | 0.32  | Frey (56)                  |
| Avena   | 0.38             | 0.52  | Johnson y Frey (75)        |
| Avena   | 0.56             | 0.63  | Allen et al. (3)           |
| Avena   | 0.67             | 0.32  | Atlin y Frey (8)           |
| Lino    | 0.44             | 0.56  | Allen et al. (3)           |
| Soja    | 0.56             | 0.31  | Allen et al. (3)           |

Ceccarelli destaca que la magnitud de la heredabilidad se ve afectada por el tipo de material genético y piensa que en los estudios en los cuales la heredabilidad disminuyó en los ambientes de bajo rendimiento el material utilizado fue seleccionado precisamente en ambientes de alto rendimiento. La interacción cruzada GxE implicaría una menor adaptación de este material a condiciones de bajo rendimiento, y de ahí su menor heredabilidad. En nuestra opinión, la eficacia de la selección depende de la desviación de las magnitudes de estrés respecto a las óptimas.

### A.1.3. SELECCION EN AMBIENTES POBRES

Basándose en un estudio de simulación numérica, Simmonds (120) afirma que si se desea adaptación a ambientes pobres, como ocurre muy frecuentemente en los países en desarrollo, se requiere una selección sistemática en ambientes pobres, no meramente la realización de ensayos de cultivares potenciales después de su selección en ambientes óptimos. La estrategia de selección debe incluir la evaluación y ensayo del material bajo condiciones agronómicas que se parezcan lo más posible a aquellas usadas por los agricultores a los cuales va destinado, a pesar de que ajustar las estaciones de investigación a las prácticas habituales de los agricultores puede complicar los diseños experimentales y el análisis de los resultados. Es en este punto donde destaca el papel realizado por el

agricultor, tratado con más detalle en el apartado 9. Por ejemplo, Sperling et al. (132) trabajando con judía en Ruanda, demuestran que los mejoradores, seleccionando en las estaciones experimentales, no pueden competir con grupos de agricultores seleccionando a partir del mismo material en sus propios ecosistemas domésticos. Además, ensayar una variedad en muchas de las combinaciones de clima, prácticas culturales, etc. en las que va a cultivarse presenta dificultades (63).

## ANEJO 2

### HOMEOSTASIS Y AGROBIODIVERSIDAD

La homeostasis, definida como la capacidad de regular la permanencia de ciertos caracteres dentro de determinados intervalos, es de gran utilidad en asegurar el mantenimiento de niveles mínimos de producción frente a los cambios ambientales impredecibles. En consecuencia, son deseables cultivares con un buen tamponamiento homeostático. Esto no significa que la utilización de un cultivar de este tipo en una localidad determinada produzca el mayor rendimiento en un año concreto, ya que en presencia de interacción genotipo x año, existe la posibilidad de que otro cultivar diera mayor rendimiento. Sin embargo, el uso de un cultivar con buen tamponamiento permitirá obtener unos rendimientos más estables.

El tamponamiento de un cultivar frente al intervalo de condiciones que encuentra en su ambiente de cultivo presenta dos niveles. En el primer nivel está el tamponamiento de un genotipo, también llamado homeostasis del desarrollo, que viene definido como la capacidad de un genotipo dado de alterar su fisiología en respuesta a cambios ambientales (43). El siguiente escalón es el tamponamiento presente en una población o homeostasis genética, basado en el mantenimiento de la variabilidad genética en una población (84). Este tamponamiento suele basarse en la compensación de la respuesta de los distintos genotipos de la población a situaciones cambiantes (2).

Existen diferencias importantes en la homeostasis del desarrollo entre genotipos individuales. Los híbridos, en general, son más homeostáticos que las líneas puras, ya que los híbridos, al presentar alelos distintos de un mismo gen, pueden tener una mayor compensación de los cambios producidos por el ambiente. La superioridad homeostática de los híbridos es mayor en alógamas que en autógamias, ya que estas últimas, gracias a la selección que han sufrido durante el proceso hacia la homocigosis, han perdido gran parte de los alelos originales reduciéndose las diferencias entre los no eliminados (94).

Además de estas diferencias genéticas claras en la estabilidad de cultivares homogéneos, bien sean híbridos o líneas puras, los cultivares homogéneos usualmente son menos estables que los cultivares heterogéneos (73). Existen evidencias considerables de que en cereales y leguminosas de grano, las poblaciones heterogéneas tienen un rendimiento más estable que las poblaciones genéticamente homogéneas (122). Comparaciones efectuadas entre cultivares con diferentes grados de heterogeneidad indican que existe una estabilidad incrementada al aumentar la heterogeneidad en diversos cultivos (13, 77, 109, 133, 142). Esto es debido a que los cultivares genéticamente homogéneos pueden responder a los cambios ambientales sólo mediante la homeostasis del desarrollo, mientras que las poblaciones genéticamente heterogéneas, además del tamponamiento individual proporcionado por la homeostasis del desarrollo de cada uno de sus componentes, pueden explotar los beneficios del tamponamiento poblacional procedente de la homeostasis genética (2, 43).

Marshall y Brown (88) estudiaron el caso particular de la estabilidad teórica de mezclas de variedades y llegaron a la conclusión de que con componentes de una mezcla que se comportan de forma similar en cada ambiente la ventaja de las mezclas es inexistente, y la estabilidad sería la media de la estabilidad de las líneas que forman la mezcla. Sin embargo, si existe desviación respecto a esto, tal como una línea con una respuesta diferente, la mezcla debe ser más estable que el componente medio, y tiene la capacidad de ser más estable que la línea más estable. De esta forma, un incremento de la diversidad de una mezcla vía componentes favorece el incremento de la estabilidad. Estos autores resumieron sus resultados teóricos en dos predicciones:

- a) Cuando las líneas componentes dan respuestas diferentes a ambientes diferentes, lo cual no es inusual, existe la posibilidad de que la mezcla pueda exceder la estabilidad de la línea componente más estable.
- b) Es más fácil obtener incrementos en la estabilidad que en el rendimiento. Una mejora del rendimiento medio requiere interacciones intergenotípicas positivas, mientras que una estabilidad mejorada no tiene ese requerimiento.

Estos resultados son fácilmente extrapolables al caso de una población heterógena, la cual es, de hecho, una mezcla de distintos genotipos, demostrándose que la heterogeneidad genética en un cultivar contribuye a su comportamiento homeostático. Además, estos resultados muestran que la obtención de estabilidad es relativamente fácil si se compara con la obtención de productividad.

### ANEJO 3

## TECNICAS BIOTECNOLOGICAS QUE PUEDEN CONTRIBUIR AL DESARROLLO DE CULTIVARES BIODIVERSOS

### A.3.1. TECNICAS QUE PUEDEN INCREMENTAR LA EFECTIVIDAD DE LA SELECCIÓN

Entre las técnicas actualmente existentes, cabe destacar:

- a) El uso de marcadores moleculares. Entre otros: polimorfismos de la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP), polimorfismos de ADN amplificados al azar (RAPD), polimorfismos de la longitud de los fragmentos amplificados (AFLP), número variable de repeticiones en tándem (VNTR), polimorfismos de secuencias simples repetidas (SSRs), polimorfismos de tándem cortos repetidos (STRs), etc. Es necesario identificar marcadores estrechamente ligados a los genes para los que se quiere realizar selección. Con ello, el marcador permite realizar la selección a nivel de genotipo en vez de a nivel de fenotipo y son de especial utilidad para caracteres que son difíciles de valorar en el campo. Además de permitir una selección eficaz, posibilitan la selección en estado de plántula, pudiéndose evaluar miles de genotipos sin necesidad de cultivarlos hasta la madurez (59, 67).
- b) El cultivo de anteras y polen. Permite la obtención de líneas homocigotas en una sólo generación. Esto hace posible la aceleración de la selección por la reducción en el tiempo necesario para obtener líneas puras. Sin embargo, no ha conseguido aplicarse más que en un número limitado de especies (144).
- c) La selección *in vitro*. Mediante ella se puede realizar selección a nivel celular para determinados caracteres. Esto permite utilizar tamaños de población muy grandes (85). Hasta el momento, esta técnica ha tenido poca utilidad en la práctica.
- d) La multiplicación *in vitro*. Hace posible la obtención de un gran número de plantas genéticamente idénticas en muy poco tiempo (76). Esta técnica puede mejorar la eficacia de la selección al permitir evaluar un elevado número de réplicas clonales de un genotipo dado.

Los cultivares desarrollados utilizando estas técnicas no presentan diferencias sustanciales con aquellos obtenidos por los métodos de mejora convencional, por lo cual, no sólo presentan ventajas para los programas de mejora, sino que también se ven libres de críticas en cuanto a los peligros derivados de su utilización (39).

### A.3.2. TECNICAS QUE PUEDEN AUMENTAR LA BASE GENETICA DISPONIBLE PARA EL MEJORADOR

Las nuevas biotecnologías ofrecen técnicas muy potentes para incrementar la base genética sobre la cual el mejorador puede efectuar selección. Entre éstas se incluyen:

- a) La transformación genética. Hace posible la transferencia de secuencias de genes específicos a una planta, ya sea de forma directa o mediante la utilización de un vector. Esto permite introducir en una especie genes de otras especies con las cuales en ningún caso podría cruzarse sexualmente. Los genes a transferir pueden proceder de plantas superiores, inferiores, bacterias, animales, así como pueden ser genes modificados por el hombre (100). Aunque la transformación se ha mostrado posible en la mayor parte de cultivos importantes, existen

algunas especies que, a pesar del intenso esfuerzo realizado, se muestran recalcitrantes debido principalmente a la dificultad de la regeneración de plantas completas a partir del tejido transformado. La técnica de la transformación genética tiene muchas aplicaciones posibles. Un ejemplo es el aprovechamiento de la variabilidad inducida por el patógeno para la protección frente a virus. Entre las muchas estrategias basadas en la transformación genética que hacen posible esta protección se incluyen: la expresión de la proteína capsidal, de genes antisentido de la proteína capsidal o de la replicasa defectiva del virus; la inhibición de la expresión de genes esenciales mediante la tecnología antisentido o mediante ribozimas; la protección mediada por RNA satélites; y otros métodos que se basan en moléculas defectivas de interferencia, secuencias génicas no estructurales, etc. (96).

- b) La fusión de protoplastos. Esta técnica combina la información genética nuclear y citoplásmica de dos células, superando las barreras de aislamiento reproductivo (98). Hasta ahora se han obtenido pocos resultados prácticos, no habiendo conducido aún al desarrollo de nuevos cultivares de interés agrícola.
- c) La generación de variación somaclonal. Esta variación se basa en las mutaciones ocurridas en el cultivo de tejidos. La cantidad de variación generada por este método es enorme, aunque muchos de los mutantes producidos son deletéreos o de limitada utilidad práctica (61).
- d) El rescate de embriones *in vitro*. Esta técnica permite la hibridación de una especie con alguna de sus relacionadas, en casos en que se forman embriones sexuales que abortan durante su desarrollo (71).

La aplicación de las técnicas derivadas de la transformación genética y de la fusión de protoplastos, que dan lugar a los llamados organismos modificados genéticamente, ha originado intensas discusiones de tipo ético y social en las que se cuestiona su uso y se debaten los posibles peligros para el hombre y el ambiente que de ellas se derivan (134). Estas cuestiones todavía son objeto de debate y pueden tener una importante influencia en la aceptación de los productos derivados de estas nuevas biotecnologías.

## LITERATURA CITADA

- 1.- Altieri, M.A.; Merrick, L.C. (1987). *In situ* conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Econ. Bot.* 41:86-96.
- 2.- Allard, R.W.; Bradshaw, A.D. (1964). Implications of genotype-environmental interactions in plant breeding. *Crop Sci.* 4:503-508.
- 3.- Allen, F.L.; Comstock, R.E.; Rasmusson, D.C. (1978). Optimal environments for yield testing. *Crop Sci.* 18:747-751.
- 4.- Anderson, E. (1952). *Plants, man and life*. University of California Press, Berkeley, California.
- 5.- Anderson, J.R. (1991). Aspects of agricultural research as aids in risk management. En: "Holden, D.; Hazell, P.; Pritchard, A. (Eds.). *Risk in agriculture*. The World Bank, Washington":39-49.
- 6.- Anderson, J.R.; Hazell, P.B.R. (1989). Variability in grain yields: implications for agricultural research and policy in developing countries. John Hopkins University Press, Baltimore, Madison.
- 7.- Ashby, J.A. (1986). Methodology for the participation of small farmers in the design of on-farm trials. *Agr. Administration* 22:1-19.
- 8.- Atlin, G.N.; Frey, K.J. (1990). Selecting oat lines for yield in low-productivity environments. *Crop Sci.* 30:556-561.
- 9.- Aung, T.; Williams, W.P.; Windham, G.L.; Davis, F.M. (1991). Characterization of open-pollinated corn varieties. *Res. Rpt. Mississippi Agric. and Forestry Exp. Sta.* 16 (3): 6 pp.
- 10.- Baenziger, P.S.; Peterson, C.J. (1992). Genetic variation: its origin and use for breeding self-pollinated species. En: "Stalker, H.T.; Murphy, J.P. (Eds.). *Plant breeding in the 1990s*, CAB International, Oxon, U.K.":69-92.
- 11.- Barker, R.; Anden, T. (1975). Factors influencing the use of modern rice technology in the study areas. En: "Changes in rice farming in selected areas of Asia, IRRI, Los Baños, Filipinas":17-40.
- 12.- Barton, J.H. (1991). Patentar seres vivos. *Investigación y Ciencia* 176:6-14.
- 13.- Becker, H.C.; Geiger, H.H.; Morgenstern, K. (1982). Performance and phenotypic stability of different hybrid types in winter rye. *Crop Sci.* 22:340-344.
- 14.- Berg, T.; Bjornstad, A.; Fowler, C.; Skroppa, T. (1991). Technology options and the gene struggle. *Development and Environment* No. 8. NORAGRIC Occasional Papers series C, Norwegian Center for International Agricultural Development, As, Noruega.
- 15.- Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 16.- Bolanos, J.; Edmeades, G.O. (1988). CIMMYT's strategies in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Proc. Intl. Conf. on Dryland Farming:752-754*, 15-19 August 1988, Amarillo/Bushland, Texas.
- 17.- Borlaug, N.E. (1953). New approach to the breeding of wheat varieties resistant to *Puccinia graminis tritici*. *Phytopathology* 43:467-471.
- 18.- Borlaug, N.E. (1989). Feeding the world during the next doubling of the world population. En: "Swaminathan, M.S.; Kochhar, S.L. (Eds.). *Plants and Society*. Macmillan, London": 523-555.
- 19.- Bouzerzour, H.; Dekhili, M. (1995). Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain-yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Res.* 41:173-178.
- 20.- Bramel-Cox, P.J.; Barker, T.; Zavala-García, F; Eastin, J.D. (1991). Selection and testing environments for improved performance under reduced-input conditions. En: "Sleeper, D.A.; Barker, T.C.; Bramel-Cox, P.J. (Eds.). *Plant breeding and sustainable agriculture, considerations for objectives and methods*. CSSA Special Publication n° 18, Madison, Wisconsin":29-56.
- 21.- Brown, A.D.H. (1979). Enzyme polymorphism in plant populations. *Theor. Pop. Biol.* 15:1-42.
- 22.- Browning, J.A. (1957). Studies on the effects of field blends of oat varieties on stem rust losses. *Phytopathology* 47:4-10.

- 23.- Browning, J.A. (1974). Relevance of knowledge about natural ecosystems to development of pest management programs for agro-ecosystems. *Proc. Amer. Phytopathol. Soc.* 1:191-194.
- 24.- Brush, S.B. (1991). A farmer-based approach to conserving crop germplasm. *Econ. Bot.* 45:153-165.
- 25.- Bunders, J.F.G. (1990). *Biotechnology for small-scale farmers in developing countries.* VU University Press, Amsterdam.
- 26.- Byth, D.E.; Weber, C.R. (1968). Effects of genetic heterogeneity within two soybean populations. I. Variability within environments and stability across environments. *Crop Sci.* 8:44-47.
- 27.- Castleberry, R.M.; Crum, C.W.; Krull, C.F. (1984). Genetic improvement of U.S. maize cultivars under varying fertility and climatic environments. *Crop Sci.* 24:33-36.
- 28.- Ceccarelli, S. (1994). Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77:205-219.
- 29.- Ceccarelli, S.; Erskine, W.; Hamblin, J.; Grando, S. (1994). Genotype by environment interaction and international breeding programmes. *Expt. Agr.* 30:177-187.
- 30.- Ceccarelli, S.; Grando, S. (1991). Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica* 57:157-167.
- 31.- Ceccarelli, S.; Grando, S.; Hamblin, J. (1992). Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica* 64:49-58.
- 32.- Chang, J.H. (1977). Tropical agriculture: crop diversity and crop yields. *Econ. Geogr.* 53:241-254.
- 33.- Clawson, D.L. (1985). Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Econ. Bot.* 39:56-67.
- 34.- Cleveland, D.A.; Soleri, D.; Smith, S.E. (1994). Do folk crop varieties have a role in sustainable agriculture?. *BioScience* 44:740-751.
- 35.- Coffman, W.R.; Smith, M.E. (1991). Role of public, industry, and international research center breeding programs in developing germplasm for sustainable agriculture. En: "Sleeper, D.A.; Barker, T.C.; Bramel-Cox, P.J. (Eds.). *Plant breeding and sustainable agriculture, considerations for objectives and methods.* CSSA Special Publication n° 18, Madison, Wisconsin": 1-9.
- 36.- Cohen, J.I.; Alcorn, J.B.; Potter, C.S. (1991). Utilization and conservation of genetic resources: International projects for sustainable agriculture. *Econ. Bot.* 45(2):190-199.
- 37.- Colwell, R.K.; Coddington, J.A. (1995). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. En "D.L. Hawksworth (Ed.). *Biodiversity. Measurement and estimation.* The Royal Society y Chapman & Hall, London":101-118.
- 38.- Comstock, R.E.; Moll, R.H. (1963). Genotype-environment interactions. En: "Hanson, W.D.; Robinson, H.F. (Eds.). *Statistical genetics and plant breeding.* Proc. Natl. Acad. Sci.-NRC Pub. n° 982":164-196.
- 39.- Cornett, R.J.A.; Barfoot, P.D. (1992). Genetically modified crops and the seeds industry. En: "Gatehouse, A.M.R.; Hilder, V.A.; Boulter, D. (Eds.). *Plant genetic manipulation for crop protection,* CAB International, Oxon, U.K.":45-73.
- 40.- Datta, S.C.; Banerjee, A.K. (1978). Useful weeds of West Bengal rice fields. *Econ. Bot.* 32:297-310.
- 41.- Davis, T.; Bye, R.A. (1982). Ethnobotany and progressive domestication of Jaltomata (Solanaceae) in Mexico and Central America. *Econ. Bot.* 36:225-241.
- 42.- Dev, S. (1989). Higher plants as a source of drugs. En: "Swaminathan, M.S.; Kochhar, S.L. (Eds.). *Plants and Society.* Macmillan, London": 267-292.
- 43.- Dobzhansky, T. (1963). Evolutionary and population genetics. *Science* 142:1131-1135.
- 44.- Ducos, C. (1987). Semences et biotechnologies: une analyse économique. En: "Hermitte, M.A (Ed.). *Le droit du génie génétique végétal.* Libraries Techniques, Paris":75-99.
- 45.- Duncan, R.R. (1994). Genetic Manipulation. En "Wilkinson, R.E. (Ed.). *Plant-Environment Interactions.* Marcel Dekker, New York":1-38.
- 46.- Duvick, D.N. (1992). Plant breeding in the 21st century. *Choices* 7 (4):26-29.
- 47.- Ehlers, J.D. (1994). Correlation of performance of sole-crop and intercrop cowpeas with and without protection from insect pests. *Field Crops Res.* 36:133-143.

- 48.- Esquinas-Alcázar, J.T. (1993). La diversidad genética como material básico para el desarrollo agrícola. En: "Cubero, J.I.; Moreno, M.T. La agricultura del siglo XXI, Mundi-Prensa, Madrid":79-102.
- 49.- Eskridge, K.M.; Johnson, B.E. (1991). Expected utility maximization and selection of stable plant cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 81:825-832.
- 50.- Evans, L.T. (1980). The natural history of crop yields. *Am. Sci.* 68:388-397.
- 51.- Evans, L.T. (1993). Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- 52.- Finlay, K.W.; Wilkinson, G.N. (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aus. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- 53.- Ford-Lloyd, B.V. (1990). The conservation of horticultural plant genetic resources. *Adv. Hort. Sci.* 4:31-38.
- 54.- Francis, T.R.; Kannenberg, L.W. (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 58:1029-1034.
- 55.- Francis, C.A. (1990). Breeding hybrids and varieties for sustainable systems. En: "Francis, C.A.; Butler-Flora, C.; King, L.D. (Eds.). Sustainable agriculture in temperate zones. Wiley & Sons, New York":25-54.
- 56.- Frey, K.J. (1964). Adaptation reaction of oat strains selected under stress and non-stress environmental conditions. *Crop Sci.* 4:55-58.
- 57.- Frey, K.W.; Maldonado, V. (1967). Relative productivity of homogeneous and heterogeneous oat cultivars in optimum and sub-optimum environments. *Crop Sci.* 7:532-535.
- 58.- Gotsch, N.; Rieder, P. (1995). Biodiversity, biotechnology, and institutions among crops: situation and outlook. *J. Sustainable Agric.* 5:5-40.
- 59.- Haley, S.D.; Afanador, L.K.; Miklas, P.N.; Stavely, J.R.; Kelly, J.D. (1994). Heterogeneous in-bred populations are useful as sources of near-isogenic lines for RAPD marker localization. *Theor. Appl. Genet.* 88:337-342.
- 60.- Hallauer, A.R. (1981). Selection and breeding methods. En: "Frey, K.J. (Ed.). Plant breeding II. Iowa State University Press, Ames, Iowa":3-55.
- 61.- Hammerschlag, F.A. (1992). Somaclonal variation. *Biotechnol. Agr.* 8:35-55.
- 62.- Harlan, J.R. (1992). Crops and man. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- 63.- Haugeraud, A.; Collinson, M.P. (1990). Plants, genes and people: improving the relevance of plant breeding in Africa. *Expt. Agr.* 26:341-362.
- 64.- Hawkes, J. G. (1983). The diversity of crop plants. Harvard University Press, London.
- 65.- Hayward, M.D.; Abdullah, I.B. (1985). Selection and stability of synthetic varieties of *Lolium perenne*. 1. The selected character and its expression over generations of multiplication. *Theor. Appl. Genet.* 70:48-51.
- 66.- Heinrich, G.M.; Francis, C.A.; Eastin, J.D. (1983). Stability of grain sorghum yield components across diverse environments. *Crop Sci.* 23:209-212.
- 67.- Helenjaris, T.G. (1992) RFLP analyses for manipulating traits in plants. En: "Stalker, H.T.; Murphy, J.P. (Eds.). Plant breeding in the 1990s, CAB International, Oxon, U.K.":357-372.
- 68.- Hockett, E.A.; Eslick, R.F.; Qualset, C.O.; Dubbs, A.L.; Stewart, R.W. (1983). Effects of natural selection in advanced generations of barley Composite Cross II. *Crop Sci.* 23:752-756.
- 69.- Hühn, M.; Zimmer, E.W. (1983). Einige experimentelle Ergebnisse zur phänotypischen Stabilität von Doppel- und Dreiweghybriden bei Mais. *Z. Pflanzenzüchtg.* 91:246-252.
- 70.- Innes, N.L. (1995). A plant breeding contribution to sustainable agriculture. *Ann. Appl. Biol.* 126:1-18.
- 71.- Inomata, N. (1993). Embryo rescue techniques for wide hybridization. *Monogr. Theor. Appl. Genet.* 19:94-107.
- 72.- Jensen, N.F. (1952). Intravarietal diversification in oat breeding. *Agron. J.* 44:30-34.
- 73.- Jensen, N.F. (1988). Plant breeding methodology. Wiley & Sons, New York.

- 74.- Joly, P.B. (1989). Should seeds be patentable?. Elements of an economic analysis. En: "Patenting life forms in Europe. Barcelona: ICDA, ICDA Seeds Campaign."
- 75.- Johnson, G.R.; Frey, K.J. (1967). Heritabilities of quantitative attributes of oats (*Avena* sp.) at varying levels of environmental stress. *Crop Sci.* 7:43-46.
- 76.- Jones, Q.P. (1991) The role of biotechnology in the multiplication and improvement of woody plants. *Acta Horticulturae* 289:35-44.
- 77.- Jowett, D. (1972). Yield stability parameters for sorghum in east Africa. *Crop Sci.* 12:314-317.
- 78.- Juo, A.S.R.; Meyer, R.E. (1988). Woody legumes and soil quality improvement with special reference to alley cropping. *Proc. Intl. Conf. on Dryland Farming*:681-687, 15-19 August 1988, Amarillo/Bushland, Texas.
- 79.- Kang, M.S.; Gorman, D.P. 1989. Genotype x environment interaction in maize. *Agron. J.* 81:662-664.
- 80.- Keating, B.A.; Carberry, P.S. (1993). Resource capture and use in intercropping:solar radiation. *Field Crop Res.* 34:273-301.
- 81.- Lakhanpal, T.N. (1989). Crop diseases and catastrophes. En: "Swaminathan, M.S.; Kochhar, S.L. (Eds.). *Plants and Society*. Macmillan, London": 420-451.
- 82.- Lambert, D.H. (1985). *Swamp rice farming. The indigenous Pahang Malay agricultural system*. Westview Press, Boulder.
- 83.- Lanosia, L.B.; Baldos, D.P. (1990). Utilization of open-pollinated corn varieties in corn-growing provinces of the Philippines. *Philippine Agr.* 73:185-192.
- 84.- Lerner, I.M. 1954. *Genetic homeostasis*. John Wiley, New York.
- 85.- Loh, W.H.T. (1992). Cell selection. En: "Fowler, M.W.; Warren, G.S. (Eds.). *Plant biotechnology, comprehensive biotechnology, second supplement*, Pergamon Press, Oxford":33-44.
- 86.- Mahalakshmi, V.; Bidinger, F.R.; Rao, K.P.; Raju, D.S. (1992). Performance and stability of pearl millet topcross hybrids and their variety pollinators. *Crop Sci.* 32:928-932.
- 87.- Mannion, A.M. (1995). *Agriculture, Environment and Biotechnology*. *Agr. Ecosystems Environ.* 53:31-45
- 88.- Marshall, D.R.; Brown, A.H.D. (1973). Stability of performance of mixtures and multilines. *Euphytica* 22:405-412.
- 89.- Matlon, P.J. (1991). Farmer risk management strategies: the case of west Africa semi-arid tropics. En: "Holden, D.; Hazell, P.; Pritchard, A. (Eds.). *Risk in agriculture. The World Bank, Washington*":51-79.
- 90.- Maurya, D.M.; Bottrall, A.; Farrington, J. (1988). Improved livelihoods, genetic diversity and farmer participation: a strategy for rice breeding in rainfed areas of India. *Expt. Agr.* 24:311-320.
- 91.- May, K.W.; Kozub, G.C. (1993). Genotype x environment interaction for two-row barley grain yield and implications for selection of genotypes. *Can J. Plant Sci.* 73:939-946.
- 92.- Mooney, P.T. (1992). Towards a folk revolution. En "Cooper, D.; Vellvé, R.; Hobbelink, H. (Eds.). *Growing diversity. Intermediate Technologies Publications, London*":125-138.
- 93.- National Research Council. (1989). *Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation*. National Academy Press, Washington, DC.
- 94.- Nuez, F. (1990). *Experiencia de innovación educativa en el aprendizaje de la mejora vegetal*. Vol. II. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- 95.- Nuez, F. (1991). La mejora genética de hortalizas. En: "Rallo, L.; Nuez, F. (Eds.). *La horticultura española en la C.E., Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Reus, España*":482-505.
- 96.- Nuez, F. (1995). Desarrollo de nuevos cultivares. En: "Nuez, F. (Ed.). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa, Madrid":624-669.
- 97.- Nuez, F.; Fernández de Córdova, P. (1994). Los recursos genéticos de hortalizas en España (I). *Hortofruticultura* 5 (1):31-36.
- 98.- Ochatt, S.J.; Patat-Ochatt, E.M.; Power, J.B. (1992). Protoplasts. *Biotechnol. Agr.* 8:77-103.

- 99.- Okigbo, B.N.; Greenland, D.J. (1976). Intercropping systems in tropical Africa. "En: Papendick, R.I.; Sanchez, A.; Triplett, G.B. (Eds.). Amer. Soc. Agron. Spec. Publ. 27":63-101.
- 100.- Ooms, G. (1992). Genetic engineering of plants and cultures. En: "Fowler, M.W.; Warren, G.S. (Eds.). Plant biotechnology, comprehensive biotechnology, second supplement, Pergamon Press, Oxford":223-257.
- 101.- Padoch, C.; de Jong, W. (1991). The house gardens of Santa Rosa: diversity and variability in an Amazonian agricultural system. *Econ. Bot.* 45:166-175.
- 102.- Patanothai, A.; Atkins, R.E. (1974). Yield stability of single crosses and three-way hybrids of grain sorghum. *Crop Sci.* 14:287-290.
- 103.- Patel, J.D.; Reinbergs, E.; Mather, D.E.; Choo, T.M.; Sterling, J.D.E. (1987). Natural selection in a doubled-haploid mixture and a composite cross of barley. *Crop Sci.* 27:474-479.
- 104.- Pederson, D.G.; Rathjen, A.J. (1981). Choosing trial sites to maximize selection response for grain yield in spring wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 32:411-424.
- 105.- Pfeiffer, W.H. (1988). Drought tolerance in bread wheat - Analysis of yield improvement over the years in CIMMYT germplasm. En "Klatt, A.R. (Ed.). Wheat production constraints in tropical environments. CIMMYT, Mexico DF, Mexico":274-284.
- 106.- Qualset, C.O.; Granger, R.M. (1970). Frequency-dependent stability of performance in oats. *Crop Sci.* 10:386-389.
- 107.- Rabbinge, R. (1993). The ecological background of food production. En: "Crop protection and sustainable agriculture. Wiley, Chichester (Ciba Foundation Symposium 177)":2-29.
- 108.- Reddy, M.S.; Willey, R.W. (1982). Improved cropping systems for the deep Vertisols of the Indian semi-arid tropics. *Expt. Agr.* 18:277-287.
- 109.- Reich, V.H.; Atkins, R.E. (1970). Yield stability of four population types of grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, in different environments. *Crop Sci.* 10:511-517.
- 110.- Rosielle, A.A.; Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21:943-946.
- 111.- Rowe, D.E.; Gurgis, R.Y. (1982). Evaluation of alfalfa synthetic varieties: prediction of yield in advanced generations and average clone effects. *Crop Sci.* 22:868-871.
- 112.- Roy, N.M.; Murty, B.R. (1970). A selection procedure in wheat for stress environments. *Euphytica* 19:509-521.
- 113.- Ruiz, J.J.; Nuez, F. (1994). Respuesta de híbridos y clones de pepino dulce al estrés salino y fertilización potásica. I: Caracteres productivos y vegetativos. *Actas de Horticultura* 12:251-258.
- 114.- Rumbaugh, M.D.; Assay, K.H.; Johnson, D.A. (1984). Influence of drought stress on genetic variances of alfalfa and wheat grass seedling. *Crop Sci.* 24:297-303.
- 115.- Salazar, R. (1992). Community plant genetic resources management: experiences in Southeast Asia. En "Cooper, D.; Vellvé, R.; Hobbelenk, H. (Eds.). Growing diversity. Intermediate Technologies Publications, London":17-29.
- 116.- Schnell, F.W. (1975). Type of variety and average performance in hybrid maize. *Z. Pflanzenzüchtg* 74:177-188.
- 117.- Schultes, R.E. (1989). Ethnopharmacological conservation - a key to progress in medicine. En: "Swaminathan, M.S.; Kochhar, S.L. (Eds.). Plants and Society. Macmillan, London": 293-311.
- 118.- Selmani, A.; Wassom, C.E. (1993). Daytime chlorophyll fluorescence measurement in field grown maize and its genetic variability under well-watered and water-stressed conditions. *Field Crops Res.* 31:173-184.
- 119.- Sharma, R.C.; Smith, E.L.; McNew, R.W. (1987). Stability of harvest index and grain yield in winter wheat. *Crop Sci.* 27:104-108.
- 120.- Shorter, R.; Frey, K.J. (1979). Relative yields of mixtures and monocultures of oat genotypes. *Crop Sci.* 19:548-558.

- 121.- Shroyer, J.P.; Cox, T.S. (1993). Productivity and adaptive capacity of winter wheat landraces and modern cultivars grown under low-fertility conditions. *Euphytica* 70:27-33
- 122.- Simmonds, N.W. (1979). Principles of crop improvement. Longman, London.
- 123.- Simmonds, N.W. (1991). Selection for local adaptation in a plant breeding program. *Theor. Appl. Genet.* 82:363-367.
- 124.- Singh, L.N.; Johnson, L.P.V. (1969). Natural selection in a composite cross of barley. *Can. J. Genet. Cytol.* 11:34-42.
- 125.- Singh, M.; Ceccarelli, S. (1995). Estimation of heredability using variety trials data from incomplete blocks. *Theor. Appl. Genet.* 90:142-145.
- 126.- Smith, E.P.; van Belle, G. (1984). Nonparametric estimation of species richness. *Biometrics* 40:119-129.
- 127.- Smith, J.S.C. (1986). Genetic diversity within the corn belt dent racial complex of maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 31:349-367.
- 128.- Smith, M.E.; Francis, C.A. (1986). Breeding for multiple cropping systems. En: "Francis, C.A. (Ed.). Multiple cropping systems, Macmillan Publ. Co., New York":219-249.
- 129.- Smith, R.R.; Byth, D.E.; Caldwell, B.E.; Weber, C.R. (1967). Phenotypic stability in soybean populations. *Crop Sci.* 7:590-592.
- 130.- Soliman, K.M.; Allard, R.W. (1991). Grain yield of composite cross populations of barley: effects of natural selection. *Crop Sci.* 31:705-708.
- 131.- Souza, E.; Fox, P.N.; Byrlee, D.; Skovmand, B.S. (1994). Spring wheat diversity in irrigated areas of two developing countries. *Crop Sci.* 34:774-783.
- 132.- Sperling, L.; Loevinsohn, M.E.; Ntabomvura, B. (1993). Rethinking the farmer's role in plant breeding: local bean experts and on-station selection in Rwanda. *Expt. Agr.* 29:509-519.
- 133.- Stelling, D.; Ebmeyer, E.; Link, W. (1994). Yield stability in faba bean, *Vicia faba* L. *Plant Breeding* 112:30-39.
- 134.- Straughan, R. (1989). The genetic manipulation of plants, animals and microbes. The social and ethical issues for consumers: a discussion paper. National Consumer Council, London.
- 135.- Suneson, C.A. (1956). An evolutionary plant breeding method. *Agron. J.* 48:188-191.
- 136.- Suneson, C.A.; Stevens, H. (1953). Studies with bulked hybrid populations of barley. U.S. Dept. Agric. Tech. Bull. No. 1067, 14 pp.
- 137.- Thuston, H.D. (1992). Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems. Westview Press, Boulder, Colorado.
- 138.- Trenbath, B.R. Resource use by intercrops. En: "Francis, C.A. (Ed.). Multiple Cropping Systems, Macmillan, New York":57-81.
- 139.- Vaughan, D.A.; Chang, T.T. (1992). *In situ* conservation of rice genetic resources. *Econ. Bot.* 46:368-383.
- 140.- Vietmeyer, N.D. (1986). Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry. *Science* 232:1379-1384.
- 141.- Walker, A.K.; Fehr, W.R. (1978). Yield stability of soybean mixtures and multiple pure stands. *Crop Sci.* 18:719-723.
- 142.- Weatherspoon, J.H. (1970). Comparative yields of single, three-way, and double crosses of maize. *Crop Sci.* 10:157-159.
- 143.- Weltzien, E.; Fishbeck, G. (1990). Performance and variability of local barley landraces in Near-Eastern environments. *Plant Breeding* 104:58-67.
- 144.- Wernsman, E.A. (1992). Varied roles for the haploid sporophyte in plant improvement. En: "Stalker, H.T.; Murphy, J.P. (Eds.). Plant breeding in the 1990s, CAB International, Oxon, U.K.":461-484.
- 145.- Whitehead, W.F.; Allen, F.L. (1990). High- vs. Low-stress yield test environments for selecting superior soybean lines. *Crop Sci.* 30:912-918.

- 146.- Wilkes, H.G. (1977). Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Econ. Bot.* 31:254-293.
- 147.- Willey, R.W. (1988). Cropping systems for drylands. *Proc. Intl. Conf. on Dryland Farming*:703-709, 15-19 August 1988, Amarillo/Bushland, Texas.
- 148.- Witcombe, J.R. (1988). Estimates of stability for comparing varieties. *Euphytica* 39:11-18.
- 149.- Wolfe, M.S. (1991). Barley diseases: maintaining the value of our varieties. *Barley Genetics* VI:1055-1067.
- 150.- Worede, M. (1992). Ethiopia: a genebank working with farmers. En "Cooper, D.; Vellvé, R.; Hobbelink, H. (Eds.). *Growing diversity. Intermediate Technologies Publications, London*":78-96.
- 151.- Yau, S.K.; Ortiz-Ferrara, G.; Srivastava, J.P. (1991). Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. *Crop Sci.* 31:571-576.
- 152.- Zimmerer, K.S.; Douches, D.S. (1991). Geographical approaches to crop conservation: the partitioning of genetic diversity in Andean potatoes. *Econ. Bot.* 45:176-189.