



**Los recursos genéticos
en el CIMMYT:**
Su conservación, enriquecimiento
y distribución

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) es una organización internacional, sin fines de lucro, que se dedica a la investigación científica y la capacitación. Tiene su sede en México y lleva a cabo, a nivel mundial, un programa de investigación sobre el maíz, el trigo y el triticale, orientado a mejorar la productividad de los recursos agrícolas en los países en desarrollo. El CIMMYT es uno de los 16 centros internacionales sin fines de lucro, que realizan investigaciones agrícolas y capacitación con el apoyo del Grupo Consultivo sobre la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), que a su vez cuenta con el patrocinio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El CGIAR está compuesto por un grupo de 40 donadores, entre los que figuran países, organismos tanto internacionales como regionales y fundaciones privadas.

A través del CGIAR, el CIMMYT recibe fondos para su presupuesto básico de varias fuentes, entre ellas, los organismos de ayuda internacional de Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Brasil, Canadá, China, Dinamarca, España, Estados Unidos de Norteamérica, Filipinas, Finlandia, Francia, India, Irán, Italia, Japón, México, Noruega, Países Bajos, Reino Unido, la República de Corea y Suiza, así como la Comisión Económica Europea, la Fundación Ford, el Banco Interamericano de Desarrollo, el PNUD y el Banco Mundial. Asimismo, fuera del CGIAR, el Centro percibe apoyo económico para proyectos especiales del Centro de Investigación para el Desarrollo Internacional (IDRC) de Canadá, la Fundación Rockefeller y muchos de los donadores arriba mencionados.

El CIMMYT es el único responsable de esta publicación.

Cita correcta: Skovmand, B., G. Varughese y G.P. Hettel. 1992. Los recursos genéticos de trigo en el CIMMYT: Su conservación, enriquecimiento y distribución. México, D.F.: CIMMYT.

ISBN: 968-6127-69-0

Impreso en México.

Descriptor AGROVOC: Complejos genéticos, recursos genéticos, conservación de germoplasma, cuarentena, tratamiento de semilla, *Triticum aestivum*.

Códigos de las categorías AGRIS: F30 (Plant genetics and breeding), F01 (Crop husbandry).

Clasificación decimal Dewey: 631.521

Diseño: Jose Manuel Fouilloux B.

Consultor: Miguel Mellado E.

Portada: Espigas de distintos tipos de trigo harinero, que ponen de manifiesto la gran variación genética del cultivo.

Contraportada: El trigo primitivo *Triticum dicoccum*, fuente de la tolerancia al calor y de la resistencia al pulgón ruso del trigo y las enfermedades causadas por *Septoria tritici*.

Fotografías: Gene Hettel

Edición en español: Alma McNab



Sergio Pastén

Índice

- 1 Introducción
- 3 Cooperación con otros centros internacionales
- 4 Cooperación con los programas nacionales
- 4 Recolección y obtención de germoplasma
- 5 Conservación de germoplasma
- 7 Multiplicación y regeneración de semilla
- 8 Sanidad de la semilla y cuarentena
- 9 Evaluación
- 11 Premejoramiento
- 15 Cruzas amplias de trigo
- 15 Biología molecular del trigo
- 15 Documentación usando el sistema del banco de germoplasma de trigo
- 18 Solicitudes de semilla
- 18 Realimentación de información sobre el uso y comportamiento del material del banco
- 19 Conclusiones
- 19 Referencias

Recuadros

- 1 ¿En qué consisten los recursos genéticos?
- 2 Algunas definiciones
- 5 Expediciones recientes para obtener germoplasma de trigo
- 6 Conservación de los recursos genéticos de triticale
- 10 El empleo de los parientes silvestres del trigo en la búsqueda de variabilidad
- 12 Un sistema integrado de información sobre el trigo
- 16 Las políticas del CIMMYT sobre la distribución de germoplasma y el lanzamiento de variedades
- 18 Adónde dirigirse



Introducción

Hasta fines del siglo XVIII, la agricultura dependía por completo de herramientas rudimentarias, variedades criollas o mezclas de esas variedades. Luego sobrevinieron la Revolución Industrial y la consiguiente explosión demográfica, que transformaron para siempre la agricultura de autoconsumo y sus sistemas de cultivo. A mediados del siglo XIX, Mendel (y, posteriormente, otros fitogenetistas precursores) proporcionó nuevos conocimientos acerca de la fitogenética y el mejoramiento que hicieron posible aumentar en forma notable la producción y el potencial productivo de la agricultura. Por desgracia, las maravillas del fitomejoramiento provocaron también la erosión de la diversidad genética de muchos cultivos, entre ellos el trigo, a causa de la sustitución de las variedades nativas y las variedades de los agricultores por las modernas de alto rendimiento.

Por fortuna, nuestro conocimiento de las fuentes de diversidad genética, su distribución y las relaciones entre los

cultivos y sus parientes silvestres se ha acrecentado con rapidez en la segunda parte del siglo XX. Este mayor conocimiento ha llevado al concepto actual de que los recursos genéticos son nuestro patrimonio y, en consecuencia, deben ser conservados, protegidos y puestos sin restricciones a disposición de todos los que los necesitan.

La importancia de la conservación de los recursos genéticos actualmente se manifiesta con claridad en:

- El establecimiento de la Comisión de la FAO sobre los Recursos Fitogenéticos;
- La creación de numerosos bancos de genes por los sistemas nacionales de investigación agrícola;

¿En qué consisten los recursos genéticos?

El Programa de Trigo del CIMMYT aplica un criterio general de categorización de los recursos genéticos que coincide con el de Frankel (1977) y el de la Comisión de la FAO sobre los Recursos Fitogenéticos (FAO, 1983):

- Variedades cultivadas: las de alto rendimiento sembradas actualmente (variedades avanzadas) y aquellas que han sido sustituidas (variedades obsoletas) por las avanzadas; se sabe que casi todas fueron sometidas a mejoramiento.

- Variedades primitivas o criollas (como las tibetanas que aparecen a la izquierda) sin antecedentes conocidos de mejoramiento.
- Especies silvestres y malezas emparentadas con el cultivo. Se incluyen en este grupo 27 especies emparentadas con el trigo (Kimber y Feldman, 1987).
- Estirpes genéticas y citogenéticas especiales.
- Líneas elite y avanzadas que se incluyen porque podrían ser útiles en el mejoramiento o poseen características especiales, aunque no hayan sido lanzadas.

- Las continuas actividades de conservación que realizan los centros internacionales de investigación agrícola, como el IPGRI y los centros que trabajan en determinados cultivos, como el CIMMYT;
- El Diálogo Internacional Keystone sobre los Recursos Fitogenéticos.

La inclusión en 1988 de los recursos genéticos como uno de los cuatro subprogramas del Programa de Trigo (los otros subprogramas son: mejoramiento de germoplasma, protección de los cultivos y manejo y fisiología de los cultivos) refleja nuestra convicción de que la diversidad genética es fundamental para sostener la producción de trigo en el futuro. Además, formaliza nuestra responsabilidad de conservar los recursos genéticos de trigo y de apoyar los programas fitotécnicos activos mediante la recolección y obtención de germoplasma con las características que éstos necesitan. Finalmente, confirma nuestro compromiso de caracterizar, evaluar, documentar y mantener esos recursos de manera que sea mayor su utilidad en el mejoramiento de trigo.

Algunas definiciones

Colección activa: Colección de accesiones en conservación a mediano plazo (unos 40 años), almacenadas a temperaturas cercanas a los 0 °C y con una humedad del 3-7%. Idealmente, se deben mantener cantidades suficientes de todas las accesiones para responder a las solicitudes.

Colección de base: Colección de accesiones mantenidas en conservación segura a largo plazo (a -18 °C), que normalmente no se usa para la distribución.

Cultivar: Variedad (cultivada) de una planta, producida mediante el mejoramiento selectivo, que ha sido generada específicamente para propósitos agrícolas u hortícolas.

Especie silvestre afín: Pariente de una especie cultivada, que crece espontáneamente y no se usa para propósitos agrícolas.

Germoplasma: 1) Material genético que forma la base física de la herencia en una especie y que se transmite de una

generación a otra por medio de las células germinales; 2) individuo o clon que representa un tipo, especie o cultivo, que se puede mantener en depósito por razones agronómicas, históricas o de otro tipo.

Heterogéneo: Que está constituido por individuos diversos o genéticamente disímiles; mezclado.

Homogéneo: Que está constituido por individuos similares.

Recursos genéticos: Germoplasma de plantas, animales u otros organismos, que contiene características útiles de valor real o potencial. Véase el recuadro en la página 1.

Variedad: Subdivisión de una especie por debajo de las subespecies y, en la taxonomía clásica, agrupación heterogénea que incluye variaciones no genéticas del fenotipo, los morfos y las razas.

Variedad criolla: Forma cultivada de una especie domesticada, que ha evolucionado como consecuencia de selecciones efectuadas por los agricultores durante siglos.

Así pues, el subprograma de recursos genéticos, que incluye el banco de germoplasma de trigo, la sección de cruza amplias y la unidad de biología molecular de trigo, apoya el mejoramiento de trigo mediante:

- La obtención de germoplasma de relevancia crítica para el mejoramiento;
- El mantenimiento de colecciones de germoplasma representativo de todos los complejos importantes de germoplasma;
- La identificación y documentación de la variabilidad genética útil;
- La transferencia de la variabilidad genética a genotipos útiles mediante el premejoramiento y las cruza amplias;
- El perfeccionamiento de instrumentos biotecnológicos apropiados (en especial los que permiten la introgresión de genes exógenos) que complementarán a los métodos fitotécnicos tradicionales que aprovechan la variación genética;
- La distribución gratuita de accesiones e información en todo el mundo.

Este folleto describe principalmente las actividades del banco de germoplasma de trigo vinculadas con la conservación y el enriquecimiento del potencial de los recursos genéticos, así como las orientadas a poner este material a disposición de los fitomejoradores de todo el mundo, en particular los de los países en desarrollo.

Cooperación con otros centros internacionales

El CIMMYT ha firmado un acuerdo con el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR) -que en 1992 se convirtió en el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)- en el que se establece la cooperación en la recolección, la documentación y la evaluación de los recursos genéticos de trigo. En los aspectos técnicos y prácticos, contribuimos a planificar las actividades relacionadas con los recursos fitogenéticos mediante nuestra participación en reuniones del personal de recursos genéticos promovidas por los centros cuya misión es trabajar en un cultivo(s) y por el IPGRI. La primera de

estas reuniones se realizó en 1987 en el CIMMYT, la segunda, en 1989 en el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz (IRRI) y la tercera, en 1990 en el IPGRI.

En 1988, el CIMMYT y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas (ICARDA) llegaron a un acuerdo mediante el cual los dos centros comparten la responsabilidad de conservar los recursos genéticos de las especies *Triticum*. El ICARDA se ha hecho cargo de los trigos tetraploides (duros) y diploides y las especies silvestres emparentadas con el trigo; el CIMMYT tiene la responsabilidad de mantener la colección de base de los trigos hexaploides (harineros) y los triticales.

Para mayor seguridad, cada centro mantiene duplicados de las colecciones de base del otro centro. En esta forma, el banco del CIMMYT sirve como banco de respaldo de las colecciones de base del ICARDA de trigos duros de primavera, especies silvestres emparentadas con el

trigo y de la cebada. A su vez, el ICARDA respalda la colección de base del CIMMYT de trigos harineros y triticales. Las responsabilidades de ambas instituciones en cuanto a las colecciones de base incluyen también la búsqueda activa y recolección de todas las variedades comerciales y las variedades obsoletas, así como el mantenimiento de colecciones de variedades criollas.

Por otra parte, el personal de recursos genéticos del CIMMYT y el ICARDA participará en actividades conjuntas de evaluación, ya que los ambientes contrastantes en que trabaja cada centro se complementan.

Cooperación con los programas nacionales

El banco de germoplasma de trigo interactúa con los programas nacionales al:

- Actuar como respaldo de las colecciones nacionales;
- Satisfacer todo pedido de germoplasma y solicitar en ocasiones germoplasma

específico de un programa nacional para incluirlo en el banco;

- Solicitar la colaboración de éstos en verificar la identidad de las accesiones;
- Solicitar que realicen evaluaciones que no se pueden efectuar en México;
- Participar en expediciones conjuntas de recolección.

Mediante su función de respaldo de las colecciones de los programas nacionales, incluidas las colecciones de trabajo, el banco ayuda a evitar que el germoplasma se pierda. Las colecciones de respaldo se pueden almacenar como parte de la colección del CIMMYT o como accesiones especiales que no se distribuyen. En el primer caso, tienen acceso al material otros programas fuera del CIMMYT; en el segundo, el material sólo está disponible como material progenitor para los fitomejoradores del CIMMYT. Sin embargo, los productos de las cruzas realizadas con ese material están a la disposición de todos nuestros clientes. Prevemos que en el futuro los programas nacionales colaborarán activamente en la evaluación de los recursos genéticos de trigo.

Recolección y obtención de germoplasma

La recolección activa de germoplasma es un componente del programa del CIMMYT que se efectúa en coordinación con el IPGRI y el ICARDA (véase el recuadro en la p. 5). El banco apoya y/o participa activamente en las expediciones de recolección dependiendo del cultivo que se trate. Se tiene muy en cuenta si el germoplasma en una zona está amenazado por la "extinción genética", es decir, la destrucción total de un recurso genético (Wilkes, 1983). Asimismo, son de especial interés las zonas donde existe material que posiblemente nunca haya sido recolectado.

De particular interés para el CIMMYT es la recolección de variedades de todo el mundo que han sido lanzadas en el siglo XX, pero que ahora son obsoletas. En vista de lo que ha sucedido como consecuencia del mejoramiento de trigo, éstos recursos son muy importantes. Como un ejemplo, la mayoría de los trigos criollos o derivados de la hibridación en América del Sur se encuentran en la colección del CIMMYT.

Expediciones recientes para obtener germoplasma de trigo

1984. Al este de Turquía. Recolección de unas 750 variedades criollas.

1984. Al norte de Pakistán. Recolección de unas 375 variedades criollas.

1987. Al sudeste de Turquía. Recolección de unas 500 especies *Triticum* y *Hordeum* en el área de captación de la Presa de Ataturk. Son conservadas por el programa nacional de Turquía y el CIMMYT.

1989. A la zona del Mar Negro en Turquía. Recolección de 12 variedades comerciales de *T. monococcum* y *T. dicoccum* por el

Programa Turquía/CIMMYT, en colaboración con el Instituto Británico de Arqueología.

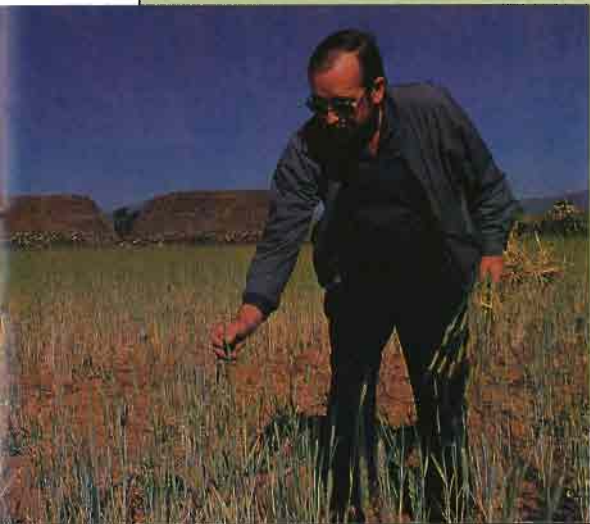
1989. Al estado de Michoacán, México. En colaboración con el programa nacional mexicano, recolección de variedades criollas de cultivo comercial de trigos hexaploides introducidos aproximadamente en 1550 desde España; se obtuvieron 216 accesiones (véase el inserto).

1990. A los estados de Nuevo León y Coahuila, México. Recolección de 1,550 accesiones de variedades criollas en una expedición conjunta de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias) de México, el IPGRI y el CIMMYT.

1990. Al Tíbet. Recolección de especies *Triticum* y *Hordeum* durante una expedición conjunta en la que participó personal canadiense, chino, del ICARDA y el CIMMYT; se obtuvieron 250 accesiones.

Conservación de germoplasma

Desde sus comienzos en 1966 y hasta 1981, el Programa de Trigo del CIMMYT contó con una instalación relativamente limitada de almacenamiento de germoplasma a baja temperatura, en la que se conservaban pequeñas cantidades de algunos materiales, en especial los que se usaban en los programas de cruzamiento o que eran el resultado de éstos. El banco de germoplasma de trigo entró en operación en 1981 y en la actualidad incluye un poco más de 95,000 accesiones, fruto de más de 50 años de actividades fitotécnicas y de recolección. Las accesiones forman parte de una colección activa que incluye todo tipo de recursos genéticos de trigo (Cuadro 1) y que está almacenada a -2 °C, temperatura que permite mantener la viabilidad de las accesiones a mediano plazo, es decir, durante 40 a 50 años. En la actualidad, se proyecta la construcción de una instalación de almacenamiento a largo plazo que se mantendrá a una temperatura de -18 °C y prolongará la viabilidad de la semilla hasta 100 años.



Tom Luba

En el presente, toda la colección se mantiene como colección activa. Cuando se haya completado nuestra instalación de almacenamiento a largo plazo y se instale el sistema de manejo de información del banco de germoplasma de trigo, se formará una colección de base de germoplasma de trigo hexaploide y de triticale; el resto (trigo duro y especies silvestres afines al trigo)

Cuadro 1. Número de accesiones clasificadas por especie contenidas en el banco de trigo del CIMMYT en enero de 1992.

Cultivo	No. de accesiones
Trigo harinero (<i>Triticum aestivum</i>)	52,839
Trigo duro (<i>Triticum turgidum</i>)	13,448
Triticale (X <i>Triticosecale</i>)	13,268
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	7,991
Centeno (<i>Secale cereale</i>)	194
Especies primitivas (<i>T. monococcum</i> , <i>T. dicoccum</i>)	4,523
Parientes silvestres (especies <i>Triticum</i>)	2,984
Total	95,247

Conservación de los recursos genéticos de triticale

El triticale (X *Triticosecale*) es una especie recién sintetizada y, por consiguiente, no hay variedades criollas de este cultivo. No obstante, existe una amplia gama de genotipos que son fruto del fitomejoramiento intensivo realizado en varias zonas agroecológicas de América del Norte y Europa. Los progenitores del triticale, el centeno (*Secale cereale*) y el trigo (especies *Triticum*), se han conservado durante muchos años, aunque las colecciones de los recursos genéticos del centeno no representan cabalmente la diversidad existente en las especies cultivadas y silvestres de *Secale*.

En 1992, se concluyó un proyecto de tres años en colaboración con la Universidad de California en Davis, en el que se reunió una amplia colección de los recursos genéticos de triticale para colocarla en varios bancos de germoplasma. Se hizo hincapié en el germoplasma de América del Norte porque tres eminentes fitomejoradores de triticale, R.J. Metzger, E.N. Larter y B.C. Jenkins, se habían jubilado y el germoplasma que

habían acumulado corría el riesgo de ser abandonado o de no ser incluido en una colección pública.

En Davis, California, se cultivaron en un ambiente común triticales de invierno y de primavera. Se registraron los datos descriptores y se evaluaron varias características. Más de 3,000 accesiones distintas fueron multiplicadas para la Colección Nacional de Cereales de Idaho, el banco de germoplasma de trigo del CIMMYT y otros bancos que pudieran solicitar semillas. Esta colección está a la disposición en el banco del CIMMYT.



Gene Hettel

seguirá en la colección activa, según el acuerdo entre el ICARDA y el CIMMYT. El germoplasma de cebada se almacena en el CIMMYT sólo como colección de trabajo para el programa conjunto de cebada del ICARDA y el CIMMYT.

Multiplicación y regeneración de semilla

La multiplicación y la regeneración son dos de las funciones más importantes de un banco de germoplasma porque la viabilidad a largo plazo de la semilla depende mucho de la calidad de la semilla que se almacena. Además, es preciso evitar la deriva genética, así como las mezclas mecánicas y otros percances del manejo.

El CIMMYT multiplica la semilla en un invernadero especial en El Batán (su sede) en lugar de hacerlo en el campo. Ese invernadero (véanse las fotografías a la derecha) facilita la producción de semilla de calidad para el almacenamiento a mediano y largo plazo. También contribuye a evitar la mezcla mecánica accidental y otros errores de

manejo, ya que la siembra para la multiplicación se programa para todo el año y no se realiza estrictamente según el ciclo anual de cultivo. Por consiguiente, en cualquier momento se puede multiplicar una cantidad limitada de accesiones sembrando semanalmente o

cada dos semanas. Esto es mucho mejor que la cosecha simultánea de miles de líneas que son producto de una sola siembra por ciclo.

Un aspecto importante de la multiplicación y la regeneración de la



Gene Hettel

semilla es la cantidad de ésta que se siembra. La cantidad de semilla sembrada o el número real de plantas cosechadas en el CIMMYT dependen de dos factores:

- La homogeneidad o la heterogeneidad de las accesiones;
- El tamaño de la muestra de semilla recibida originalmente.

Por lo general, en el CIMMYT se siembra la semilla en unidades básicas de 25 plantas. Si se considera que una accesión es homogénea o se trata de una muestra muy pequeña, se produce una sola unidad básica. A medida que aumenta la heterogeneidad, se pueden incluir una, dos o tres unidades en la siembra. La cantidad más grande que se haya empleado es de 100 plantas (cuatro unidades básicas). Cuando hay dudas respecto al número de plantas que se debe producir, preferimos pecar por exceso para mayor seguridad. En la mayoría de los casos se conoce la homogeneidad relativa cuando el material proviene de los programas del

CIMMYT. Se determina la homogeneidad del material introducido cuando se le siembra en el bloque de introducción para la inspección cuarentenaria.

Sanidad de la semilla y cuarentena

Todas las introducciones se canalizan a la Unidad de Sanidad de Semilla del CIMMYT (USS) para ser inspeccionadas antes de la siembra. Si la USS encuentra algún riesgo potencial, se destruyen las muestras. Si no hay riesgos, las introducciones se siembran en el invernadero o en campos designados especialmente para el propósito. Periódicamente se inspeccionan las introducciones del banco y se aplican con regularidad fungicidas e insecticidas.

La USS hace un inventario de todos los agentes patógenos encontrados en la semilla almacenada en el banco. En el Cuadro 2 se presenta un ejemplo típico de los organismos encontrados en una muestra mezclada de 9,206 accesiones de

Cuadro 2. Resultados de la inspección física, el lavado de la superficie y las pruebas de incubación con papel secante de más de 9,000 muestras de accesiones de trigo harinero y *Triticum dicoccum* del banco, registradas en Celaya y Papalotla, México.

	Trigo harinero CEL1987	<i>T. dicoccum</i> PAP1990	PAP1990
Numero de accesiones	1264	7616	326
Inspección física			
Bolas de carbón	0	0	0
Agallas	0	0	0
Esclerocios	0	0	0
Señales de insectos	0	0	0
Semillas de maleza	0	0	0
Lavado de la superficie			
Teliosporas de carbón parcial	0	0	0
Teliosporas de carbón común	0	0	0
Incubación con papel secante (% de granos infectados)			
<i>Cochliobolus sativus</i>	0.3	0	0
<i>D. hawaiiensis</i>	0.3	0.3	0.3
<i>D. tetramara</i>	0	0.3	0
<i>Fusarium</i> sp.	0	0.3	0
<i>F. avenaceum</i>	0	1.3	29.7
<i>F. culmorum</i>	0	0.3	2.8
<i>F. moniliforme</i>	9.3	0.3	0
<i>F. oxysporum</i>	3.0	3.5	0
<i>F. poae</i>	0.3	0.3	0
<i>F. sambucinum</i>	0	0.3	0
<i>Gibberella zeae</i>	1.3	2.3	0

trigo harinero y *Triticum dicoccum*, que indica que sólo estaban presentes los hongos normalmente endémicos en la mayoría de las zonas de cultivo del trigo. Esperamos que la incidencia de esos hongos disminuya en forma considerable con el empleo del invernadero. La USS examina cada sembradío en el invernadero con el fin de acumular un registro completo de los organismos encontrados.

El análisis de semilla es útil porque revela problemas potenciales y permite planificar aplicaciones profilácticas de productos agroquímicos durante la multiplicación de la semilla con el propósito de evitar cualquier brote de enfermedades. Además, estos análisis se usan para determinar los tratamientos de la semilla antes del envío.

En la actualidad, el tratamiento que se aplica a la semilla antes de despacharla es una combinación de Vitavax 300 y Daconil (2 g de ambos/kg de semilla), y 3 ml/kg de Pellistac como agente adhesivo.

Evaluación

Una importante actividad del banco es identificar variabilidad genética útil y ponerla a disposición de los fitomejoradores. Estimamos que se necesitará variabilidad para:

- Incrementar más el potencial de rendimiento;
- Proporcionar nuevas fuentes de resistencia a las enfermedades y las plagas con el fin de mantener el nivel de rendimiento alcanzado hasta ahora;
- Generar variedades adaptadas a los ambientes más marginales;
- Obtener una mejor calidad.

La mayoría de las evaluaciones se efectúan en respuesta a la demanda, es decir, se evalúan aquellas características para las que se carece de variabilidad en los programas de mejoramiento. Esas evaluaciones pueden ser solicitadas por los fitomejoradores del CIMMYT o por los investigadores de los programas nacionales. Un ejemplo es el pedido de la sección de trigo harinero del CIMMYT de evaluar la resistencia al pulgón ruso del

trigo de las accesiones del banco. Se identificó esa resistencia en accesiones de *Triticum aestivum* y *T. dicoccum*, pero no entre las accesiones de *T. durum*. Existen otros materiales en la colección cuya resistencia al pulgón ruso no se ha examinado; se hará esto sólo si se considera que se requieren más fuentes de resistencia.

Evaluamos también:

- En el trigo harinero: resistencia a *Septoria tritici*, resistencia a *Helminthosporium sativum*, pubescencia de la gluma y tolerancia al calor.
- En la escandia almidonera: tolerancia al calor y resistencia a *Septoria tritici*.
- En la escandia común: resistencia a *Septoria tritici*.
- En el trigo duro: precocidad y resistencia a *Septoria tritici*.

Algunos han propuesto la creación de una colección central para aumentar la utilidad de la colección y facilitar el proceso de evaluación. Sin embargo, el personal de recursos genéticos del CIMMYT considera que sería prematuro

El empleo de los parientes silvestres del trigo en la búsqueda de variabilidad

La mayoría de las cruzas amplias se efectúan con dos conjuntos de materiales emparentados con el trigo, uno en forma distante (intergenérica) y el otro en forma cercana (interespecífica). Los parientes lejanos incluyen aproximadamente 325 especies anuales o perennes. Se ha logrado un progreso considerable en la producción de híbridos complejos, especialmente en las cruzas de trigo con *Thinopyrum* (*Agropyron*) *curvifolium*, *A. distichum* (cruza original obtenida del Dr. R. Pienaar en Sudáfrica), *A. junceum*, *Elymus giganteus* y varios otros derivados de especies que tienen que ser mejoradas aún más. Después de 10 años de cruzamiento y selección posteriores a la craza original de *Th. curvifolium* con tres trigos harineros susceptibles, se produjo un material que mostraba resistencia excelente al tizón foliar (causado por *Helminthosporium sativum*) y que pasó a la sección de trigo harinero en 1990. Esta lo seguirá mejorando hasta generar germoplasma elite apto para ser lanzado. Los derivados avanzados de estos híbridos también tienen resistencia a la roya de la hoja, la roña y las

septoriosis; hay además buenas posibilidades de obtener tolerancia a la salinidad.

En 1991, Pakistán lanzó dos variedades de trigo harinero derivadas de híbridos de *A. distichum* desarrollados por el CIMMYT: Pasban 90 para zonas irrigadas y suelos salinos, y Rohtas 90 para zonas de secano. Otros programas nacionales evalúan progenies provenientes de este trabajo

intergenérico y el CIMMYT ha incorporado algunas en sus programas de mejoramiento.

En el presente, la sección de cruzas amplias incorpora en el trigo características de parientes cercanos, en su mayoría especies de *Triticum*. Una actividad importante es el cruzamiento del trigo duro con *Triticum tauschii* (véase la fotografía), que da como resultado líneas llamadas hexaploides sintéticas. Hasta el momento se han



efectuado cruza usando 200 accesiones diferentes de *T. tauschii*, lo cual nos permite aprovechar la variabilidad genética de ese pariente silvestre. En estos materiales se busca la resistencia a las enfermedades provocadas por *Helminthosporium* y *Septoria*, la fusariosis de la espiga y el carbón parcial. También son buenas las perspectivas de encontrar tolerancia a la salinidad. Otras 250 accesiones de *T. tauschii* de la colección activa del banco se usarán en cruzamientos similares.

Los genes que otorgan resistencia a las royas de la hoja y del tallo constituyen un ejemplo de la variabilidad genética que pueden proporcionar los parientes silvestres del trigo. Hasta la fecha, se han detectado unos 20 genes únicos de la resistencia a la roya del tallo y 12 de la resistencia a la roya de la hoja en ocho gramíneas silvestres emparentadas, en comparación con 21 genes de la resistencia a la roya del tallo y 23 de la resistencia a la roya de la hoja encontrados en el trigo mismo (Skovmand y Rajaram, 1990).

tomar esa medida y que se necesitan más investigaciones para determinar si una colección central realmente aumentaría la utilidad.

Premejoramiento

Se realiza el premejoramiento con el fin de generar material progenitor para las secciones de mejoramiento sólo cuando las características requeridas se encuentran en accesiones con tipo agronómico muy deficiente o sensibilidad excesiva a una o más enfermedades. Normalmente se utilizan híbridos intraespecíficos o inter-específicos que no requieren técnicas especiales, como el rescate de embriones. Por lo general se efectúa el premejoramiento para transferir genes específicos o crear poblaciones fuentes basadas en trigos con esterilidad masculina dominante.

Las transferencias de genes se realizan siguiendo un programa tradicional de retrocruzamiento en el que el progenitor recurrente es un trigo semienano

mejorado. Si se juzga que el carácter es suficientemente importante para ser empleado en el futuro, se considera la posibilidad de producir estirpes isogénicas. En la actualidad se transfieren las siguientes características: 1) pubescencia de la gluma al trigo harinero, 2) tolerancia al anegamiento al trigo harinero, 3) resistencia al pulgón ruso del trigo a trigos harineros y duros y (4) precocidad al trigo duro.

La creación de complejos de genes se basa en trigos con esterilidad masculina dominante y se relaciona principalmente con factores bióticos y abióticos adversos. Se pueden incorporar distintas fuentes de resistencia en una población y luego someterla a selección recurrente. Las poblaciones así logradas se pondrán a disposición de los fitomejoradores. Cuando se haya identificado el material progenitor adecuado, se crearán ese tipo de poblaciones con diversas características.

(continúa en la página 15)

Un sistema integrado de información sobre el trigo

Anteriormente, la información generada por distintas fuentes —por ejemplo, los ensayos nacionales e internacionales, los laboratorios y los bancos de germoplasma— no se podía integrar eficazmente en torno al germoplasma al que se refería. Por esta razón, el Programa de Trigo resolvió establecer una estrategia integrada para manejar todos los datos correspondientes al germoplasma del Programa. Esta estrategia, que se apoya en el uso de identificadores únicos del germoplasma y una base de datos relacional, se aplicará en tres etapas:

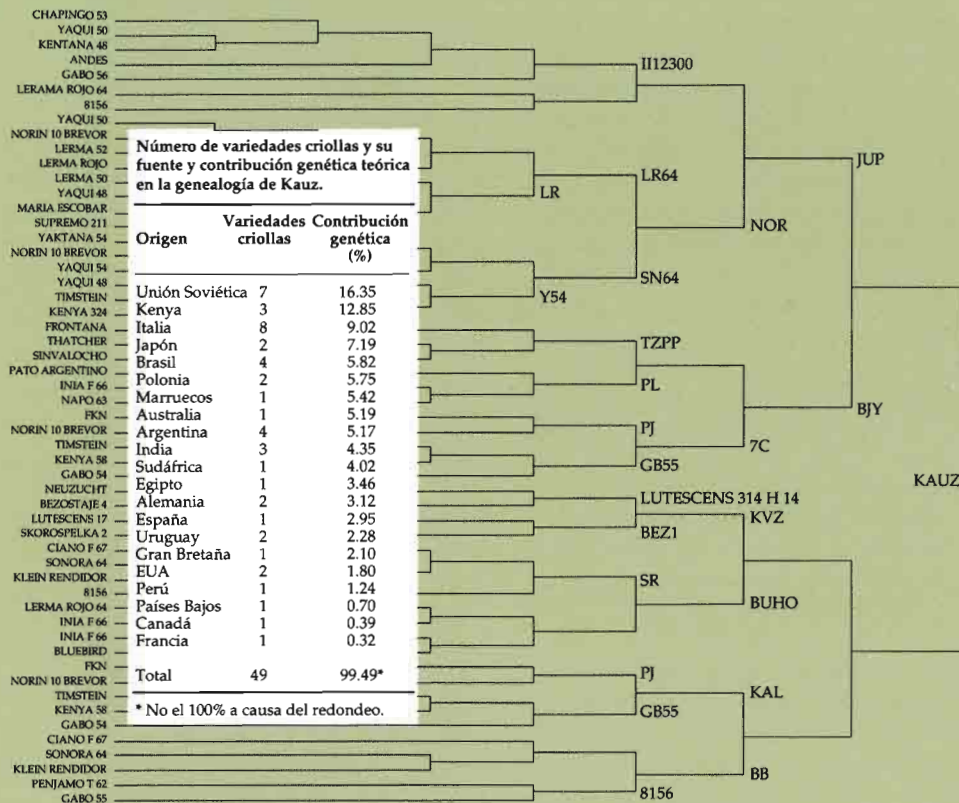
- Identificación del germoplasma mediante números de identificación de la crucea y de la selección. Esta fase del sistema de manejo de genealogías de trigo (WPMS) se ha completado y está conectada al sistema de computadoras.
- Descripción y datos del germoplasma (datos G o genotípicos). Esta etapa se ha completado parcialmente con la instalación del sistema del banco de germoplasma de trigo (WGBS).

- Sistema de manejo de datos sobre el trigo (WDMS), para el manejo de la información sobre la evaluación de genotipos y las interacciones genotipo x ambiente.

El WPMS. Esta base de datos constituye el núcleo del sistema integrado de información. El uso de identificadores únicos permite el intercambio de información entre los sistemas porque identifica cada material en forma precisa. En el CIMMYT, como en la mayoría de los centros de mejoramiento, el germoplasma se conoce por el nombre de la variedad o del fitomejorador, la crucea, el número de la crucea o los antecedentes de selección. Una determinada línea se puede identificar mediante uno o todos los descriptores anteriores, por ejemplo, las notaciones Seri 82, Veery#5, KVZ/BUHO//KAL/BB y CM33027-F-15M-500Y-0M aluden al mismo germoplasma. El WPMS indica que todos esos descriptores se refieren al mismo material.

El WPMS, una base de datos relacional y depósito de información sobre las

genealogías y los antecedentes de selección, utiliza el sistema Purdue/USDA para identificar las cruces y la notación del CIMMYT para registrar los antecedentes de selección (las líneas introducidas se incluyen como atípicas). Este depósito proporciona un mecanismo uniforme de identificación que permite almacenar información sobre el germoplasma de acuerdo con sus progenitores, por lo cual deberá servir en todos los aspectos de la investigación vinculada con el germoplasma. Por ejemplo, con el WPMS se pueden analizar genealogías y calcular la contribución genética teórica de cualquier línea, variedad o variedad criolla en el árbol. La genealogía completa de Kauz, trigo harinero ampliamente difundido del CIMMYT, indica que 49 variedades criollas de 21 países contribuyeron a la estructura genética de este trigo. El cuadro muestra una genealogía parcial de Kauz (cinco generaciones), así como la contribución genética teórica de las variedades criollas y sus países de origen. La comparación de las variedades criollas presentes en los árboles jerárquicos de variedades modernas



ayudará a los fitomejoradores a rastrear características útiles hasta variedades criollas específicas y a identificar las que aún no se han usado en los programas de mejoramiento.

El almacenamiento no redundante de los datos permitirá ampliar genealogías individuales con información adicional sobre los antepasados. Estas características pueden aprovecharse para desarrollar instrumentos tales como el coeficiente de parentesco. Ya se ha comprobado la utilidad del WPMS; por ejemplo, las investigaciones preliminares indican que es limitada la diversidad citoplásmica presente en los trigos harineros del CIMMYT.

Hasta la fecha, se han establecido las siguientes funciones del WPMS:

- El sistema de libros de campo PMS de trigo (WPFBS). Genera libros de campo para las secciones de mejoramiento y les

(continúa en la página 14)

imprime rótulos de campo y etiquetas de cosecha. Este sistema efectúa una verificación rigurosa de los datos registrados en los libros de campo y, por lo tanto, mejora su calidad. Acepta el uso de distintos nombres para el mismo germoplasma en la captura de datos, pero el nombre preferido aparece en el libro de campo.



Archivos del CIMMYT

- Informes PMS sobre el trigo. 1) Expansión de cruza, que informa sobre una variedad de acuerdo con la identificación de las cruzas y la selección; puede expandir una cruza para incluir a todos los antepasados. 2) Dendrogramas que permiten el examen de las genealogías de una variedad y proporcionan una tabla de la contribución genética mendeliana teórica de cada progenitor, como en el ejemplo de Kauz. 3) Abreviaturas de trigo, función que crea una lista ordenada alfabéticamente de las abreviaturas de las variedades de trigo. Esta lista reemplaza al Informe especial 749 de la Universidad Estatal de Oregon y será distribuida internacionalmente como el Informe especial de trigo No. 4 del CIMMYT, ya sea en forma electrónica o impresa. 4) Números CM, que señalan las cruzas en que una determinada línea ha participado como progenitora.

El WGBS. El sistema del banco de germoplasma de trigo maneja los datos de pasaporte y de regeneración, así como la información logística descrita en el texto. El WGBS está conectado a los otros sistemas

centrales, el WPMS y el WDMS, que también utilizan los identificadores únicos; por tanto, puede recuperar y proporcionar información al sistema completo. Véase la página 15 para mayores detalles sobre el WGBS.

El WDMS. El sistema de manejo de datos sobre el trigo (WDMS) constituirá un sistema seguro y flexible para almacenar datos sobre el trigo, el triticale y la cebada. También proporcionará un conjunto de instrumentos para filtrar y transformar los datos, acceder a ellos y explorarlos.

El WDMS, que actualmente se encuentra en las etapas de planificación y diseño, almacenará datos originales de tres tipos: 1) ambientales, 2) de genotipo x ambiente, y 3) genotípicos. Además, contará con instrumentos para la manipulación, el informe y la presentación gráfica de datos. El hecho de poder consultar la base de datos relacional constituirá un valioso instrumento de investigación. Por ejemplo, se prevé que con el WDMS se podrá producir una lista de sitios donde se han sembrado ensayos internacionales de trigo harinero, trigo duro

y triticale en el mismo ciclo con menos de 350 mm de agua. Asimismo, se podrán enumerar las veces que una línea X, que será lanzada por un programa nacional, aparece en la base de datos; también se proporcionará una segunda lista en que se señalen todos los casos de reacciones susceptibles a enfermedades específicas. El sistema extraerá archivos para transferirlos desde el sistema central a computadoras personales donde se podrán efectuar otros análisis usando los paquetes ordinarios.

Recopilación de toda la información. El WPMS, el WGBS, el WDMS y funciones afines han sido desarrollados en el Sistema 1032 en una computadora VAX con el sistema operativo VMS. Planeamos agregar el sistema de manejo de datos, que es un juego de instrumentos para el acceso a la red en los sistemas VAX que facilita los informes, la consulta y la exportación. La utilización eficiente de esta red integrada constituirá un instrumento inapreciable para aprovechar y distribuir la información sobre las accesiones del banco.

Cruzas amplias de trigo

La sección de cruzas amplias del subprograma de recursos genéticos agrega nueva variabilidad al germoplasma de trigo cultivado introduciendo material genético exógeno mediante las cruzas intergenéricas e interespecíficas. En esta labor se requieren técnicas especiales como el rescate de embriones. Los productos pasan al principal programa de mejoramiento del CIMMYT y a los programas nacionales. La sección colabora también en diversos proyectos de investigación básica que se realizan en el CIMMYT. Véase el recuadro en la página 10 sobre la búsqueda de variabilidad genética entre los parientes cercanos y distantes del trigo.

Biología molecular del trigo

En la sección de biología molecular se efectúa el mapeo de genes específicos, es decir, genes o combinaciones de genes que determinan la respuesta al fotoperíodo y la vernalización o confieren resistencia a ciertas enfermedades y tolerancia a la sequía. También se busca variabilidad genómica

y se evalúan e investigan metodologías nuevas que podrían emplearse en el mejoramiento de trigo.

En un futuro cercano, se espera que la sección de biología molecular de trigo ayudará al banco, mediante el empleo de marcadores moleculares, a transferir a los trigos mejorados algunos de los genes identificados en sus evaluaciones. En un futuro más lejano, se prevé que la sección participará en la identificación de la variación genómica existente en la colección del banco, en el aislamiento de los genes mismos y en la aplicación de métodos novedosos para transferir genes exógenos y modificar la expresión génica.

Documentación usando el sistema del banco de germoplasma de trigo

El sistema del banco de germoplasma de trigo (WGBS) es un sistema de programas que manejan en forma electrónica los datos (es decir, los datos de pasaporte, caracterización, evaluación y logística) correspondientes a la colección del banco. Con el WGBS también se pueden generar libros de

Las políticas del CIMMYT sobre la distribución de germoplasma y el lanzamiento de variedades

Las accesiones del banco constituyen una colección que se mantiene en custodia para ser usada por la comunidad científica dedicada a mejorar el trigo. De 1987 a 1991, se distribuyeron 41,384 muestras a programas de todo el mundo. Se pueden solicitar pequeñas cantidades de semilla (100 semillas por accesión) que se envían gratuitamente a cualquier científico o programa del sector público o privado de los países desarrollados y en desarrollo, siempre que haya una cantidad suficiente de la semilla en cuestión para la distribución. En caso de escasez, se da prioridad a los organismos del sector público. Se pide a los investigadores del sector privado que paguen los gastos de envío. Se puede llegar a un arreglo según el cual se proporcionarán cantidades superiores a 100 semillas, que se multiplican en México antes del envío. Esto toma aproximadamente cinco meses.

Material para el mejoramiento

Distribución de germoplasma. El CIMMYT distribuye germoplasma de trigo harinero, trigo duro, triticale y cebada (del ICARDA/CIMMYT) en beneficio de los productores y consumidores de trigo de los países en desarrollo. El criterio del CIMMYT es que el germoplasma generado mediante sus programas debe estar disponible en forma gratuita para todos sus clientes. Se estimula a los fitomejoradores a utilizar ese material para desarrollar sus propias variedades.

Se distribuye germoplasma mediante:

- Las solicitudes de semilla dirigidas al banco y a otras secciones del CIMMYT.
- El sistema de Ensayos Internacionales de Trigo del CIMMYT, que anuncia con regularidad el germoplasma que está a disposición de los programas nacionales y otras partes interesadas.
- La recolección directa por las personas que visitan los ensayos del CIMMYT en México y en las regiones.

Para la distribución se clasifica el germoplasma en tres categorías:

- Poblaciones segregantes del CIMMYT (F_2 a F_3).
- Líneas avanzadas derivadas de materiales del CIMMYT (F_6 y generaciones posteriores).
- Introducciones no del CIMMYT (provenientes de mejoradores, estaciones experimentales, organismos privados y públicos, expediciones de recolección y bancos de germoplasma), que incluyen líneas avanzadas, variedades comerciales, variedades criollas y parientes silvestres.

Lanzamiento de variedades. La política del CIMMYT respecto al lanzamiento de variedades comerciales originadas en esas tres categorías establece lo siguiente:

- Poblaciones segregantes del CIMMYT: en todas las circunstancias se pueden lanzar libremente las selecciones como variedades; en ese caso, el CIMMYT

agradece que se le notifique y se cite la procedencia del material.

- Líneas avanzadas derivadas de materiales del CIMMYT: cuando no están implicados los derechos sobre variedades de plantas (DVP), el CIMMYT pide que se le notifique y se cite la procedencia del material. No obstante, si una línea va a ser lanzada bajo los DVP, con o sin selección adicional, es necesario obtener el permiso del CIMMYT. Si bien el CIMMYT reconoce la validez de los DVP, se reserva el derecho de distribuir el germoplasma a todos sus clientes.
- Introducciones que no son del CIMMYT: cuando una línea avanzada y/o una variedad comercial proveniente de otra fuente que ha sido incluida en los ensayos del CIMMYT, va a ser lanzada con o sin selección adicional como variedad comercial, se debe obtener aprobación escrita a través del CIMMYT o directamente de la fuente responsable de ese material, se apliquen o no los DVP.

campo y diversos tipos de informes, según se requiera. Esta base de datos utiliza ciertos elementos del sistema de manejo del banco de germoplasma de maíz del CIMMYT (Rosales y Taba, 1988).

El WGBS emplea los mismos identificadores de genealogías que el sistema de manejo de genealogías de trigo (WPMS) a fin de facilitar el intercambio de información entre las secciones fitotécnicas, los viveros internacionales y el banco. Esto significa que cuando se entregue germoplasma al banco, éste dispondrá de inmediato de todos los datos existentes sobre ese material.

Las funciones del WGBS incluyen:

- El almacenamiento y la actualización de los datos de pasaporte para facilitar el acceso a los materiales;
- La producción de los libros de campo necesarios para la introducción, regeneración y caracterización de materiales;
- La elaboración de listas para el envío de semilla;

- La colocación de los materiales actuales y las introducciones en los lugares que les corresponden en las colecciones activa y de base;



- La vigilancia de las fechas de almacenamiento, la viabilidad de la semilla y las cantidades disponibles de ésta;
- La selección de materiales cuya cantidad de semilla se ha reducido mucho y que requieren regeneración;
- El archivo de datos obtenidos en los viveros de introducción y regeneración;
- Facilitar la selección de accesiones sobre la base de los datos de pasaporte y/o características específicas.

En las colecciones activa y de base del banco se realiza continuamente la introducción de accesiones y, con menos frecuencia, el retiro de algunas. Por tanto, a causa de lo difícil que sería mantenerlo actualizado, no se prevé la publicación de un catálogo de accesiones en este momento, aunque existe la posibilidad de que en el futuro se publique con la tecnología del CD-ROM (disco compacto, sólo para leerse). El WGBS nos permite efectuar búsquedas en la base de datos en cualquier momento y esto lo hacemos a petición de nuestros científicos o colaboradores. Asimismo, podemos proporcionar listas

de accesiones de particular interés para ellos, ya sea en disquetes o en copias impresas. En la actualidad, se pueden realizar búsquedas en la colección de acuerdo con atributos tales como el cultivo, hábito de crecimiento, especie, origen, madurez, altura y color del grano. Se agregarán otros atributos a esta lista cuando se haya añadido la información a la base de datos.

Solicitudes de semilla

Los pedidos de semilla específica, es decir, los que indican el nombre o el número de la accesión, pueden satisfacerse con facilidad (siempre que el germoplasma en cuestión esté en la colección activa) y se despachan

Adónde dirigirse

Las solicitudes de semilla, listas de accesiones u otra información sobre el banco deben dirigirse a: Jefe, Banco de Germoplasma de Trigo, Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., México. FAX: (52) 595-4-1069; Correo electrónico: DIALCOM 157:CGI201.

normalmente en el lapso de una semana. Cuando se requiere un permiso de importación para el envío de la semilla, el proceso se agiliza si se incluye el permiso con la solicitud inicial. Cuando recibimos pedidos de carácter más general, tratamos de comunicarnos con el solicitante a fin de determinar cuál material le será más útil. En esos casos, el siguiente tipo de información nos ayuda a identificar el germoplasma apropiado:

- El cultivo de interés;
- El hábito de crecimiento requerido;
- El objetivo de la investigación;
- Cuánto material se puede manejar en un ciclo de cultivo;
- Las condiciones de cultivo.

Realimentación de información sobre el uso y comportamiento del material del banco

Aunque la conservación y la distribución de la semilla son funciones importantes del banco, llevamos a cabo también otras actividades esenciales como la promoción del libre intercambio de información acerca del comportamiento

de los materiales. Esta información se recopila y se utiliza para seleccionar materiales con el fin de satisfacer los pedidos. Dado que los informes de nuestros colaboradores aumentan nuestros conocimientos acerca de cada accesión, solicitamos que se nos envíe una copia de todos los resultados obtenidos con el germoplasma del banco.

Conclusiones

La diversidad genética constituye un elemento de crítica importancia para aumentar el potencial de rendimiento y mantenerlo porque permite aprovechar nuevas fuentes de resistencia o tolerancia a factores bióticos y abióticos desfavorables. En consecuencia, los recursos genéticos resultan fundamentales para sostener la producción de trigo en el futuro.

Las modernas variedades de trigo son el producto de la acumulación piramidal de genes, o de combinaciones de éstos, efectuada en el último siglo por fitomejoradores que usaron, en la mayoría de los casos, variedades bien adaptadas de sus regiones. Gracias al

avance de la agricultura internacional, se ha incrementado enormemente la disponibilidad de germoplasma con adaptación amplia y proveniente de muchas fuentes, y se han modificado considerablemente los patrones de distribución de las variedades. En vista de esta situación, es imperativo seguir aprovechando la variabilidad encontrada en los recursos genéticos con el fin de aumentar la estabilidad de rendimiento y mejorar aún más el trigo.

Por último, conviene recordar que entre los objetivos primordiales del CIMMYT figura el incremento de la productividad a nivel de fincas protegiendo, al mismo tiempo, la variabilidad genética. En consecuencia, la conservación, la evaluación, la documentación, el enriquecimiento y la fácil disponibilidad de los recursos genéticos se volverán cada vez más importantes.

Referencias

CIMMYT. 1989. Informe anual 1988 CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). Distribución de la diversidad. México, D.F.: CIMMYT.

- FAO. 1983. Comisión sobre los recursos fitogenéticos. Resolución 8/83 de la 22ª Sesión de la Conferencia FAO, Roma.
- Frankel, O.H. 1977. Natural variation and its conservation. En: Genetic Diversity of Plants. A. Muhammed y R.C. von Botstel, eds., pp. 21-24. Plenum.
- IBPGR. 1991. Elsevier's Dictionary of Plant Genetic Resources. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. 187 p.
- Kimber, G. y M. Feldman. 1987. Wild Wheat: An Introduction. Special Report 353, Escuela de Agricultura, Universidad de Missouri, Columbia. 142 p.
- Rosales, P.M. y S. Taba. 1988. A local germplasm bank information management system. En: Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources, Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop. pp. 52-55. México, D.F.: CIMMYT.
- Skovmand, B. y S. Rajaram. 1990. Utilization of genetic resources in the improvement of wheat. En: Wheat Genetic Resources: Meeting Diverse Needs. J.P. Srivastava y A.B. Damania, eds., pp. 259-268. John Wiley and Sons Ltd., West Sussex, England.
- Wilkes, G. 1983. Current status of crop plant germplasm. CRC Critical Reviews in Plant Science 1:133-181.

ISBN 968-6127-69-0



International Maize and Wheat Improvement Center
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641, 06600 Mexico, D.F. Mexico