

CASOS DE USO DE RECURSOS GENÉTICOS EN PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO DE CEREALES DE INVIERNO EN URUGUAY

Condón, F.¹ ; Germán, S.

RESUMEN

Uruguay es un país en gran medida dependiente de recursos genéticos externos para especies cultivadas. Dado que Uruguay está en una zona geográfica con fuerte presión de enfermedades, uno de los usos más importantes de los recursos genéticos en cereales de invierno es la introducción de genes de resistencia a las enfermedades más relevantes. La introgresión de calidad industrial y de características que confieren mejor adaptación a las condiciones agroecológicas y sistemas de producción utilizados en el país es también importante. Se presentan y analizan casos de uso de recursos genéticos en trigo y cebada para la introducción de genes de resistencias a enfermedades, y la identificación de materiales de cebada sensibles a fotoperíodo. Se ha generado en este ambiente germoplasma adaptado, resistente a un complejo importante de enfermedades, que puede ser útil en otras regiones del mundo.

PALABRAS CLAVE: germoplasma, cebada, trigo, resistencia a enfermedades.

SUMMARY

CASES OF GENETIC RESOURCES UTILIZATION IN WINTER CEREALS BREEDING PROGRAMS IN URUGUAY

Cultivated species in Uruguay greatly depend on external genetic resources. Since Uruguay is located in a geographical area under strong disease pressure, one of the most important uses of genetic resources in winter cereals is the introgression of genes conferring resistance to the most relevant diseases. The introgression of genes to improve industrial quality and characteristics that confer better adaptation to the Uruguayan agroecological conditions and production systems is also important. Examples of utilization of genetic resources for the introduction of genes for resistance to diseases in wheat and barley and the identification of barley materials with photoperiod sensitivity are analyzed in this paper. Adapted germplasm resistant to an important complex of diseases which may be useful in other regions of the world has been generated.

KEY WORDS: germplasm, barley, wheat, disease resistance

INTRODUCCIÓN

La diversidad genética en los cultivos y su importancia.

El mejoramiento genético vegetal y la diversidad genética muchas veces parecen contraponerse, siendo fundamental encontrar el balance entre la ganancia genética del mejoramiento y la vulnerabilidad de los cultivos ante estreses bióticos y abióticos. Un ejemplo es el caso del maíz en Estados Unidos, llamado mejoramiento por reciclaje o "recycle breeding" (Bernardo, 1998), basado en cruza con

una base de germoplasma estrecho. Este proceso, que si bien conduce a la acumulación de alelos deseables, y por lo tanto contribuye al proceso de mejoramiento genético, (Rasmusson and Phillips, 1997) también conduce a la pérdida de alelos potencialmente útiles pero que no se encuentran bajo presión de selección debido a la deriva génica, y por lo tanto aumenta el riesgo de vulnerabilidad de los cultivos (National Research Council, 1993). La consecuencia han sido epifitias que han devastado áreas de cultivos, como la de la fusariosis de la espiga en cebada de seis carreras en el Centro Oeste Norteamericano, donde el cultivo se ha vuelto casi inviable (Ma *et al.*, 2000). En el

¹INIA La Estanzuela, Ruta 50 km 11, CC 39173, Colonia, Uruguay. E-mail: fcondon@inia.org.uy

Uruguay, Condón y Caffarell (1998) han reportado que para el cultivo de cebada, si bien se conocen pocos ancestros, ha existido un nivel de diversidad en el cultivo similar o mayor a la reportada en otros cultivos, mientras que para Argentina, Manifesto *et al.* (2001), usando marcadores moleculares no han encontrado reducción en la diversidad genética en los trigos liberados entre 1932 y 1995.

Los cultivos de invierno en el Uruguay

El área de trigo y cebada en Uruguay en el año 2004 fue similar, llegando aproximadamente a 125000 ha (DIEA, 2005). El cultivo del trigo tiene una de las historias de mejoramiento genético más largas en el país, ya que los trabajos fueron iniciados en 1914, por el Dr. Alberto Boerger tras la fundación de la estación experimental "La Estanzuela". En el caso de cebada, se realizaron selecciones a principios del siglo XX, pero el mejoramiento genético fue discontinuado tempranamente y reiniciado en 1968 por parte de una compañía privada (MOSA). En la década del 80 INIA y la Facultad de Agronomía comenzaron nuevamente trabajos de mejoramiento genético en el cultivo.

El área total que ocupan el trigo y la cebada es pequeña en relación a la de otros países, pero tiene una gran importancia para Uruguay. Estos cultivos que cumplen un rol relevante en las rotaciones de cultivos y pasturas, en el abastecimiento interno para la producción de harinas de trigo y en las exportaciones del país, ya que el destino fundamental de la cebada es el mercado externo, llegando a exportarse volúmenes de 160 000 t (DIEA, 2005) de malta, equivalente aproximadamente al 90% de la producción.

La zona de producción de cultivos de invierno en Uruguay está ubicada entre los 32° y 35° de Latitud Sur, donde la precipitación anual acumulada es de 1000 mm. El clima permite usar tipos primaverales en siembras de otoño/invierno, y debido al exceso de precipitaciones (450 mm acumulados en promedio en meses de invierno), es necesario contar con germoplasma que tolere un amplio período de siembra, que no posea alto requerimientos de frío, y tenga respuesta al fotoperíodo, de forma que cumpla su ciclo dentro de los meses frescos del año. La importante incidencia de enfermedades, que afectan tanto la calidad como el rendimiento de trigo y cebada, favorecidas por clima húmedo durante la primavera, es la principal causa de la sustitución de variedades en ambos cultivos. Dada esta situación, la introgresión de genes de resistencia en germoplasma adaptado es una tarea fundamental para asegurar la estabilidad de producción con un uso racional de fungicidas.

El uso de germoplasma para el mejoramiento de trigo

El tipo de variedades de trigo utilizadas corresponde a la clasificación de trigo rojo duro de primavera ("hard red spring wheat" o HRSW). El germoplasma local tiene una gran importancia, siendo casi todas las variedades cultivadas derivadas de cruza con materiales adaptados. Se utilizan cultivares facultativos para producción de grano o para doble propósito (pastoreo y producción de grano), y trigos primaverales de ciclo corto a intermedio para la producción de grano, permitiendo siembras en un período muy amplio (marzo a julio).

Ampliación de la base genética general

El Convenio INIA-CIMMYT (1997-2003) facilitó la introducción de germoplasma, alcanzando en su primera fase (hasta 1999) casi 20000 genotipos de diversos orígenes. Esto ha permitido no sólo el acceso a mayor diversidad genética del cultivo, sino también la identificación de las regiones o programas de mejoramiento de las cuales se puede obtener germoplasma con cierto nivel de adaptación a las condiciones locales. Sin embargo, se destaca que la mayoría de los materiales introducidos son susceptibles a enfermedades locales, tales como la roya de la hoja (Kholi & Quincke, 2004). En la segunda fase de dicho convenio (2000-003), la introducción de materiales fue menor, alcanzando las 9700 líneas, aproximadamente. Este material fue caracterizado en forma preliminar, identificándose fuentes de resistencia a fusariosis de la espiga (541 líneas), un grupo de trigos sintéticos y derivados con resistencia a diversas enfermedades (268 líneas), fuentes de alta calidad panadera (296 líneas) así como materiales con llenado rápido de grano (10 líneas). Se realizaron 1610 cruza a lo largo de estos 3 años combinando estas introducciones con material local adaptado, generándose un alto número de poblaciones segregantes.

Introducción de genes de resistencia a roya de la hoja en trigo

Históricamente se utilizaron materiales de la región como fuente de resistencia a roya de la hoja (causada por *Puccinia triticina*). A partir de la década del 50 se utilizó el germoplasma distribuido por el USDA, y más recientemente el germoplasma de CIMMYT es una de las fuentes más importantes de genes de resistencia. La resistencia basada en genes mayores no ha sido durable debido a que la po-

blación del patógeno es altamente variable. La aparición de nuevas razas virulentas sobre cultivares inicialmente resistentes, puede causar incrementos drásticos en severidad de infección y pérdidas de rendimiento de hasta el 50% si no se utiliza control químico. Debido a esta característica de la población del patógeno, la roya de la hoja del trigo es actualmente la principal causa de sustitución de cultivares a nivel comercial. Como alternativa, INIA está trabajando en la obtención de resistencia efectiva y durable, conferida por genes de efecto menor y aditivo, que se expresa en el estado de planta adulta (resistencia de planta adulta o RPA). Con este objetivo se han utilizado materiales provenientes de CIMMYT (Parula, Chapio, Amadina, Tukurú y Kukuna) portadores de genes que confieren este tipo de resistencia (Singh *et al.*, 2004) y otros materiales identificados dentro del germoplasma regional. La introducción de RPA se realiza en base a una cruz y una retrocruza a padres recurrentes seleccionados por su adaptación, buena calidad panadera y relativo buen comportamiento frente a la fusariosis de la espiga.

Introducción de resistencia a la fusariosis de la espiga

En Uruguay la fusariosis de la espiga (causada principalmente por *Fusarium graminearum*), provoca no sólo pérdidas de rendimiento, sino también contaminación del grano por toxinas. Las fuentes de resistencias identificadas localmente provienen de regiones donde la enfermedad es endémica, comprendiendo germoplasma de origen Brasileño, Chino, Japonés, y en algunos casos, Europeo: Suzhoe, Ning7840, Ning8331, Sumai#3, Nyu Bay, Nobeoka Bozu y Frontana y líneas derivadas de éstos (Díaz de Ackermann, 2003). La estrategia de introgresión de la resistencia al germoplasma local se basa en cruces con el objetivo de acumular genes de resistencia de distinto origen, y selección por resistencia en líneas con alto nivel de homocigosis (Díaz, com. pers.). La evaluación del comportamiento frente a fusariosis de la espiga implica cuantificar el comportamiento frente a la enfermedad en forma visual y el contenido de toxinas producidas por el hongo.

Se ha trabajado también en la obtención de materiales resistentes a otras enfermedades, incluyendo mancha de la hoja (*Septoria tritici* Rob. Ex. Desm), mancha marrón o amarilla (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.)), roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Pers.), oídio (*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*) y roya estriada (*Puccinia striiformis* WEST.).

El uso de germoplasma para el mejoramiento de cebada

En Uruguay se utilizan cultivares de cebada primaverales de dos carreras. Históricamente el mejoramiento local se basó en germoplasma introducido de Europa (fuente de calidad maltera) y materiales con buena adaptación al país (Australia y materiales de la región y más recientemente de Dakota del Norte, EUA). El ambiente de Uruguay es favorable para el desarrollo de enfermedades que se presentan en climas frescos (como en el centro y norte de Europa) y en climas relativamente cálidos (siembras de primavera-verano en Norte América), por lo que el desafío es combinar la resistencia a este complejo de enfermedades en germoplasma con adaptación local.

Identificación de materiales adaptados

El largo del ciclo y los requerimientos de frío y fotoperíodo son los caracteres más importantes en determinar adaptación. En Uruguay, la temperatura durante los meses invernales no es suficientemente baja como para utilizar materiales con requerimiento de frío, limitando el pool de materiales con adaptación a las cebadas primaverales.

Para identificar el material con mejor adaptación local, se estudió un grupo de materiales de distinto origen, fundamentalmente considerando diferente latitud en ambos hemisferios: materiales de origen Argentino, Australiano, Brasileño, Canadiense, Chileno, Norteamericano, Europeo, de ICARDA, Japón y Uruguay (Germán, 2000). Se concluyó que los materiales con mejor adaptación son aquellos con ciclo corto en siembras tardías y respuesta a fotoperíodo. Esto permite flexibilizar la fecha de siembra, manteniendo el período de llenado de grano dentro de una ventana con temperaturas relativamente frescas durante la primavera. El grupo de materiales reuniendo estas características incluyó materiales de la región (Argentina, Brasil, Uruguay) y Australianos, provenientes de zonas de similar latitud a la de Uruguay. Estos materiales son descendientes de Prior A, el primer cultivar Australiano con adaptación a ese ambiente. Prior A posee el gene *Eam1* (early maturity one), que probablemente es el que confiere estas características en nuestro germoplasma (Germán, 2000).

Resistencia a enfermedades

Para lograr resistencia a un número importante de enfermedades se identificaron regiones del mundo donde es

frecuente la presencia de materiales con buen comportamiento a enfermedades individuales o grupos de enfermedades. En el material europeo se encuentra frecuentemente resistencia a oídio, roya de la hoja y escaldadura. El material del Medio Oeste de Norte América

es frecuentemente resistente a mancha en red y mancha borrosa. El material del programa ICARDA-CIMMYT presenta buen comportamiento frente a manchas foliares en general.

La fusariosis de la espiga tiene una importancia relativa menor que en trigo, probablemente porque se utilizan cultivares de dos hileras. Sin embargo es estratégico lograr materiales con bajo nivel de toxinas dado que el destino fundamental de la producción es para exportación.

Se identificaron fuentes con resistencia muy efectiva a mancha en red, mancha borrosa, escaldadura y roya de la hoja, y niveles adecuados de resistencia a fusariosis de la espiga.

Las fuentes con relativa buena adaptación y calidad se utilizan en cruza simples, mientras que las fuentes con problemas de adaptación y calidad se cruzan y retrocruzan a materiales adaptados y con buena calidad maltera.

Sin embargo, la identificación de nuevos patógenos, como por ejemplo *Ramularia collo sygni*, y mancha en red tipo spot, causada por *Bipolaris sorokiniana f.sp maculata* (Pereyra y Germán, 2004) así como la presencia de variabilidad en virulencia dentro de la población de *Pyrenophora teres* (Gamba & Tekauz, 2002), *Cochliobolus sativus* (Gamba y Estramil, 2002) y *Puccinia hordei* dificulta la obtención de materiales resistentes al complejo de enfermedades relevantes (Germán, 2004).

En el caso de *Puccinia hordei*, se han identificado tres razas en un periodo de 10 años (Germán et al., 2005). La primera raza fue la única presente durante muchos años; la segunda raza adquirió virulencia sobre *Rph3.c*, el cultivar Perún, utilizado comercialmente, y gran parte del germoplasma del programa ICARDA-CIMMYT. La tercera raza adquirió virulencia sobre el gen *Rph9.z* (anteriormente denominado *Rph12*), y cultivares cuya resistencia deriva de Triumph, como MUSA 016 e INIA Ceibo en Uruguay y BRS 195 en Brasil. Si bien la roya de la hoja de la cebada no se considera una enfermedad prevalente, el patógeno demostró capacidad de adaptarse a la resistencia utilizada. Por este motivo, al igual que en el caso de roya de la hoja del trigo, algunas líneas con RPA han sido identificadas y están siendo usadas como fuentes de resistencia potencialmente más durable.

DISCUSIÓN

Dada la situación agroecológica de Uruguay, es necesario desarrollar germoplasma con genes que confieren adaptación local, alta calidad industrial, y resistencia a una gran variedad de enfermedades, ya que el ambiente es muy favorable para el desarrollo de las mismas, causando corta duración de la vida productiva de los cultivares de trigo y cebada. Debido al número importante de enfermedades relevantes para estos cultivos y a la variabilidad de algunos de los patógenos existe constante necesidad de introgresar nuevos genes de resistencia frente a los mismos. En el cultivo de trigo, la amplia época de siembra, posible por el uso de trigos facultativos y primaverales, genera una necesidad adicional de germoplasma especialmente adaptado. Este factor además incrementa la presión de enfermedades sobre el cultivo, dado que determina que durante un período de casi nueve meses existan cultivos en estados fenológicos susceptibles a las patógenos que causan enfermedades foliares, los que pueden cumplir muchos ciclos de infección.

Todos estos elementos generan dependencia de Uruguay frente al germoplasma externo. El uso del germoplasma es intenso, y asegurar un flujo constante del mismo es prioritario. Por otro lado, el país también posee y desarrolla germoplasma con resistencia a un número importante de enfermedades que puede ser muy útil a otras zonas del mundo con problemas similares.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNARDO, R. 1998. A model for marker-assisted selection among single crosses with multiple genetic markers. *Theor Appl Genet* 97:473-478.
- CONDÓN, F. & CAFFARELL, J. C. 1999. Diversidad del Cultivo de Cebada en Uruguay. In: Simposio de Recursos Genéticos e Biotecnología para América Latina e Caribe, SIRGEALC 2, Brasilia DF, Anais en CD. Brasilia, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnología, 1999.
- DIAZ DE ACKERMAN, M. 2003. Manchas Foliares y Fusariosis de la Espiga. In Kholi, M. M.; Diaz, M.; Castro, M. (eds.) 2003. Estrategias y metodologías utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA.
- DIEA, MGAP. Uruguay. 2005. Bases de Datos series Históricas. <http://www.mgap.gub.uy/SeriesHistoricas/hshistoricas.aspx>

- GAMBA F. & ESTRAMILE. 2002. Variation in virulence within an Uruguayan population of *Cochliobolus sativus*. In: International Workshop on Barley Leaf Blights. ICARDA, Aleppo, Syria: 20-21.
- GAMBA F. & TEKAUZ A. 2002. Physiologic specialization in Uruguayan isolates of *Pyrenophora teres*. In: International Workshop on Barley Leaf Blights. ICARDA, Aleppo, Syria: 15-16.
- GERMAN, S. 2000. Characterization of photoperiod response of barley genotypes from diverse origin. In: LOGUE S. (ed.): International Barley Genetics Symposium (8). Department of Plant Science, Waite Campus, Adelaide University, Adelaide, Australia: 267-268.
- GERMÁN, S. 2004. Breeding malting barley under stress conditions in South America. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 2004, Vol. 40, No. 4, pp. 140-147.
- GERMÁN, S.; DÍAZ, M.; PEREYRA, S. & CASTRO, M. 2005. Roya de la hoja y oídio de trigo y cebada. In Jornada Técnica Cultivos de Invierno 2005. Serie de Actividades de Difusión N°. 404. p 10-21.
- KHOLI & QUINCKE, 2004. Informe final del Convenio INIA-CIMMYT. Comunicación interna. INIA La Estanzuela.
- MANIFESTO, M.M.; SCHLATTER, A.R.; HOPP, H.E.; SUAREZ, E.Y. & DUBCOVSKY, J.. 2001. Quantitative Evaluation of Genetic Diversity in Wheat Germplasm Using Molecular Markers. Crop sci 41:682-690.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1993. Agricultural crop issues and policies National Academy Press, Washington, D.C.
- PEREYRA S. & GERMAN, S. 2004. First report of spot-type of barley net blotch caused by *Pyrenophora teres* f.sp. *maculata* in Uruguay. Plant Disease 88: 1162.
- RASMUSSEN, D.C. & R.L. PHILLIPS. 1997. Plant breeding progress and genetic diversity from de novo variation and elevated epistasis. Crop Sci. 37:303-310.
- SINGH, R. P; HUERTA-ESPINO, J. & WILLIAM, M. 2003. Resistencia durable a roya de la hoja y roya amarilla del trigo: genética y mejoramiento en CIMMYT. In: Kholi, M. M.; Diaz, M.; Castro, M. (eds) 2003. Estrategias y metodologías utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA.
- ZHENGQIANG, M.A.; STEFFENSON, B. J.; PROM, L. K. & LAPITAN. 2000. "Mapping of quantitative trait loci for fusarium head blight resistance in barley." Phytopathology 90 (10): 1079-1088.