

MAYOR RENDIMIENTO, CONTENIDO NUTRICIONAL Y RESISTENCIA A LA SEQUÍA Y ENFERMEDADES

La mejora genética en el marco actual de la producción cerealista

Existe un conjunto de factores que dibujan el escenario global de la producción de cereales y, por consiguiente, están trazando el camino que debe seguir la investigación

en el ámbito de su producción. En el siguiente artículo se analizan estos factores y retos futuros a los que se enfrenta la mejora vegetal de estos cultivos.



Concepción Royo.

Investigadora del Centro UdL-IRTA.

En el mundo se cultivan actualmente 670 millones de ha de cereales que producen, en su conjunto alrededor de 2.180 millones de toneladas de grano (1.721 millones en 2009, según previsiones de la FAO). De los cuatro cultivos que aportan el 60% de la alimentación calórica de la humanidad, tres son cereales. El trigo es el cereal más abundante y a él se

dedican unos 209 millones de ha, de las que se obtiene una producción de 658 millones de t. El segundo cereal en importancia es el arroz al que se dedican unos 150 millones de ha y que produce alrededor de 580 millones de t y el tercero el maíz con una superficie de 143 millones de ha y una producción global de 638 millones de t (Singh y Jauhar, 2006, Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Cereals. CRC Press). Según el Anuario de Estadística Agraria y Pesquera del MARM, en 2007 se cultivaron en España 1,9 millones de ha de trigo que produje-

ron 6,3 millones de t, 355.000 ha de maíz, con una producción de 3,5 millones de t, 102.000 ha de arroz que rindieron 737.600 t de grano y 3,2 millones de ha de cebada con una producción de 11,6 millones de t.

Factores que dibujan el escenario global

Aparte de los aspectos políticos y comerciales que regulan las transacciones internacionales de granos, existen un conjunto de factores que dibujan el escenario global de la producción de cereales y, por consiguiente, están trazando el camino que debe seguir la investigación en este ámbito. Algunos de los más importantes son:

1. La imperiosa necesidad de aumentar el rendimiento y el valor nutritivo de los granos. Se calcula que en el año 2020 se precisarán anualmente 1.000 millones de t de trigo para abastecer la creciente población mundial que, de seguir la tendencia actual, se situará alrededor de los 7.000 millones de personas. Dado que no es posible un incremento sustancial de la superficie dedicada a cereales en el mundo, ni un mayor nivel de intensificación de los cultivos, la mayoría de los incrementos productivos deberán proceder de la mejora de los rendimientos. Para alcanzar la cota prevista, el rendimiento medio debería aumentar a razón de 78 kg por ha y año, un reto difícil de alcanzar. Por otro lado, granos

con un mayor contenido de nutrientes ayudarán a disminuir las grandes bolsas de desnutrición existentes en países en vías de desarrollo.

2. La menor disponibilidad de agua de riego en muchas zonas. Actualmente el 40% de la producción de alimentos se lleva a cabo en condiciones de regadío y en el caso de los cereales dicho porcentaje aumenta hasta el 57%. Según la FAO en 2030 la superficie regada en el planeta habrá aumentado en 50 millones de ha. La agricultura utiliza el 69% de los recursos hídricos del planeta, si bien en Europa es solamente el 31% mientras que en Asia es del 82% y en países como China o Irán se sitúa alrededor del 90%. La creciente competencia entre el uso agrícola del agua y los usos industrial y urbano hace que los recursos hídricos para la agricultura sean cada vez más limitados.

3. La creciente degradación y contaminación de los suelos para uso agrícola. La intensificación del laboreo del suelo y el uso indiscriminado de productos fitosanitarios en muchas zonas han creado graves problemas de erosión y pérdida de suelo y un incremento de las materias contaminantes en el mismo. Dado que la disponibilidad de nuevo suelo para uso agrícola en el mundo es muy escasa la única forma de mantener el ritmo de la población será, en palabras del Dr. N. E. Borlaug: «incrementar la intensidad de la producción en los ecosistemas que se prestan a la intensificación sostenible, al tiempo que se reduce la intensidad de la producción en los ecosistemas vulnerables».

4. La implantación de técnicas de cultivo sostenibles. Los problemas de degradación de los suelos, unidos al creciente coste de los carburantes han conducido a la implantación de una serie de técnicas de cultivo de los cereales, agrupadas bajo el término laboreo de conservación. Una de la más extendidas es la siembra directa a la que se dedican en el mundo alrededor de 100 millones de ha, la mayor parte en EE.UU., Brasil, Argentina y Canadá. Estas técnicas, que tienen en común mantener al menos el 30% de la superficie del suelo cubierta por residuos del cultivo anterior, tienen como principal objetivo la conservación del suelo.

5. La aparición de nuevas enfermedades. Al igual que ocurre en el reino animal, también en el vegetal y concretamente entre los cereales están apareciendo nuevas enfermedades. Un ejemplo es la nueva raza de roya



La quema del rastrojo es muy perjudicial para el suelo ya que lo empobrece disminuyendo su productividad.

del tallo, causada por el hongo *Puccinia graminis*, que fue detectada en Uganda en 1999. La raza Ug99 (también conocida como TTKS según el sistema de nomenclatura utilizado), es potencialmente muy peligrosa ya que la mayor parte de las variedades cultivadas en el mundo muestran sensibilidad frente a la misma.

6. La desproporción entre el aumento del precio del trigo y el de los fertilizantes y productos fitosanitarios. El precio del trigo, que entre los años 1990 y 2000 disminuyó un 13% en los mercados internacionales, ha aumentado desde el año 2000 hasta la actuali-

dad un 97%. Sin embargo el precio de los insumos se ha incrementado en un porcentaje muy superior. Por ejemplo el precio de los fertilizantes nitrogenados se ha multiplicado por 5 en la última década

7. El reducido apoyo a la investigación agrícola, fundamentalmente por parte del sector público. Actualmente más de la mitad de la inversión en investigación en el mundo procede del sector privado. Particularmente en el ámbito de los cereales el sector privado va ganando terreno al público de forma paulatina, sobre todo en el desarrollo de variedades y nuevas tecnologías de aplicación a la agricultura. El retorno promedio de la investigación agrícola es del 20%, pero no es comparable el que se obtiene con el desarrollo de variedades híbridas de maíz con el procedente de la inversión en la obtención de variedades de trigo o cebada.

8. El mayor conocimiento científico actual y la posibilidad de utilizar nuevas herramientas biotecnológicas. Los avances científicos y, particularmente, las nuevas herramientas que la biotecnología pone al servicio de la agricultura contribuirán a incrementar la productividad de los cultivos y mejorar muy significativamente la sostenibilidad medioambiental. Según la Organización para el Desarrollo y Cooperación Económica (OCDE), en 2015 la mitad de la producción global de alimentos procederá de variedades de plantas obtenidas mediante técnicas biotecnológicas.

Entre los cereales están apareciendo nuevas enfermedades. Un ejemplo es la nueva raza de roya del tallo, causada por el hongo *Puccinia graminis*, potencialmente muy peligrosa ya que la mayor parte de las variedades cultivadas en el mundo muestran sensibilidad frente a la misma



Síntomas de las royas del trigo. De izquierda a derecha: A) roya negra o del tallo, B) roya parda o de las hojas y C) roya amarilla, estriada o de las glumas, todas ellas causadas por hongos del género *Puccinia*.

Retos de la mejora vegetal

Ante este escenario los principales retos que tiene planteada la mejora de cereales son los siguientes:

1. Desarrollar variedades con mayor rendimiento por unidad de superficie. Para ello la mejora se enfoca por un lado hacia la obtención de variedades para zonas de alto rendimiento potencial (como algunas centroeuropeas) y, por otro, para zonas con un techo productivo menor y grandes oscilaciones del rendimiento entre campañas. Este último es el caso de la mayor parte de las zonas de cultivo de cereal de invierno en España y la cuenca mediterránea, donde los rendimientos varían ampliamente fundamentalmente como consecuencia de la distinta pluviometría entre años. La mejora para tolerancia a la sequía es uno de los objetivos prioritarios de los programas de mejora en nuestro país y actualmente se dispone de variedades muy eficientes en el uso del agua. Para mantener la sostenibilidad de los sistemas agrícolas es preciso obtener variedades capaces de adaptarse al medio de cultivo (por ejemplo mediante una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes o agua o resistencia genética frente a enfermedades y plagas), evitando tener que realizar modificaciones en el mismo que, a menudo, son inviables, caras, e incluso contaminantes.

2. Desarrollar variedades adaptadas a los nuevos sistemas de cultivo sostenibles. La interacción Variedad x Sistema de culti-

vo es la responsable de que el comportamiento de las variedades sea distinto cuando se cultivan utilizando laboreo tradicional o cuando se producen bajo un sistema de laboreo de conservación. Debido a ello la selección de las líneas que darán lugar a las nuevas variedades debería llevarse a cabo bajo el sistema de laboreo en el que posteriormente vaya a producirse el cultivo comercial. De hecho, algunos países como Uruguay han adaptado ya los programas públicos de mejora al cultivo en siembra directa.

3. Mejorar el contenido nutricional del grano, al efecto de reducir la anemia y otros problemas nutritivos que afectan a millones de personas en el mundo. El proceso mediante el cual se incrementa el contenido de mi-

cronutrientes bioasimilables en el grano se conoce como biofortificación y puede conseguirse tanto mediante técnicas de mejora tradicional como mediante transformación genética. Actualmente varios centros del CGIAR (Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional) están trabajando activamente en proyectos de biofortificación en el marco del Challenge Program HarvestPlus (www.harvestplus.org).

4. Introducir resistencia durable frente a enfermedades. La resistencia genética es

el método más económico y ecológico de controlar las enfermedades que aparecen en los cereales. La resistencia basada en genes mayores (raza-específica o vertical) proporciona control a corto plazo, pero si el patógeno muta la variedad puede hacerse susceptible. Por ello el objetivo es obtener variedades con resistencia durable, conocida en inglés como *slow rusting* en el caso de las royas causadas por hongos del género *Puccinia* sp. Este tipo de resistencia retrasa el desarrollo de la enfermedad y, a pesar de que aparecen síntomas en las plantas, lo hacen en un estadio de desarrollo tan avanzado que el daño que causan a la producción es mínimo o nulo. La obtención de germoplasma resistente frente a la raza Ug99 de roya del tallo se ha abordado a través de una iniciativa global denominada



Foto izquierda: las variedades tradicionales, como la de la fotografía poseen genes de gran interés para la mejora. En la foto derecha, panículas de arroz.

Centeno Híbrido

*Una gran alternativa
en todos los terrenos*



*Ctra. Rueda s/n
47500 Nava del Rey (Va)
Tlf. 983 850 901 Fax. 983 850 407*

BGRI (Borlaug Global Rust Initiative, www.globalrust.org) que opera desde 2005 y gracias a la cual existe ya germoplasma resistente.

5. Mejorar el conocimiento científico sobre la interacción Genotipo x Ambiente. Una de las grandes dificultades de la mejora viene dada por el hecho de que la producción de los cereales depende mucho del ambiente, de manera que una misma variedad puede dar lugar a un amplio rango de productividades dependiendo de la zona donde se cultive. Ello hace que sea muy poco predecible el comportamiento de las mismas. En cereales autógamos se está avanzando mucho en la interpretación de estas interacciones, sobre todo gracias a las técnicas moleculares, modelos estadísticos y medios informáticos disponibles en la actualidad.

6. Incorporar herramientas biotecnológicas en los programas de mejora. La introducción de herramientas moleculares en los programas clásicos de mejora está contribuyendo a hacerlos mucho más eficientes. Resultan útiles para medir la diversidad genética existente en poblaciones, para la identificación y protección legal del germoplasma mediante la determinación de la huella genética o *fingerprinting* de las variedades, la conservación y uso de los recursos fitogenéticos, estudios evolutivos y de genética poblacional, secuenciación y clonación de genes, desarrollo de plantas transgénicas, etcétera.

Sin embargo, uno de los usos más comunes en los programas de mejora es la selección asistida por marcadores moleculares

En nuestro país el uso de semilla certificada por parte de los agricultores es actualmente el mecanismo más eficiente para impulsar la investigación y la obtención continuada de nuevas y mejores variedades de cereales

(MAS, marker assisted selection), que permite hacer la selección en el laboratorio sin la influencia del ambiente. Ello presenta una indiscutible ventaja y se está aplicando ya a características reguladas por uno o muy pocos genes, como la resistencia a ciertas enfermedades o ciertas variables de calidad del grano. Para seleccionar por resistencia a enfermedades en campo es preciso que haya un nivel de infección elevado, de manera que las plantas muestren síntomas de la enfermedad en cuestión. Sin embargo, ni aún en las zonas endémicas ello puede asegurarse todos los años, ya que la presencia de inóculo es variable según las campañas y, por ello, en algunos casos es preciso recurrir a inoculaciones artificiales.

Por otro lado, los años en los que aparecen fuertes epidemias de alguna enfermedad foliar de importancia, como la roya parda, es a menudo difícil seleccionar por otras que aparecen más tarde, ya que el inóculo no suele encontrar suficiente tejido verde en las hojas

donde instalarse. La selección asistida por marcadores moleculares evita estos problemas, ya que permite hacer dicha selección en el laboratorio sin influencia del ambiente y sin que la enfermedad esté presente. Sin embargo, muchos de los caracteres de interés agronómico están regulados por un amplio conjunto de genes (los denominados QTLs, Quantitative Trait Loci) y, a pesar de que se conoce la localización cromosómica de muchos de los QTLs asociados a productividad y otros caracteres de interés comercial, hasta la fecha su aplicación en programas de selección es muy escasa. Otras técnicas biotecnológicas, como la producción de dobles haploides, son útiles para reducir en varios años el tiempo necesario para obtener una variedad de trigo.

Semilla certificada, un impulso para la investigación

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la obtención de nuevas variedades de cereales es siempre un proceso que tiene mucho de artesanal, por lo que resulta caro. Debido a ello cada vez son menos las empresas de semilla españolas que disponen de programas de mejora, ya que la opción imperante es introducir variedades extranjeras (lamentablemente sigue siendo de aplicación el clásico 'que inventen ellos...'), la única manera de poder mantener programas públicos de obtención de variedades es que la Administración vea su utilidad para la agricultura del país y eso sólo puede demostrarse mediante la siembra de las mismas por parte de los agricultores. En algunos países como Australia, donde las producciones son reducidas debido a la sequía imperante en muchas zonas, una pequeñísima cantidad del importe del grano que venden los agricultores se destina directamente a investigación para el desarrollo de variedades mejor adaptadas a sus condiciones de cultivo. Ello ha hecho que hoy en día el CSIRO esté a la cabeza de la investigación en mejora de cereales para zonas áridas. En nuestro país el uso de semilla certificada por parte de los agricultores es actualmente el mecanismo más eficiente para impulsar la investigación y la obtención continuada de nuevas y mejores variedades de cereales. ●



Parcelas de los programas de mejora de cereales de invierno del IRTA en Lérida.