

## Mejoramiento genético de trigo en México

HORTELANO, René†, MARTÍNEZ, Eliel, VILLASEÑOR, Héctor E. y MORALES, Víctor

*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Programa de Trigo. Universidad Tecnológica de Xicotepéc de Juárez, Puebla, Programa Educativo de Ingeniería en Procesos Alimentarios*

Recibido Enero 14, 2016; Aceptado Marzo 28, 2016

### Resumen

Se Integró y consolidó la red interinstitucional de mejoramiento genético de trigo en el país, que permitirá mayor eficiencia, intensificación sistemática y coordinada en ambientes contrastados de riego y temporal. Derivado de las evaluaciones de Viveros Nacionales de Selección y Ensayos Nacionales de Rendimiento se logró detectar líneas sobresalientes de trigo harinero de riego como BACOREHUIS F2015, CONATRIGO F2015, FONSEC F2016, FUERTEMAYO F2016 y NORESTE F2016, que están en proceso de registro y liberación. También fue posible ubicar líneas prometedoras de trigo cristalino que están en proceso de registro y liberación que tienen buena calidad industrial como CONASIST C2015, BAROBAMPO C2015, NORTEÑO C2016 y RIO BRAVO C2016. De las evaluaciones realizadas en condiciones de temporal en los Ensayos de Rendimiento de Trigo Harinero de Temporal, se logró detectar líneas sobresalientes en rendimiento, alta calidad panadera, con resistencia a royas, al complejo de enfermedades foliares y con buena adaptabilidad, como son DON CARLOS M2015, VALLES F2015, CIRCE F2016, LUCIA F2016 y TEXCOCO F2016, que en su conjunto forman el mosaico genético de variedades que los agricultores dispondrán para las siembras en cada zona productora. Así mismo, se logró obtener el catálogo de distribución y frecuencia de razas de roya amarilla en México.

*Triticum aestivum*, trigo de riego, trigo de temporal

### Abstract

A genetic improvement network integrated by several Research institutions is one of the most important features of the INIFAP's Genetic Improvement Wheat Program. Since it enabled the establishment of The National Selection Wheat Nursery and The National Wheat Yield Trial, which include all the advanced lines of the wheat genetic programs in the country. Derived from the results of these evaluations outstanding lines of bread and durum wheats were detected. Out of these outstanding lines, varieties of irrigated bread wheat BACOREHUIS F2015, CONATRIGO F2015, FONSEC F2016, FUERTEMAYO F2016 and NORTEÑO F2016 are in the process of registration and release. For irrigated durum wheats identified lines are in the process of registration and release with good industrial quality as CONASIST C2015, BAROBAMPO C2015, NORTEÑO C2016 and RIO BRAVO C2016. Regarding rainfall bread wheat, out of the yield trials outstanding lines in grain yield, resistance to diseases, adaptability and end use quality are proposed to release as DON CARLOS M2015, VALLES F2015, CIRCE F2016, LUCIA F2016 and TEXCOCO F2016. These varieties will enhance the options for both bread and durum wheat production in the country. Likewise, it was possible to establish the distribution and frequency of yellow rust races in Mexico.

*Triticum aestivum*, wheat irrigation, rainfed wheat

**Citación:** HORTELANO, René, MARTÍNEZ, Eliel, VILLASEÑOR, Héctor E. y MORALES, Víctor. Mejoramiento genético de trigo en México. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-6: 25-31.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: hortelano.rene@inifap.gob.mx)

† Investigador contribuyente como primer autor.

## Introducción

El mejoramiento genético de trigo en México ha sido altamente rentable desde sus inicios en los años 40's. El INIFAP, el CIMMYT y sus instituciones antecesoras (IIA, INIA y OEE) formaron variedades en México (Aquino *et al.*, 2009), con base en el trabajo conjunto y organizado a través de una red de evaluación de ensayos nacionales que fueron estratégicos para liberar variedades exitosas de los 60's (Borlaug, 1968 y 1969). Del 2011 al 2015 INIFAP, CIMMYT y el COLPOS integraron una red de evaluación de líneas para liberar variedades para riego y temporal. Esta red se integró dentro del proyecto: sistema de mejoramiento genético para generar variedades de trigo resistentes a royas de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable en México.

En dicho proyecto se implementaron Viveros Nacionales de Selección de Trigo (VNST) y Ensayos Nacionales de Rendimiento de Trigo (ENRT), lo cual ha permitido liberar variedades que cumplen con los requerimientos de los productores y de la industria harinera.

El presente proyecto de investigación se propuso integrar los programas de mejoramiento de trigo de INIFAP (Noroeste-riego; Bajío-riego; Valles Altos-temporal), de CIMMYT y del COLPOS, para que con el desarrollo e intercambio de germoplasma e información se generen líneas uniformes. Las líneas generadas se evaluarán en los Viveros Nacionales de Selección y las más sobresalientes formarán los Ensayos Nacionales de Rendimiento. Con la participación de las disciplinas de fitopatología y fisiología del Colegio de Postgraduados y la Universidad Autónoma Chapingo, instituciones que implementaran estudios básicos y aplicados para entender mejor los problemas bióticos y abióticos limitantes de la producción nacional.

Se utilizaron herramientas convencionales y moleculares para efectuar una eficiente selección por caracteres bajo control genético que definen tolerancias a dichos factores y a parámetros de calidad. Se efectuó la evaluación de germoplasma segregante en diferentes condiciones de producción en localidades del Noroeste, Noreste, Valles Altos, El Bajío, la Sierra Tarasca y la Mixteca Oaxaqueña, buscando mayor presión de selección a enfermedades, que se seleccionaron por tolerancia al estrés térmico en localidades de trópico seco y por tolerancia a sequía en sitios de temporal deficiente del norte de México. Con estos antecedentes de la situación del trigo en México es que se plantearon los objetivos siguientes:

Integrar, fortalecer y consolidar una red interinstitucional de mejoramiento genético de trigo en México, que permita realizarlo en forma eficiente e intensificarlo de manera sistemática y coordinada, en ambientes contrastados de riego y temporal, para generar líneas que combinen tolerancia o resistencia a factores bióticos y abióticos, con alta productividad y con buena calidad industrial.

Establecer Viveros de Selección y Ensayos de Rendimiento bajo condiciones de riego durante el invierno y bajo condiciones de temporal durante el verano con el fin de evaluar líneas que superen a las variedades actualmente sembradas en las diferentes regiones productoras del país. Recolectar muestras de royas de la hoja y roya amarilla a nivel nacional en regiones productoras bajo riego y temporal para monitorear la distribución y frecuencia de razas fisiológicas e identificar fuentes de resistencia a royas y enfermedades foliares que ayuden a incrementar, a través de cruzamientos, el nivel de resistencia genética de las variedades testigo.

A través de evaluaciones de líneas provenientes de Kenya, en donde la roya del tallo raza Ug99 incide de manera natural, seleccionar genotipos con resistencia durable a esta enfermedad.

### Marco Teórico

El trigo a nivel mundial ocupa el segundo lugar en producción después del maíz, donde alrededor del 75% del volumen de su producción se emplea de manera directa para consumo humano, el 15% para consumo animal y el resto se utiliza como semilla.

La producción y consumo de trigo ha variado a través del tiempo, ya que la producción ha sufrido altas y bajas mientras que el aumento en el consumo ha sido gradual y constante; por ejemplo, en 1980 se produjeron cerca de 400 millones de toneladas (MT), en 1989 se lograron producir 500 MT, 10 años después se cosecharon 600 MT, y para el 2015-16 la producción se estima cercana a 732 MT, volúmenes que prácticamente se han consumido como consecuencia del crecimiento de la población.

Una estrategia utilizada para enfrentar crisis emergentes en la producción mundial de trigo ha sido mantener inventarios de reserva altos, los mismos que durante los 80's y 90's fueron en promedio mayores a 170 MT; sin embargo, durante la presente década en promedio han sido de 140 MT; es decir, se tiene trigo almacenado solamente para surtir por tres meses la demanda de la población mundial, y se estima, de acuerdo con la tasa de crecimiento de la producción y del consumo, que para el 2020 se tendrá un déficit de 75 MT (USDA-FAS, 2008).

Proyecciones recientes estiman que los principales países productores en 2015-16 serán Unión Europea (21.6%), China (17.8%), India (11.8%), Rusia (8.3%) y Estados Unidos (7.6%). El rendimiento promedio a nivel mundial se incrementó durante las últimas décadas pasando de 1.26 t ha<sup>-1</sup> en los 60's, 1.68 t ha<sup>-1</sup> en los 70's, 2.14 t ha<sup>-1</sup> en los 80's, 2.55 t ha<sup>-1</sup> en los 90's a 2.75 t ha<sup>-1</sup> en la presente década. Durante el periodo 2000/07, en promedio, Nueva Zelanda ocupó el primer lugar en rendimiento de trigo (7.24 t ha<sup>-1</sup>), le siguió Egipto (6.24 t ha<sup>-1</sup>) y en tercer lugar México (5.12 t ha<sup>-1</sup>) (USDA-FAS, 2008).

En México, el trigo representa el 21% del consumo de granos básico, ubicado en segundo lugar después del maíz, con un consumo per cápita por año de 52 kg y con un volumen de ventas en la industria que estará creciendo entre 1% y 2%. Sonora, Guanajuato, Baja California Norte concentraron el 86% de la superficie sembrada con trigo en el 2015 que fue de 600 mil hectáreas, destacando Sonora con el 51.4% del área. La producción proyectada para 2015-16 es de 3.6 MT (5.8 t ha<sup>-1</sup>) Las regiones de Mexicali y Sur de Sonora producen aproximadamente el 55% del volumen nacional y consumen tan sólo el 12%; la principal zona consumidora de trigo en México es la región centro-sur que demanda casi el 60% del total de la molienda en México (SIAP, 2016).

### Materiales y Métodos

Las introducciones de germoplasma de trigo harinero para riego y temporal, así como de trigos cristalinos o macarroneros, tuvieron relación de 85 y 15 %, respectivamente, de un total de 20 mil entradas, así como 200 materiales que se utilizaron como progenitores.

Tales materiales incluían generaciones segregantes F2- F6 y líneas uniformes F7-F8 provenientes de varios países, principalmente de Australia, Kenya, India y del banco de germoplasma del CIMMYT. Que fueron evaluados por resistencia a roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. tritici), roya de la hoja (*Puccinia triticina* E.), fusariosis (*Fusarium* sp.) y fuentes de resistencia a roya del tallo en trigo (*Puccinia graminis* f. sp. tritici). De tales entradas, en cada ciclo se realizaron selecciones correspondientes a cada generación de segregación, que se incluían solo algunas en los ensayos regionales y nacionales de cada ciclo.

Los Viveros de Selección y Ensayos de Rendimiento de Temporal y de Riego, se evaluaron durante los ciclos P-V y O-I, respectivamente. En verano los experimentos se establecieron en diferentes sitios de los estados que van desde Oaxaca hasta Chihuahua; mientras que en invierno se establecieron en varios sitios en estados desde Oaxaca hasta Baja California Norte considerando riego normal y riego limitado. En los Viveros Nacionales de Selección se probaron invariablemente 150 genotipos evaluados como serie sencilla de experimentos, sin repeticiones, entre líneas sobresalientes y testigo común intercalado cada 10 parcelas, tomando a la localidad como repetición (Martínez, 1986), seleccionando por caracteres agronómicos, fitopatológicos y de calidad industrial.

En los Ensayos Nacionales de Rendimiento se evaluarán 50 genotipos, de los cuales 11 fueron testigos y 39 líneas sobresalientes, establecidas bajo el diseño alfa látice con dos repeticiones (Martínez, 1986), mismas que fueron seleccionados por rendimiento, reacción a enfermedades, caracteres agronómicos y parámetros de calidad.

Se pretendió recopilar datos de hasta 120 evaluaciones en cuatro años, con lo cual definitivamente será posible, en coordinación con la Cadena Sistema Producto Trigo, concretar la liberación de variedades exitosas en corto tiempo.

Para el monitoreo, identificación, distribución y frecuencia de razas fisiológicas de royas de la hoja y amarilla, para conocer la dinámica de estas enfermedades y los genes requeridos para lograr su control genético (Singh et al., 2005), año tras año, durante los ciclos O-I y P-V se colectaron a nivel nacional muestras de hojas infectadas en siembras comerciales y en lotes experimentales; también se establecieron junto con los ensayos nacionales, viveros trampa para facilitar la identificación de razas (Singh et al., 2004). Las muestras recolectadas se procesaron en los invernaderos y laboratorios de CIMMYT e INIFAP para la identificación.

Con el desarrollo e intercambio de germoplasma e información se generaron líneas uniformes con la participación de las áreas de fitopatología y fisiología del Colegio de Postgraduados y la Universidad Autónoma Chapingo, llevando acabo estudios básicos y aplicados para entender mejor los problemas bióticos y abióticos limitantes de la producción nacional. Se efectuó la evaluación de germoplasma segregante en diferentes condiciones de producción en localidades del Noroeste, Noreste, Valles Altos, El Bajío, la Sierra Tarasca y la Mixteca Oaxaqueña, buscando mayor presión de selección a enfermedades (Villareal, 1995). Se seleccionaron por tolerancia al estrés térmico en localidades de trópico seco y por tolerancia a sequía en sitios de temporal deficiente del norte de México.

## Resultados y Discusiones

Se logró involucrarán a más de 40 investigadores relacionados con la formación y liberación de variedades de trigo en México que en primera instancia, pasaron a formar parte de la base de datos del CONASIST; como segundo paso, estratégicamente se invitó a investigadores de otras instituciones para que se integraran a la base de datos formada, para promover mayor interacción y fortalecer aún más el mejoramiento genético, con lo que se logró el funcionamiento como una verdadera red, logrando que se adoptara como un proyecto de investigación dentro del CONASIST, lo que permitirá el financiamiento futuro de la investigación a través de aportaciones de los principales eslabones de la cadena (productores-industriales-panaderos) que movilizan al año cerca de 12 millones de toneladas de grano/harina.

De las líneas de trigo harinero evaluadas en el 13vo Ensayo Nacional de Trigo de Riego (13vo ENTRI), establecido en el ciclo O-I/2015-16, que mostraron altos rendimiento de grano por hectárea, resistencia a roya amarilla y de la hoja (Singh et al., 2004), por su adaptación a todas las zonas productoras de trigo de riego del país (Villaseñor y Espitia, 2000) y que están en proceso de registro y liberación como nuevas variedades destacan; BACOREHUIS F2015 y CONATRIGO F2015, así como las que serán liberadas en el presente año como son; FONSEC F2016, FUERTEMAYO F2016 y NORESTE F2016, que superaron a los mejores testigos en rendimiento de grano hasta en un 15%.

De las evaluaciones de líneas de trigo duro, cristalino o macarronero evaluadas en el 13vo Ensayo Nacional de Trigo de Riego, establecidas durante el ciclo O-I/2015-16, que se mostraron como superiores en rendimiento de grano por hectárea, producción de semolina con calidad que demanda la industria de las pastas, con resistencia a roya amarilla, roya de la hoja y adaptación a las zonas productoras del Noreste, Norte y Noroeste del país y que están en proceso de registro y liberación como nuevas variedades destacan; CONASIST C2015 y BAROBAMPO C2015, así como las que serán propuestas como nuevas variedades durante el presente año como son; NORTEÑO C2016 y RIO BRAVO C2016, cuyos rendimiento superaron a los mejores testigos hasta en un 10%.

De las evaluaciones realizadas bajo condiciones de temporal, donde las condiciones medioambientales son erráticas y más impredecibles (Villaseñor, 2000) durante los ciclos P-V desde el 2011, en los Ensayos de Rendimiento de Trigo Harinero de Temporal (ERTHT's), las líneas que fueron sobresalientes en rendimiento de grano por hectárea, con calidad panadera que demanda la industria de la panificación, con resistencia a roya amarilla, roya de la hoja y al complejo de enfermedades foliares y con adaptación a las zonas productoras de trigo de temporal, que están en proceso de registro y liberación como nuevas variedades destacan; DON CARLOS M2015 y VALLES F2015, así como las líneas que serán propuestas como nuevas variedades durante el presente año como son; CIRCE F2016, LUCIA F2016 y TEXCOCO F2016, que superaron en rendimiento de grano a los mejores testigos hasta en un 20%, dependiendo de las localidades y años (Villaseñor et al., 2007).

En los últimos años se ha trabajado más sobre el control genético de la roya amarilla, fusariosis y sobre el mejoramiento de la calidad. En roya amarilla Singh y Rajaram (1995) encontraron resistencia moderada en planta adulta en Pénjamo 62, Lerma Rojo 64 y Nacozari 76, atribuyendo esta resistencia al gen Yr18 que está estrechamente ligado al Lr34; Singh et al. (2000) identificaron el gen Yr28, mientras que William et al. (2003) identificaron el gen Yr29 que está ligado al Lr46, que al igual que el Yr18 y Yr28 confieren resistencia durable a la enfermedad.

En este aspecto, se logró actualizar el catálogo de las razas fisiológicas de roya de la hoja y roya amarilla que prevalecen en México, lo que permitirá identificar a las más importantes, hacer predicciones de futuras epifitias, determinar la presencia de nuevas razas y pronosticar la vida útil de las nuevas variedades.

Con dicha información se logró generar los paquetes tecnológicos actualizados referentes a la recomendación de las variedades más adecuadas para cada región productora del país, en donde se deben tener mosaicos genéticos formados con las variedades generadas a través de los resultados de la presente investigación y las variedades que liberadas por INIFAP, y que aún son recomendables en las diferentes regiones, como:

Kronstad F2004, Roelfs F2007 y Cirno C2008 para el Noroeste; Monarca F2007 y Norteña F2007 para el Norte; Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Maya S2007 para el Bajío; y Nana F2007 y Altiplano F2007 para los Valles Altos.

## Conclusiones

Se logró seleccionar seis líneas avanzadas que están en proceso de registro y liberación como nuevas variedades, que mostraron resistencia a roya amarilla, roya de la hoja, al complejo de enfermedades foliares y con la calidad panadeara y/o de sémola que demanda la industria.

Se eligieron tres nuevas líneas de trigo harinero para riego, dos de trigo macarronero y tres de trigo harinero para temporal, por sus características agronómicas, fitopatológicas y de calidad, que serán propuestas como candidatas a liberación en 2016.

Se cuenta con el catálogo de distribución de roya amarilla en México, así como la frecuencia y ubicación específica de las razas, nuevas y antiguas.

## Referencias

- Aquino M. P., Peña R. J., Ortiz M. J. I(2009). Mexico y el CIMMYT. Publicación Especial del CIMMYT. 40 p.
- Borlaug N E .(1968). Wheat breeding and its impact on world food supply. In: Proceedings 3rd. Int. Wheat Genetics Symp. Finley K. W., W. Shephard (eds.). Canberra, Australia. pp 1-36.
- Borlaug N E . (1969). Mejoramiento de trigo, su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos. Sobretiro No. 2. CIMMYT, El Batán, México. 40 pp.
- Martínez G., A. (1986). Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. México, D.F., México, Trillas.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2016). Obtenido de la Red. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). Febrero 2016.

Singh R. P., Nelson J. C., and Sorells M. E. (2000). Mapping Yr28 and others genes for resistance to stripe rust in wheat. *Crop Sci.* 40:1148-1155.

Singh R. P., Huerta E. J., and William H. M. (2005). Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. *Turk J. Agric. For.* 29:121-127.

Singh R. P., Huerta E. J., Pfeiffer W., and Figueroa L. P. 2004. Occurrence and impact of a new leaf rust race on durum wheat in northwestern Mexico from 2001 to 2003. *Plant Dis.* 88:703-708.

Singh R. P. and Rajaram S. (1995). Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats. *Euphytica* 72:1-7.

United States Department of Agriculture (USDA)–Foreign Agricultural Service (FAS) (2008). Market and trade data. Obtenido de la red. <http://www.fas.usda.gov/data.asp>. Marzo 2010