

## Sistema de mejoramiento genético de trigo en México\*

### Wheat improvement system in Mexico

Héctor Eduardo Villaseñor Mir<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX)-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 18.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel: 01 595 92 127 15, ext. 161. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: villaseñor.hector@inifap.gob.mx.

#### Resumen

El mejoramiento de trigo en México se inició en 1946 y se trabajó con un esquema organizado que arrojó beneficios como lograr el control de la roya del tallo, alcanzar la autosuficiencia en 1957 y cosechar su producción récord de 5.5 MT en 1985. En los 90's se retiran los apoyos a su producción y al mejoramiento, y se desintegra la investigación, lo que originó perder la autosuficiencia. La creación en 2004 del Sistema Producto Trigo (CONASIST) permitió buena interacción entre sus eslabones y facilitó captar demandas para financiar un proyecto de 2006 a 2008 que generó 10 nuevas variedades. CONASIST en 2010 también impulsó financiar el mejoramiento, por lo que el objetivo del presente documento es indicar como se realiza mediante el apoyo del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT Proyecto Núm. 146 788. Con una vigencia de 2011-2016, participan INIFAP, CIMMYT, UACH y COLPOS, se ha fortalecido el mejoramiento y el compromiso es liberar 18 variedades para riego (Bajío, Norte y Noroeste) y siete para temporal. Para fines de 2014 se ha logrado mayor interacción entre los programas de mejoramiento, se han probado líneas en más de 180 ambientes, ya se liberaron 12 variedades, están en proceso de caracterización 10 líneas candidatas y se han identificado las principales razas de royas que prevalecen en México.

**Palabras clave:** interacción, líneas, programas, royas, variedades.

#### Abstract

Wheat improvement in Mexico began in 1946 and worked with an organized scheme that yielded benefits to gain control of stem rust, achieve self-sufficiency in 1957 and reap its record production of 5.5 MT in 1985. In the 90's the support was removed for production and improvement, and research decays, resulting in loss of self-sufficiency. The creation in 2004 of the Product System Wheat (CONASIST) gave good interaction between the links and facilitated capture demands to finance a project of 2006-2008 that generated 10 new varieties. CONASIST in 2010, also boosted finance improvements, so the purpose of this paper is to indicate how it is done through the support of SAGARPA-CONACYT, Sector Fund Project No. 146 788. With effect from 2011-2016, involved INIFAP, CIMMYT, UACH and COLPOS, strengthening the improvement and commitment to release 18 varieties for irrigation (Shoal, North and Northwest) and seven for rainfed. By the end of 2014, has been achieved greater interaction between improvement programs, lines have been tested in more than 180 environments, and 12 varieties were released, 10 lines are in the process of characterizing and, major rust races prevalent in Mexico have been identified.

**Keywords:** interaction, lines, programs, rusts, varieties.

\* Recibido: diciembre de 2014  
Aceptado: abril de 2015

## Antecedentes

La producción mundial de trigo asciende a poco más de 600 millones de toneladas (MT) anuales. Los principales países productores son China, India y EUA (230 MT), y la mitad de la producción mundial se genera en países en vías de desarrollo y sólo 10% de la producción se exporta, principalmente por Estados Unidos de América, Canadá, Australia y Francia. Se estima que en el año 2050 habrá más de 8 mil millones de personas en el mundo y se deberá incrementar la producción en más de 30% (Rosegrant y Agcaoili, 2010); desafortunadamente se pronostica que en los próximos 40 años la producción de trigo en países en vías de desarrollo podría reducirse en 29%, debido al calentamiento global (The Lancet, 2008) y a la amenaza de las enfermedades (Singh *et al.*, 2008; Rosegrant y Agcaoili, 2010).

La producción nacional de trigo y las importaciones a nuestro país han mostrado variantes en los últimos 12 años. La producción descendió de 3.5 a 2.8 MT de 2000 a 2004; sin embargo, a partir de 2005 ha repuntado y para 2012 se cosecharon 3.9 MT; entre otras causas, debido a la mayor productividad de las nuevas variedades. De 2000 a 2012 se importaron por año más de 3 MT, llegando este volumen a 3.7 MT en 2005. Es importante reconocer dentro del escenario como país importador de trigo, que Estados Unidos de América como principal país exportador, no será el granero abastecedor de los países importadores, ya que sus indicadores no son alentadores, de tal manera, que sería erróneo pensar que Estados Unidos de América, sea la solución para que México surta su demanda de trigo; más importante sería implementar programas para fortalecer la investigación, para fomentar la producción y comercialización en áreas de riego y contemplar las áreas de temporal como una alternativa para incrementar la superficie sembrada, en donde se pueden destinar al trigo más de un millón de hectáreas que podría aportar cerca de 2.5 millones de toneladas (Villaseñor, 2000).

En México, el trigo representa 21% del consumo de granos básico y es segundo lugar después del maíz, con un consumo *per capita* por año de 52 kg. Sonora, Guanajuato, Baja California y Michoacán, concentraron 62% de la superficie sembrada en el 2012 que fue de 762 mil ha. La producción en ese año fue de 3.9 MT y tuvo un valor que superó los 15 mil millones de pesos. El noroeste produce cerca de 55% y consume 12%; la principal zona consumidora es la región centro-sur que demanda casi 60% de la molienda nacional. Movilizar 1.5 MT de Mexicali o del Sur de Sonora al centro es

## Background

The world wheat production amounts to little more than 600 million tonnes (MT) per year. The main producing countries are China, India and USA (230 MT), and half of the world production is generated in developing countries and only 10% of production is exported, mainly by the United States, Canada, Australia and France. It is estimated that in 2050 there will be over 8 billion people in the world and should increase production by over 30% (Rosegrant and Agcaoili, 2010); unfortunately, it is predicted that over the next 40 years wheat production in developing countries could be reduced by 29% due to global warming (The Lancet, 2008) and the threat of disease (Singh *et al.*, 2008; Rosegrant and Agcaoili, 2010).

The national wheat production and imports to our country have shown variations in the last 12 years. Production fell from 3.5 to 2.8 MT of 2000-2004; however, since 2005 it has picked and harvested 3.9 MT 2012; among other things, due to the higher productivity of new varieties. From 2000-2012 were imported per year over 3 MT, reaching this volume to 3.7 MT in 2005. It is important to recognize within the scenario as wheat importer country, the United States as the main exporting country, not the provider barn importing countries, as their indicators are not encouraging, so, it would be wrong to think that the United States of America, is the solution for Mexico to fill the demand for wheat; it is more important to implement programs to strengthen research, to encourage the production and marketing in irrigated areas and contemplate rainfed areas as an alternative to increase plantings, where we can allocate to wheat over a million hectares which could contribute about 2.5 million tonnes (Villaseñor, 2000).

In Mexico, wheat represents 21% of consumption of basic grains and is second only to corn, with a per capita consumption of 52 kg per year. Sonora, Guanajuato, Baja California and Michoacan, concentrated 62% of the acreage in 2012 was 762 000 ha. Production in that year was 3.9 MT and had a value that exceeded 15 billion pesos. The Northwest produces about 55% and consumes 12%; the main consumer area is the south-central claiming nearly 60% of the national grinding region. Mobilize 1.5 MT of Mexicali or South of Sonora to the centre is unaffordable, because the freight cost per ton is closer to \$600, while the freight of wheat produced in the Bajío or the Highlands to the mills in these regions varies \$190 to \$300 (SIAP, 2012). The deficit of wheat in Mexico, its cost-rising internationally

incosteable, porque el costo de flete por tonelada es cercano a \$600, mientras que el flete del trigo producido en el Bajío o en los Valles Altos a los molinos de estas regiones varía de \$190 a \$300 (SIAP, 2012).

El déficit de trigo en México, su encarecimiento a nivel internacional y la necesidad de incrementar la producción nacional fueron causas para crear en 2004 el Sistema Producto Trigo (CONASIST), en donde se analizó la problemática del cultivo y se determinó que era urgente fortalecer el mejoramiento genético para generar más y mejores variedades; fue así como se financió un proyecto de 2006 a 2008 que permitió liberar 10 variedades que actualmente se siembran en más de 50% de la superficie a nivel nacional. CONASIST en 2010 también impulsó financiar el mejoramiento genético, por lo que el objetivo del presente es indicar como se realiza mediante el apoyo del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT Proyecto Núm. 146 788, que tiene una vigencia de 2011 a 2016 y con la meta de liberar 25 variedades.

### El mejoramiento genético de trigo en México

Los Programas de Mejoramiento de Trigo en México, desde sus inicios a mediados de los 40's a la fecha, han trabajado dos ciclos al año en ambientes contrastados, han sido emprendedores en sus técnicas empleadas y han utilizado germoplasma diverso para incorporar genes favorables, lo que permite resumir sus aportaciones como a continuación se indica: La selección de segregantes en invierno y verano con diferentes fotoperíodos permitió la expresión de los genes *Ppd1* y *Ppd2* (Rajaram, 1995), dando como resultado la obtención de variedades con amplia adaptación en diversas partes del mundo. La roya del tallo se controló genéticamente en 1955 gracias al efecto del gen *Sr2* (Borlaug, 1968). La fuente de enanismo de Norin 10 permitió incorporar los genes *Rht1* y *Rht2* que causaron reducción en la altura de planta que permitieron durante los sesenta liberar cerca de 15 variedades semienanas que superaron la barrera de las 4.5 t ha<sup>-1</sup> en el Noroeste y llegaron en ocasiones hasta 8 t ha<sup>-1</sup> (Borlaug, 1969). En los años setenta y ochenta la introducción de germoplasma y la recombinación entre trigos de hábito de primavera con los de invierno (I x P), así como las recombinaciones entre trigo y cebada, permitió mejorar adaptación, estabilidad, rendimiento y resistencia a enfermedades, gracias a la translocación *IBL/IRS*, que acarrea genes favorables como *Lr26*, *Sr31*, *Yr9* y *PM8* (Villarreal, 1995). Durante los 80's se dio más énfasis a la evaluación de segregantes en diferentes ambientes y se intensificó la recombinación del trigo con especies compatibles como *Triticum tauschii*, *Thinopyrum* spp. y *Triticum dicoccoides*

and the need to increase domestic production were causes for creating in 2004 the System Product Wheat (CONASIST), where the issue of culture was analysed and determined that it was urgent to strengthen the improvement to generate more and better varieties; was as a draft 2006-2008 that allowed free 10 varieties currently planted on more than 50% of the area nationally financed. CONASIST in 2010 also boosted fund the improvement, so the aim of this is to indicate how it is done through the support of SAGARPA-CONACYT Sector Fund Project No. 146 788, which is valid for 2011-2016 and with the goal for delivering 25 varieties.

### The genetic improvement of wheat in Mexico

Wheat improvement programs in Mexico, since its inception in the mid-40's to date, have worked two cycles per year in contrasting environments have been entrepreneurs in their techniques employed and have used diverse germplasm to incorporate favourable genes, which lets summarize their contributions as follows: the selection of seedlings in winter and summer with different photoperiods allowed expression of *Ppd1* and *Ppd2* (Rajaram, 1995) genes, resulting in the development of varieties with wide adaptation in various parts of world. Stem rust is genetically controlled in 1955 thanks to the effect of *Sr2* gene (Borlaug, 1968). The source of dwarfing in Norin 10 allowed incorporating the *Rht1* and *Rht2* genes that caused reduction in plant height that allowed during the sixties release about 15 semidwarfs that exceeded the barrier of 4.5 t ha<sup>-1</sup> in the Northwest and came in sometimes up to 8 t ha<sup>-1</sup> (Borlaug, 1969). In the seventies and eighties the introduction of germplasm and recombination between spring wheats habit with winter (I x P) and the recombination between wheat and barley, led to improved adaptation, stability, yield and disease resistance, thanks to the *IBL/IRS* translocation, which carry genes favourable as *Lr26*, *Sr31*, *Yr9* and *PM8* (Villarreal, 1995). During the 80's more emphasis was placed on the evaluation of seedlings in different environments and recombination of wheat intensified with compatible species of *Triticum tauschii*, *Thinopyrum* spp. and *Triticum dicoccoides* (Villarreal, 1995), for horizontal resistance to leaf rust, identifying gene complexes under additive and the *Lr13* (Rajaram *et al.*, 1988), *Lr34* (Singh, 1992) and *Lr46* (Huerta and Singh, 2000).

In recent years there has been work on the genetic control of yellow rust and quality improvement. In yellow rust has been found in adult plant resistance thanks to *Yr18* (Singh and Rajaram, 1995), *Yr28* (Singh *et al.*, 2000) and

(Villarreal, 1995), para obtener resistencia horizontal a la roya de la hoja, identificándose complejos de genes menores de efectos aditivos como el *Lr13* (Rajaram *et al.*, 1988), *Lr34* (Singh, 1992) y *Lr46* (Huerta y Singh, 2000).

En los últimos años se ha trabajado sobre el control genético de roya amarilla y el mejoramiento de la calidad. En roya amarilla se ha encontrado resistencia en planta adulta gracias a los genes *Yr18* Singh y Rajaram (1995), *Yr28* (Singh *et al.*, 2000) y *Yr29* (William *et al.*, 2003). En cuanto a calidad, se han estudiado los patrones de calidad de los trigos mexicanos, con especial énfasis en las proteínas de reserva (gluteninas y gliadinas) que confieren mejoras en la calidad, identificándose las mejores combinaciones de gluteninas de alto peso molecular (Glu-APM), de bajo peso molecular (Glu-BPM) y gliadinas (Gli) (Wang *et al.*, 2010), lo que ha permitido mejorar la cantidad y la calidad de las proteínas de los trigos mexicanos (Peña *et al.*, 2004). Los resultados del mejoramiento genético de trigo en México se pueden sintetizar en la liberación de 234 variedades que han sido la plataforma de la producción nacional.

#### **El proyecto de investigación No. 146788, vigencia 2011-2016**

En el proyecto de investigación financiado por el fondo sectorial SAGARPA-CONACYT, denominado “sistema de mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México” participan 44 investigadores(as) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS) y tiene como finalidad que los programas de mejoramiento genético y las disciplinas de apoyo en fitopatología y calidad industrial interactúen más en la introducción de germoplasma, recombinación genética y selección de segregantes, para generar líneas uniformes que se evaluarán en los viveros nacionales de selección (VNST) y ensayos nacionales de rendimiento (ENRT).

Se introducirá germoplasma de diferentes partes del mundo para enriquecer el fondo genético que permita avances a mediano y largo plazo, se evaluará 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. Se seleccionará por tolerancia al estrés

*Yr29* genes (William *et al.*, 2003). In terms of quality, we have studied the patterns of quality of Mexican wheats, with special emphasis on storage proteins (glutenin and gliadin) that confer improved quality, identifying the best combination of high molecular weight of glutenin (Glu-APM), low molecular weight (Glu-BPM) and gliadin (Gli) (Wang *et al.*, 2010), which has improved the quantity and quality of proteins of Mexican wheats (Peña *et al.*, 2004). The results of genetic improvement of wheat in Mexico can be synthesized in the release of 234 varieties that have been the platform of national production.

#### **The research project No. 146788, effective 2011-2016**

In the research project funded by SAGARPA-CONACYT sector fund, called “system of improvement to produce rust resistant varieties, high yield and high quality for a sustainable wheat production in Mexico” 44 researchers of the National Research Institute National Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Chapingo Autonomous University (UACH) and Postgraduate College of Agricultural Sciences (COLPOS) and aims that improvement programs and supporting disciplines in plant pathology and industrial quality interact more on the introduction of germplasm, genetic recombination and selection in segregating, to generate uniform lines evaluated in national selection nurseries (VNST) and national performance tests (ENRT).

Germplasm from around the world will be introduced to enrich the genetic background that allows progress in the medium and long term, segregating germplasm was evaluated in different production conditions in localities northwest, northeast, High Valley, El Bajío, the Sierra Tarasca and Mixteca Oaxaca, seeking greater selection pressure conditions. Selected for tolerance to heat stress in dry tropical locations and drought tolerance in poor rainfed sites in northern Mexico. The derived lines were tested in nurseries selection and yield tests on rainfed and irrigation, which will be evaluated during the spring-summer and autumn-winter cycles, respectively; in summer experiments were set up in 30 locations in States ranging from Oaxaca to Chihuahua, while in winter it will be established under normal irrigation and limited up to 30 trials tested from Oaxaca watering until BC 150 N. In VNST genotypes were tested and the town will be taken as repetition, selecting for agronomic characters, plant disease and industrial quality. In ENRT 50 genotypes under the experimental design Alfa lattice, where are selected

térmico en localidades de trópico seco y por tolerancia a sequía en sitios de temporal deficiente del norte de México. Las líneas derivadas se probarán en los viveros de selección y ensayos de rendimiento de temporal y de riego, que serán evaluados durante los ciclos primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente; en verano los experimentos se establecerán hasta en 30 localidades en estados que van desde Oaxaca hasta Chihuahua, mientras que en invierno se establecerán bajo riego normal y riego limitado hasta en 30 ensayos probados desde Oaxaca hasta B C N. En los VNST se probarán 150 genotipos y se tomará la localidad como repetición, seleccionando por caracteres agronómicos, fitopatológicos y de calidad industrial. En los ENRT se evaluarán 50 genotipos bajo el diseño experimental Alfa Látice, en donde serán seleccionados por rendimiento, reacción a enfermedades, caracteres agronómicos y parámetros de calidad. Se pretende recopilar datos de hasta 120 evaluaciones en cuatro años, con lo cual será posible, en coordinación con la cadena sistema producto trigo, concretar la liberación de variedades exitosas en corto tiempo.

Será importante retomar 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. Año tras año, durante los ciclos otoño- invierno y primavera- verano, se coleccionarán a nivel nacional muestras de hojas infectadas en siembras comerciales y en lotes experimentales; también se establecerán junto con los ensayos nacionales, viveros trampa para facilitar la identificación de razas. Las muestras recolectadas se procesarán en el Laboratorio Nacional de Royas (LANARET) del INIFAP para la identificación. Con respecto a la nueva raza de roya del tallo, *Ug99*, las líneas seleccionadas se evaluarán en localidades de Kenia a través del CIMMYT, lo que permitirá liberar variedades también con resistencia a esta roya.

La calidad industrial es un componente importante en la selección de líneas candidatas a liberación. Los progenitores serán caracterizados mediante electroforesis para identificar las variantes alélicas de gluteninas de alto y bajo peso molecular asociadas a la fuerza y extensibilidad de la masa, y los genotipos con combinaciones alélicas más adecuadas se utilizarán en nuevos cruzamientos. Para trigos harineros la selección será para caracteres como endospermo duro, alto volumen de sedimentación, baja actividad enzimática, contenido de proteína, fuerza y extensibilidad de la masa, peso hectolítrico, volumen de pan, contenido de gluten y calidad de la miga. Para trigos macarreros (cristalinos) la selección

by performance, reaction to diseases, agronomic traits and quality parameters will be evaluated. It aims to collect data from up to 120 evaluations in four years, which is possible, in coordination with wheat product chain system, realize the successful release of varieties in a short time.

It will be important to resume the monitoring, identification, distribution and frequency of physiologic races of leaf rust and yellow, to understand the dynamics of these diseases and required to achieve their genetic control genes. Year after year, during the autumn-winter cycles and spring-summer, they will be collected nationwide samples of infected leaves in commercial plantings and experimental plots; will also be established with national testing, trap nurseries to facilitate identification of races. The collected samples were processed in the National Laboratory Rusts (LANARET) INIFAP for identification. Regarding the new race of stem rust, *Ug99*, the selected lines will be evaluated in Kenyan towns through CIMMYT, which will also release varieties with resistance to this rust.

The manufacturing quality is an important component in selecting candidates for release lines. Parents will be characterized by electrophoresis to identify the allelic variants of glutenin high and low molecular weight associated with the strength and extensibility of the dough, and genotypes with allelic combinations are most appropriate for use in new crosses. For bread, wheat selection for characters will be on hard endosperm, high sedimentation volume, low enzymatic activity, protein content, strength and extensibility of the dough, test weight, volume of bread, gluten and crumb quality. For macaroni (crystalline) wheats, the selection will be to test weight, grain hardness, black tip, white belly, glassy grain sedimentation volume, protein content, strength and extensibility, and yellow semolina.

### **Progress of the research project no. 146788**

The project started in February 2011 and culminated in February 2016, organized through five stages, one per year. We indicate the progress of the first four stages.

CIMMYT has introduced and characterized more than 4 000 entries, highlighting the selections for resistance to *Fusarium* and *UG99* as well as high quality wheat technology.

The genetic improvement has been made by the programs INIFAP-rainfed and INIFAP-irrigation CIMMYT- flour and CIMMYT durum, who have advanced their germplasm for

será por peso hectolítrico, dureza de grano, punta negra, panza blanca, grano vítreo, volumen de sedimentación, contenido de proteína, fuerza y extensibilidad, y color amarillo de la sémola.

### Avances del proyecto de investigación Núm. 146 788

El proyecto inició en febrero de 2011 y culmina en febrero de 2016, organizado a través de cinco etapas, una por año. Ase indican los avances de las cuatro primeras etapas.

El CIMMYT ha introducido y caracterizado más de 4 000 entradas, destacando las selecciones para resistencia a *UG99* y a *Fusariosis*, así como los trigos de alta calidad tecnológica.

EL mejoramiento genético lo han realizado los programas de INIFAP- temporal, INIFAP- riego, CIMMYT- harineros y CIMMYT- duros, que han avanzado su germoplasma durante ocho ciclos de recombinación y selección (dos por año), y han generado cerca de 9 500 líneas que se han probado en pruebas preliminares de rendimiento.

Se han evaluado diferentes viveros y ensayos nacionales; para riego del 1° al 4° VISTRI y del 8° al 11° ENTRI, probándose las líneas en cerca de 150 condiciones diferentes; mientras que para temporal del 16° al 19° VSTHT y del 15° al 18° ERTHT, probándose las líneas en 108 sitios diferentes. Se han caracterizado para su liberación durante los cuatro años 24 líneas candidatas.

Se han colectado cerca de 750 muestras de royas, en su mayoría roya amarilla, que se están procesando en LANARET que se construyó gracias al apoyo del proyecto y quedó prácticamente terminado en agosto de 2014. Las muestras procesadas hasta la fecha (30%) permiten reconocer gran variabilidad de razas fisiológicas de roya amarilla.

A fecha se han liberado las siguientes variedades: Anatoly C20011, Bacali F2011, Luminaria F2013, Baroyeca Oro C2013, Quechhueca Oro C2013, Borlaug 100 F2014 y Alondra F2014. Están en proceso de registro: Bacorehuis "s", Conatrigo "s", Barobampo "s", Conasist "s", Don Carlos "s", Valles "s" y Acolhua "s". En el ciclo otoño- invierno/2014-2015 están en su segundo año de caracterización 10 líneas candidatas para liberar las más sobresalientes (3 a 4) a fines de 2015 y están en su primer año de caracterización 14 líneas para liberar las mejores (6 a 8) durante el 2016.

eight cycles of recombination and selection (two per year) and have generated close to 9 500 lines tested in preliminary performance tests.

We have evaluated different nurseries and national tests; for irrigation of 1 to 4° VISTRI and 8° to 11° ENTRI, proving the lines in about 150 different conditions; while for rainfed 16° to 19° and 15° VSTHT 18° ERTHT, testing the lines at 108 different sites. 24 lines have been marked for release during the four years.

We have collected about 750 samples rusts, mostly yellow rust, being processed in LANARET that was built with the support of the project and was virtually completed in August 2014. The samples processed to date (30%) allow recognize great variability of physiological races of yellow rust.

Up to this date, the following varieties have been released: Anatoly C20011, Bacali F2011, Luminaria F2013, Baroyeca Oro C2013, Quechhueca Oro C2013, Borlaug 100 F2014 and Alondra F2014. In process for registration: Bacorehuis "s", Conatrigo "s", Barobampo "s", Conasist "s", Don Carlos "s", Valles "s" and Acolhua "s". In the autumn-winter cycle/2014-2015 are in their second year of characterization 10 lines candidates to release the most outstanding (3-4) in late 2015 and in its first year of characterization 14 lines to deliver the best (6 8) during 2016.

## Conclusions

With the research project no. 146 788 has been achieved greater interaction among institutions and especially between different improvement programs, which has allowed strengthening to generate best lines. The network of national yield trials has been a good strategy to identify best varieties advanced to free lines, which are exceeding up to 10% than the best controls. The monitoring of physiologic races of rust is an action to be performed continuously in order to have them well identified and achieve their genetic control, for which the construction of LANARET was very supportive.

*End of the English version*



## Conclusiones

Con el proyecto de investigación Núm. 146 788 se ha logrado mayor interacción entre las instituciones involucradas y en especial entre los diferentes programas de mejoramiento genético, lo que ha permitido que se fortalezca para la generación de mejores líneas. La red de ensayos nacionales de rendimiento ha sido buena estrategia para identificar líneas avanzadas para liberar mejores variedades, que están superando hasta 10% a los mejores testigos. El monitoreo de razas fisiológicas de royas es una acción que deberá realizarse permanentemente, con el fin de tenerlas bien identificadas y así lograr su control genético, para lo cual la construcción del LANARET fue gran apoyo.

## Agradecimientos

El autor principal agradece al fondo CONACYT-SAGARPA, Proyecto Núm. 146 788 por el financiamiento parcial de la presente investigación y su publicación.

## Literatura citada

- Borlaug, N. E. 1968. Wheat breeding and its impact on world food supply. *In: proceedings 3<sup>th</sup>. Int. Wheat genetics symp.* Finley, K. W. and Shephard, W. (Eds.). Canberra, Australia. 1-36 pp.
- Borlaug, N. E. 1969. Mejoramiento de trigo, su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos. *Sobretiro Núm. 2.* Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, México. 40 p.
- Huerta, E. J. y Singh, R. 2000. Las royas del trigo. *In: el trigo de temporal en México.* Villaseñor M. H. E y Espitia, E. (Eds.). SAGAR (Secretaría de Agricultura y Ganadería). Instituto Nacional de INIFAP (Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias)-Campo Experimental Valle de México Chapingo, Estado de México, México. Libro técnico Núm. 1). 231-251 p.
- Peña, R. J.; González, S. H. and Cervantes F. 2004. Relationship between Glu-D1/Glu-B3 allelic combinations and bread-making quality-related parameters commonly used in wheat breeding. *In: Masci, S. and Lafiandra, D. (Eds.). Proceedings of the 8<sup>th</sup> gluten workshop.* Vitervo. 156-157 pp.
- Rajaram, S.; Singh, R. P. and Torres, E. 1988. Current CIMMYT approaches in breeding wheat for rust resistance. *In: breeding strategies for resistance to the rust of wheat.* Simmonds, N. W. and Rajaram, S. (Eds.). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Mexico, D. F. 101-118 pp.
- Rajaram S. 1995. Wheat germoplasm improvement: historical perspectives, philosophy, objectives, and missions. *In: wheat breeding at CIMMYT: commemorating 50 years of research in Mexico for global wheat improvement.* Rajaram, S. and Hettel, G. P. (Eds.). Wheat special report Núm. 29. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). México, D. F. 1-10 pp.
- Rosegrant, M. W. and Agcaoili, M. 2010. Global food demand, supply, and price prospects to 2010. International Food Policy Research Institute, Washington, D. C. USA.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2012. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).
- Singh, R. P. 1992. Genetic association of leaf rust resistance gene *Lr34* with adult plant resistance to stripe rust in bread wheat. *Phytopathology.* 82:835-838.
- Singh, R. P. and Rajaram, S. 1995. Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats. *Euphytica.* 72:1-7.
- 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.; Hudson, D. P.; Huerta, E. J.; Jin, Y.; Njau, P.; Wanyera, R.; Herrera, F. S. A. and Ward, R. W. 2008. Will stem rust destroy the world's wheat crop? *Advances Agron.* 98:271-309.
- The Lancet. 2008. Editorial. [www.thelancet.com](http://www.thelancet.com). 371:1389 p.
- Villarreal, R. L. 1995. Expanding the genetic base of CIMMYT bread wheat germoplasm. *In: Wheat breeding at CIMMYT: commemorating 50 years of research in Mexico for global wheat improvement.* Rajaram, S. and Hettel, G. P. (Eds.). Wheat special report Núm. 29. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). México, D. F. 16-21 pp.
- Villaseñor, M. H. E. 2000. Reseña del mejoramiento genético de trigo de temporal en México. *Agric. Téc. Méx.* 26(1):109-123.
- Wang, L. H.; Li, G. Y.; Peña, R. J.; Xia, X. C. and He, Z. H. 2010. Identification of novel allelic variants at *Glu-A3* locus and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Cereal. Sci.* 51:305-312.
- William, M.; Singh, R. P.; Huerta, E. J.; Ortiz, I. J. and Hoisington, D. 2003. Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene *Lr46* and its association with stripe rust resistance gene *Yr29* in wheat. *Phytopathology.* 93:153-159.