

HITOS Y PERSPECTIVAS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE TRIGO EN URUGUAY

M Quincke¹, S Pereyra¹, D Vázquez¹, P Silva¹, S Germán¹

RESUMEN

Más de un siglo de mejoramiento genético de trigo ha transcurrido desde que Dr. Alberto Boerger iniciara los primeros trabajos de colecta y selección en las poblaciones criollas. Desde entonces más de sesenta variedades mejoradas fueron liberadas comercialmente al sector productivo por el Programa de Mejoramiento Genético de Trigo (PMGT) de La Estanzuela. Éstas, fueron aportando consistentemente mayores niveles de productividad. Tempranamente se identificaron los temas vinculados a la calidad industrial y la necesidad de incorporar resistencia genética a las principales enfermedades, como pilares fundamentales para el éxito de las variedades y el programa en su conjunto. La vinculación internacional que tuvo La Estanzuela desde sus inicios, fue otro pilar de fundamental importancia, resultando en un amplio reconocimiento internacional y posicionando a La Estanzuela como un referente científico en materia de estudios fitotécnicos y genéticos. Ejemplos de esto son las visitas de Nikolai Vavilov en 1932, Norman Borlaug en 1977 y 1999, o la realización en 1949 del Primer Congreso Sudamericano de Investigaciones Agronómicas. Esta red de colaboración internacional, particularmente el intercambio de germoplasma, fue siempre un recurso fundamental para la superación en épocas de crisis varietales. Los sistemas de producción promovidos a principio de la década del 60, con la introducción de la fertilización y la rotación con

pasturas dentro de sistemas mixtos agrícola-ganaderos, y más recientemente la adopción generalizada de la siembra directa a fines de los 90, marcaron cambios importantes en la producción de trigo. Y con ellos, ajustes necesarios en los objetivos del PMGT. Durante la última década, con la expansión del área cultivada y a raíz de una mayor producción, el ingreso en el mercado de exportación de trigo, han determinado para el PMGT nuevamente la necesidad de adaptación a nuevos desafíos. A futuro, lejos de estar exentos de nuevos cambios, la presión y exigencia hacia los nuevos cultivares será cada vez mayor. Se deberá incrementar la tasa de progreso genético lograda hasta hora, combinando con manejo agronómico, de manera de alcanzar los rendimientos potenciales, minimizando las pérdidas. Será necesario aumentar la eficiencia de uso de agua y nutrientes, para asegurar la sustentabilidad de la producción. Los esfuerzos solo estarán completos si se logran alcanzar también los exigentes requerimientos de calidad impuestos por los mercados y los consumidores. Sin dudas, el mejoramiento genético, con un enfoque multidisciplinario, la implementación de herramientas moleculares, y el potencial uso de transgénicos, serán socios fundamentales para el cumplimiento de las metas.

Palabras Claves: *Triticum aestivum*, mejoramiento genético.

HITO: CREACIÓN DEL INSTITUTO FITOTÉCNICO Y SEMILLERO NACIONAL LA ESTANZUELA

Con la llegada del Dr. Alberto Boerger a Uruguay en 1912, contratado por el gobierno, se ponen en marcha los trabajos en el área de fitomejoramiento, particularmente en el cultivo de trigo. Culminando la primer etapa de prospección y búsqueda del mejor lugar para establecer la base operativa, con la fundación en 1914 del «Instituto Fitotécnico y Semillero Nacional La Estanzuela» (IFSNLE) en Colonia, dando inicio así oficialmente a las actividades del Programa de Mejoramiento Genético de Trigo (PMGT). Los primeros trabajos realizados por el Dr. Boerger y sus colaboradores se centraron en la recolección y caracterización de las poblaciones criollas en manos de los productores, en su mayoría inmigrantes. Como resultado de la selección entre y dentro de las mismas, en 1918 se liberaron los primeros trigos de pedigree (por más detalles ver Luizzi *et al.* en esta publicación, Luizzi *et al.*, 1983).

HITO: VINCULACIÓN Y RECONOCIMIENTO INTERNACIONAL

Desde los comienzos de los trabajos en La Estanzuela, el Dr. Boerger tuvo un fuerte interés por la vinculación internacional y un convencimiento de que era de vital importancia para el desarrollo de la investigación nacional. Con el correr de los años, la actividad y colaboración de Boerger y su equipo fuera de fronteras, le valieron al Instituto un extraordinario reconocimiento internacional. Muestras de ellos son las visitas de Dr. Nikolai Vavilov en 1932 y de Dr. Norman Borlaug en 1977 y 1999, destacados científicos de vasta trayectoria mundial. Otro ejemplo del rol del IFSNLE en la región, fue la organización del primer Congreso Sudamericano de Investigaciones Agronómicas en 1949 en Colonia-Uruguay. El intercambio de germoplasma fue otra de las actividades que promovió y favoreció el vínculo del Instituto con la comunidad científica en materia de estudios fitotécnicos y genéticos en trigo y otros cultivos.

HITO: INVESTIGADORES

Una importante página del pasado y el presente del IFSNLE (1914-1961), el Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger (CIAAB, 1961-1991) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIA, 1991-presente) la han escrito sus investigadores y todo el personal de apoyo que ha aportado con su esfuerzo y dedicación desde los inicios de los trabajos de investigación hace ya más de un siglo. Más de 40 investigadores trabajaron en el PMGT, y áreas o disciplinas de apoyo (Figura 1).

Distintas disciplinas se integraron al Instituto y aportaron herramientas y conocimiento al PMGT desde cada especialidad, a medida que se planteaban nuevos desafíos y/o se desarrollaba conocimiento. Desde la liberación de las primeras variedades se visualizó la necesidad de acompañar las mismas con buenas prácticas de producción de semillas, de manera de garantizar la calidad genética del nuevo material, la disponibilidad del mismo a los productores y asegurar la expresión de su potencial de producción. En la década del 20 y luego de las dificultades presentadas a nivel industrial con el cultivar *Pelón 33c*, se identificó la necesidad de trabajar en aspectos de calidad panadera con el fin de seleccionar variedades que cumplieran con los requerimientos de calidad de la industria (Luizzi *et al.* 1983), incorporándose al equipo técnico del PMGT el primer investigador especializado en calidad panadera e industrial.

La resistencia a enfermedades desde un principio fue considerada importante por las pérdidas causadas por patógenos en un ambiente favorable para su desarrollo. El ingreso del primer especialista en el área de fitopatología en la década del 20 y sus sucesores hasta la actualidad quedó plenamente justificado por la ocurrencia de epidemias de royas de la hoja y del tallo desde el inicio del PMGT, roya estriada (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) durante 1929 y 1930, mancha de la hoja desde la década del 60, fusariosis de la espiga desde 1977 y mancha amarilla asociada al desarrollo de siembra directa. Posteriormente se incorporaron especialistas en manejo y fisiología de cultivos, recursos genéticos y recientemente mejoramien-

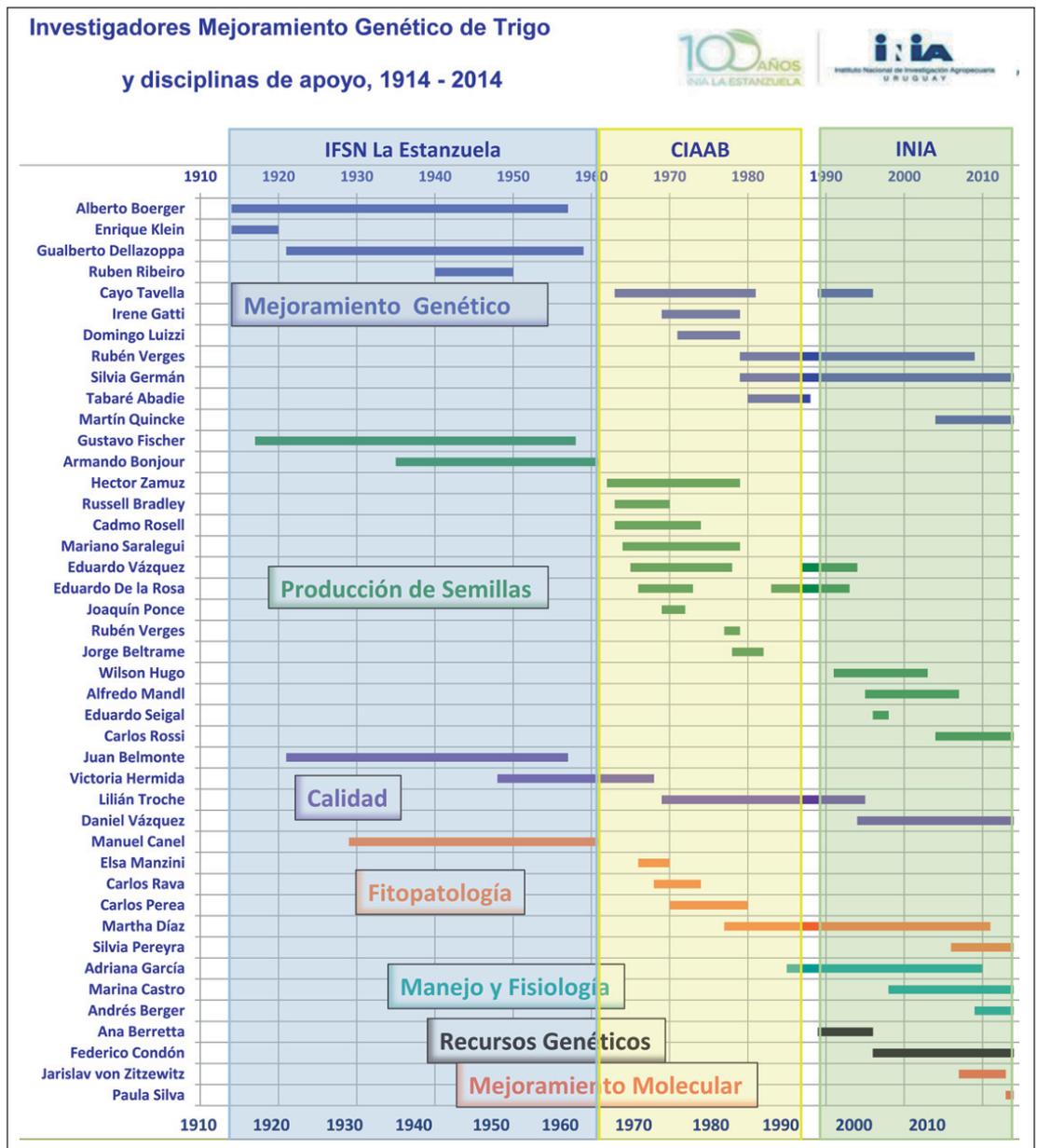


Figura 1. Investigadores que contribuyeron al mejoramiento de trigo y disciplinas relacionadas durante 1914-2014. Fuente: Germán (2018).

to molecular. La sucesiva incorporación de investigadores a distintas áreas del equipo multidisciplinario de investigación, permitiendo mantener prácticamente siempre la continuidad en los trabajos de investigación.

HITO: VARIEDADES

Desde las primeras variedades liberadas en 1918 a la fecha, La Estanzuela, ha libera-

do comercialmente 65 variedades (Figura 2). La mayoría lograron gran aceptación por parte de los productores y alcanzaron a ocupar una porción significativa del área cultivada anualmente, impulsando además importantes saltos de productividad. Algunas de estas variedades se mantuvieron en producción por más de 15 años como *Litoral Precoz* (23 años, 1938 a 1961), *Multiplicación 14* (18 años, 1958 a 1976), *Estanzuela Cardenal* (21

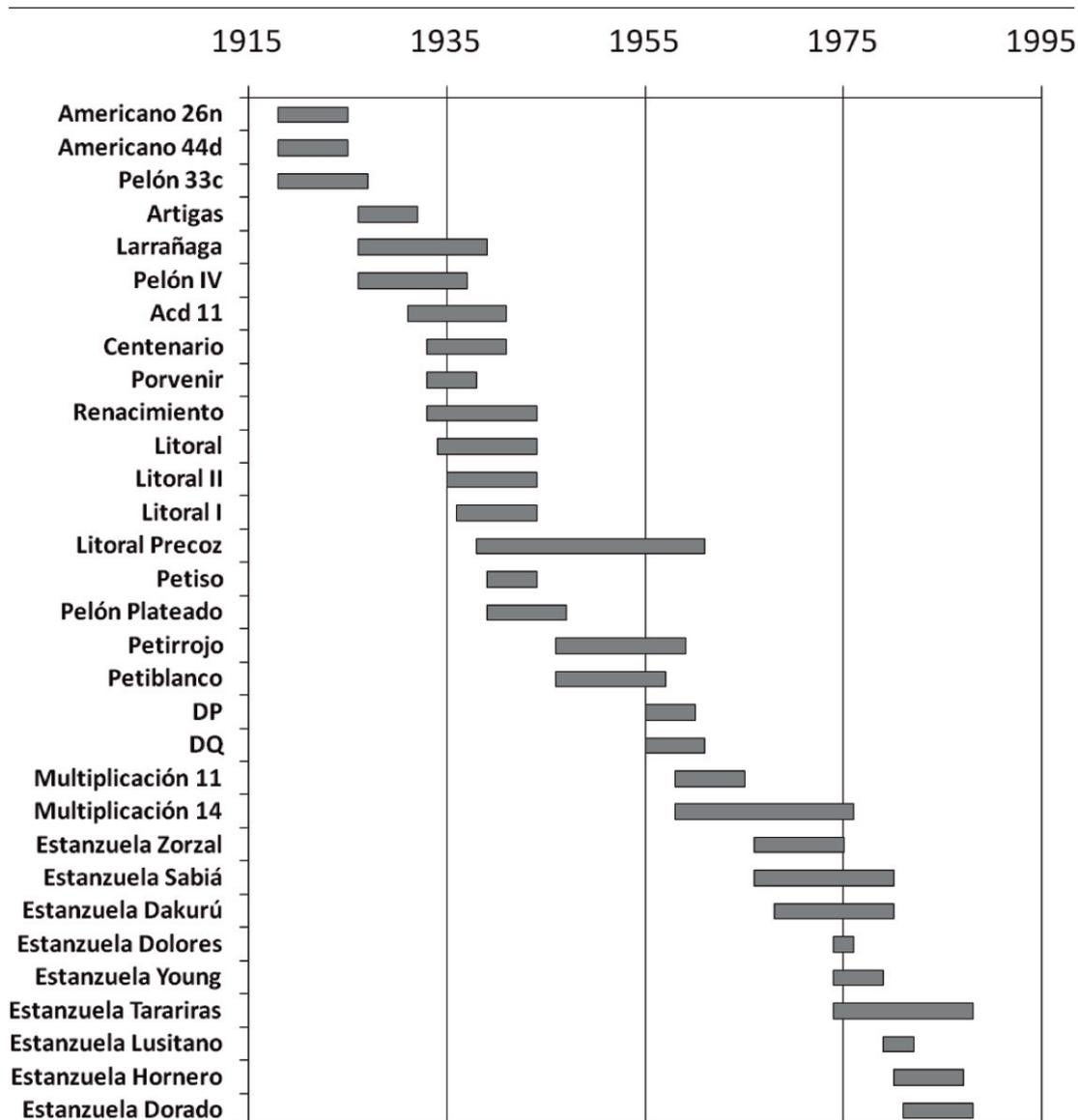


Figura 2. Variedades liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de La Estanzuela desde 1918.

años, 1985 a 2006), y *Estanzuela Pelón 90* (15 años, 1990 a 2005).

HITO: CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

En Inglaterra, Snape (2004), analizó la evolución del rendimiento promedio por hectárea de trigo considerando una serie histórica de más de 100 años, dividiendo la misma en tres períodos. Haciendo un paralelismo con este trabajo, estos mismos perío-

dos se pueden definir al observar la evolución del rendimiento promedio de trigo en Uruguay (Figura 3). La primera etapa se caracterizó por la selección de poblaciones criollas, comenzando en 1920 el segundo período en el que se adoptó la selección por pedigree y se dio un importante desarrollo del conocimiento. La tercera etapa comienza a partir de la década del 50, y estuvo marcada por una mayor base científica del mejoramiento genético, y por la fuerte incorporación de la investigación en manejo del

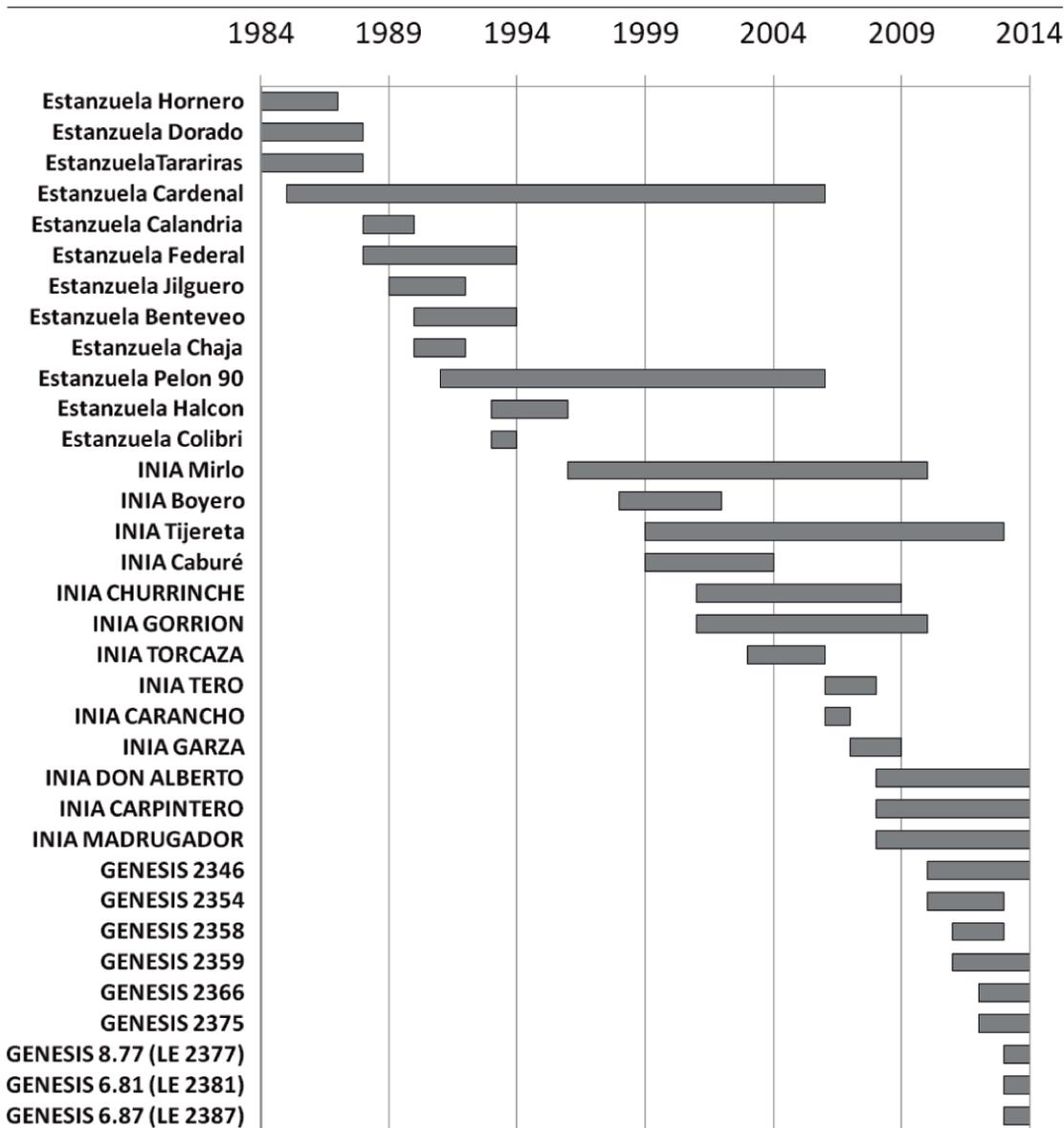


Figura 2. Variedades liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de La Estanzuela desde 1918 (Cont.).

cultivo para aumentar la productividad, lográndose un verdadero avance.

Así como en Inglaterra el rendimiento promedio pasó de 2 ton/ha a fines del siglo XIX a 8 ton/ha a fines del siglo XX, logrando en el proceso multiplicar por cuatro el rendimiento promedio, Uruguay, pasó de tener un rendimiento promedio para el quinquenio 1910-1914 de apenas 500 kg/ha (con el menor registro histórico en 1914 de 315 kg/ha), a pro-

ducir – un siglo más tarde - en promedio casi 3100 kg/ha durante los últimos cinco años (2009-2013) (DIEA, 2014). Esto significa un incremento aproximado de 600%, a una tasa de crecimiento promedio del orden de los 25 kg/ha al año (Figura 3). Este incremento en productividad es el resultado de la aplicación de mejores prácticas de producción en conjunto con la mejora en genética.

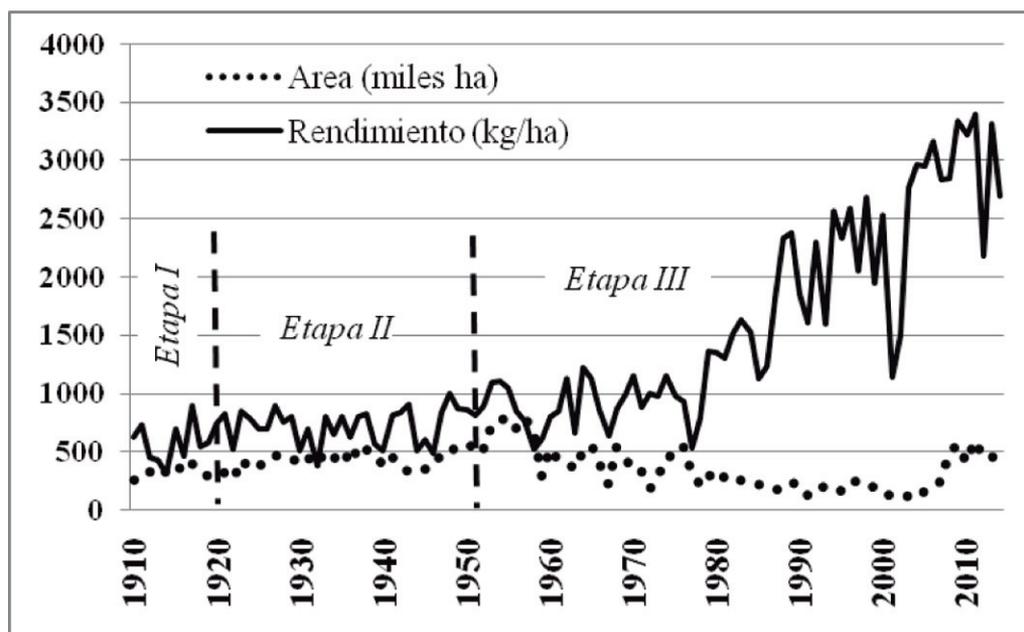


Figura 3. Evolución de área sembrada (miles de ha) y rendimiento de trigo (kg/ha) en Uruguay. Período 1910 – 2013. Fuente: MGAP, DIEA.

HITO: PROGRESO GENÉTICO

Un capítulo importante en la historia de cualquier programa de mejoramiento genético es evaluar el progreso genético logrado. Ya en la primera etapa, la superioridad en rendimiento de grano de las líneas seleccionadas en los primeros años respecto al testigo *Americano Exposición*, fue demostrada por Boerger y Klein (1919), quienes citan que *Americano 26n*, *Americano 44d* y *Pelón 33c* superaron al testigo en 36, 44 y 45% respectivamente.

Décadas más tarde, Germán y Luizzi (1982), con una serie de ensayos específicos para analizar el progreso genético alcanzado, demostraron no sólo la ganancia en rendimiento de grano lograda en distintas etapas del PMGT, sino también el avance en resistencia genética a dos enfermedades de importancia económica para el cultivo (royas de la hoja y del tallo, causadas por *Puccinia triticina* y *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, respectivamente). Asimismo, comprobaron los logros en aspectos de calidad, manteniendo los niveles de porcentaje de proteína en grano y peso hectolítrico en materiales con mayor rendimiento, y un aumento en los niveles de volumen de sedimentación SDS.

Similares tendencias en progreso genético de rendimiento de grano, resistencia a enfermedades y calidad fueron observadas con una serie de ensayos conducidos en INIA La Estanzuela a fines de los años noventa (Bernheim *et al.* 1998, Quincke y Kohli 2003). Buscando representar el período desde 1958 a 1997, 14 variedades de ciclo intermedio y corto fueron sembradas en ensayos en condiciones de alta y baja fertilidad, con y sin control químico de enfermedades, con el objetivo de evaluar el progreso genético y medir el impacto de las variables de manejo sobre el mismo.

En condiciones de alta fertilidad, simulando el paquete tecnológico usado en el cultivo de trigo al momento de la realización de los ensayos, se determinó un avance en rendimiento de 59 y 60 kg/ha/año, para los manejos con y sin fungicida, respectivamente (Figura 4). Estos incrementos representan una ganancia relativa anual en rendimiento de grano de 1,63% y 1,84% respectivamente. En promedio, el rendimiento de grano de los materiales con control químico de enfermedades fue 619 kg superior al rendimiento sin control de enfermedades.

En condiciones de baja fertilidad, reproduciendo el manejo del cultivo de la década

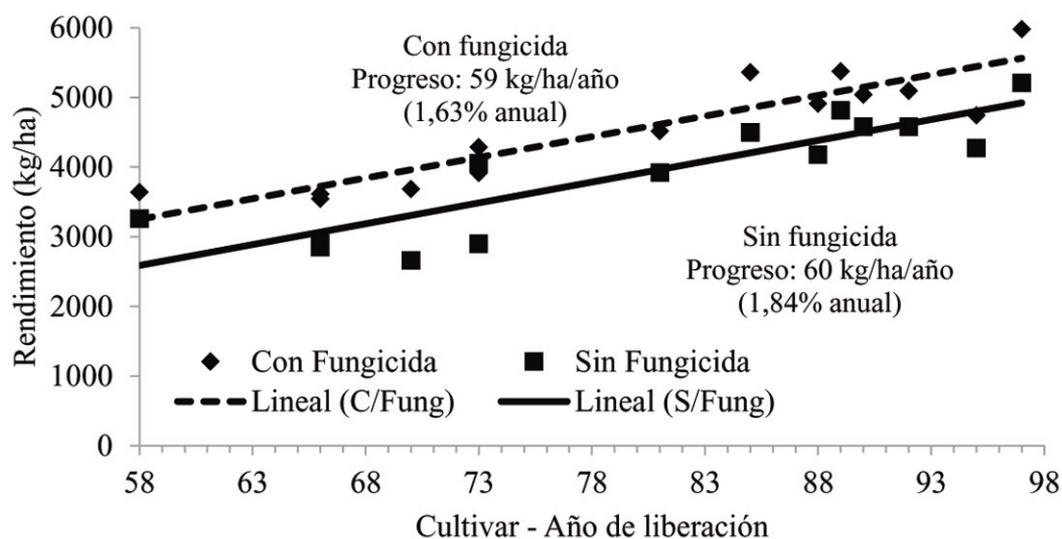


Figura 4. Progreso genético del rendimiento (kg/ha) en variedades de trigo de ciclo intermedio y corto en condiciones de alta fertilidad, con y sin control de enfermedades. Período 1958-1997. Fuente: Bernheim et al., 1998.

del 50 cuando fueron liberadas las variedades más viejas del ensayo (sin rotación con pasturas ni uso de fertilización), los rendimientos en general fueron significativamente más bajos y se observaron ganancias de rendimiento de 28 kg/ha/año (1,12% anual) con fungicida y 34 kg/ha/año (1,43% anual) sin fungicida (Bernheim et al., 1998).

Ensayos similares se realizaron para medir el progreso genético de ciclo largo (Quincke y Kohli, 2003). La serie de cultivares cubrió un rango de 20 años ya que la primera variedad de ciclo largo, *Estanzuela Dorado*, se liberó en 1981. Los resultados marcaron iguales tendencias, aunque con mayores ganancias tanto para condiciones

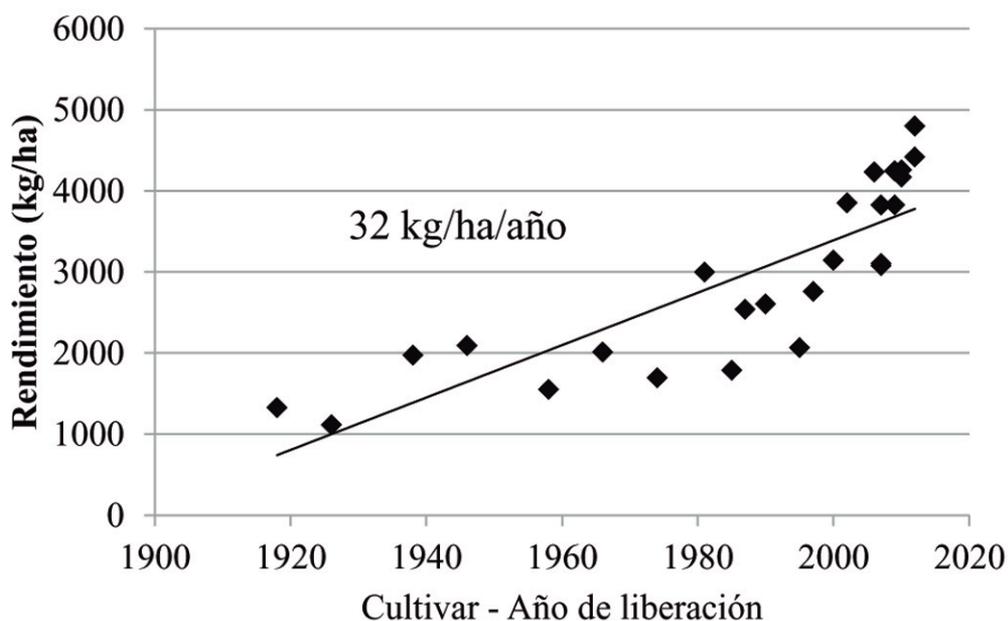


Figura 5. Tendencias de rendimiento (kg/ha) en un set histórico de 25 variedades, período 1918-2010 (La Estanzuela, 2012).

de alta fertilidad (90 kg/ha/año equivalente a 2,9% anual y 72 kg/ha/año equivalente a 2,7% anual, con y sin fungicida respectivamente), como para condiciones de baja fertilidad con fungicida (46 kg/ha/año, 1,7% anual). Para condiciones de baja fertilidad sin fungicida el aumento fue el menor registrado (27 kg/ha/año, 1,0% anual). En el mismo trabajo también se analizaron las tendencias en términos de calidad. Los resultados más destacados indicaron una tendencia levemente negativa en porcentaje de proteína en grano, mientras se verificaron tendencias positivas (aunque no significativas) en volumen de sedimentación y en el tiempo de mezclado. Por lo tanto, junto al aumento de rendimiento se pudo lograr al menos mantener el nivel de la calidad del grano, resultados que claramente se alinean con los objetivos del PMGT de lograr mayor rendimiento sin perder de vista los aspectos de calidad.

En 2012, en parcelas demostrativas de una colección histórica de trigos abarcando desde los primeros cultivares liberados por el Dr. Alberto Boerger en 1918 hasta líneas experimentales avanzadas próximas a su liberación comercial, se obtuvo una tendencia de progreso genético de rendimiento en grano de 32 kg/ha/año (Figura 5) (Quincke, datos sin publicar). Este valor es muy cercano a la tasa anual de incremento de rendimiento de grano verificada a nivel nacional (Figura 3). Los datos de fuerza panadera (W) medidos sobre muestras del set histórico sembrado en 2011, indican claramente que algunas de las variedades más nuevas tienen un mayor nivel de W, indicando que se logró combinar alto potencial de rendimiento con mejores atributos de calidad panadera.

HITO: RESISTENCIA GENÉTICA A ENFERMEDADES

Otro de los aspectos fundamentales del PMGT ha sido el mejoramiento genético por resistencia a enfermedades (Figura 6). Se verificó un importante progreso genético en la resistencia frente a la mancha de la hoja (*Septoria tritici*), roya de la hoja (*Puccinia triticina*) y fusariosis de la espiga (*Fusarium* spp.) de las variedades liberadas por el PMGT durante los últimos 20 años. Es destacable

el incremento de la resistencia a fusariosis de la espiga, de difícil control por otras medidas de manejo, escasa disponibilidad de fuentes de resistencia y baja heredabilidad. Si bien se han liberado variedades resistentes a la mancha amarilla (*Drechslera tritici-repentis*), es relevante mantener el ritmo de progreso genético para esta enfermedad. Únicamente para el caso de la roya del tallo (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) se ha verificado una pérdida del nivel de resistencia de las variedades del PMGT desde niveles altos a niveles intermedios de resistencia. Este hecho preocupa particularmente por el elevado grado de susceptibilidad de muchas variedades prevalentes en toda la región, aumentando el riesgo de ocurrencia de epidemias generalizadas de esta enfermedad, que ha estado prácticamente ausente por varias décadas. Por el contrario, los esfuerzos realizados por mejorar y ampliar la base de la resistencia a roya de la hoja tuvieron como resultado una importante disminución de los niveles de susceptibilidad de las nuevas variedades y líneas experimentales, siendo el objetivo más reciente lograr la incorporación masiva de la resistencia en planta adulta, más duradera que la resistencia basada en genes mayores (ver Germán *et al.* en esta publicación).

COMENTARIOS FINALES

Una constante que se ha mantenido en este siglo de existencia del PMGT, es que ha tenido que enfrentarse permanentemente a nuevos desafíos. El surgimiento de nuevas enfermedades o cambios de la población de algunos patógenos, mayor exigencia de calidad industrial tanto para el mercado local como para los destinos de exportación o cambios en los sistemas de producción, representan algunos de estos desafíos. Por lo tanto el PMGT está en un continuo proceso de adaptación, atendiendo la intensa e incesante necesidad por nuevos y mejores cultivares.

En un posible escenario futuro en el que para el año 2050, acompasando la tendencia mundial de fuerte incremento en la demanda de alimentos la productividad promedio nacional deba estar aproximadamente en

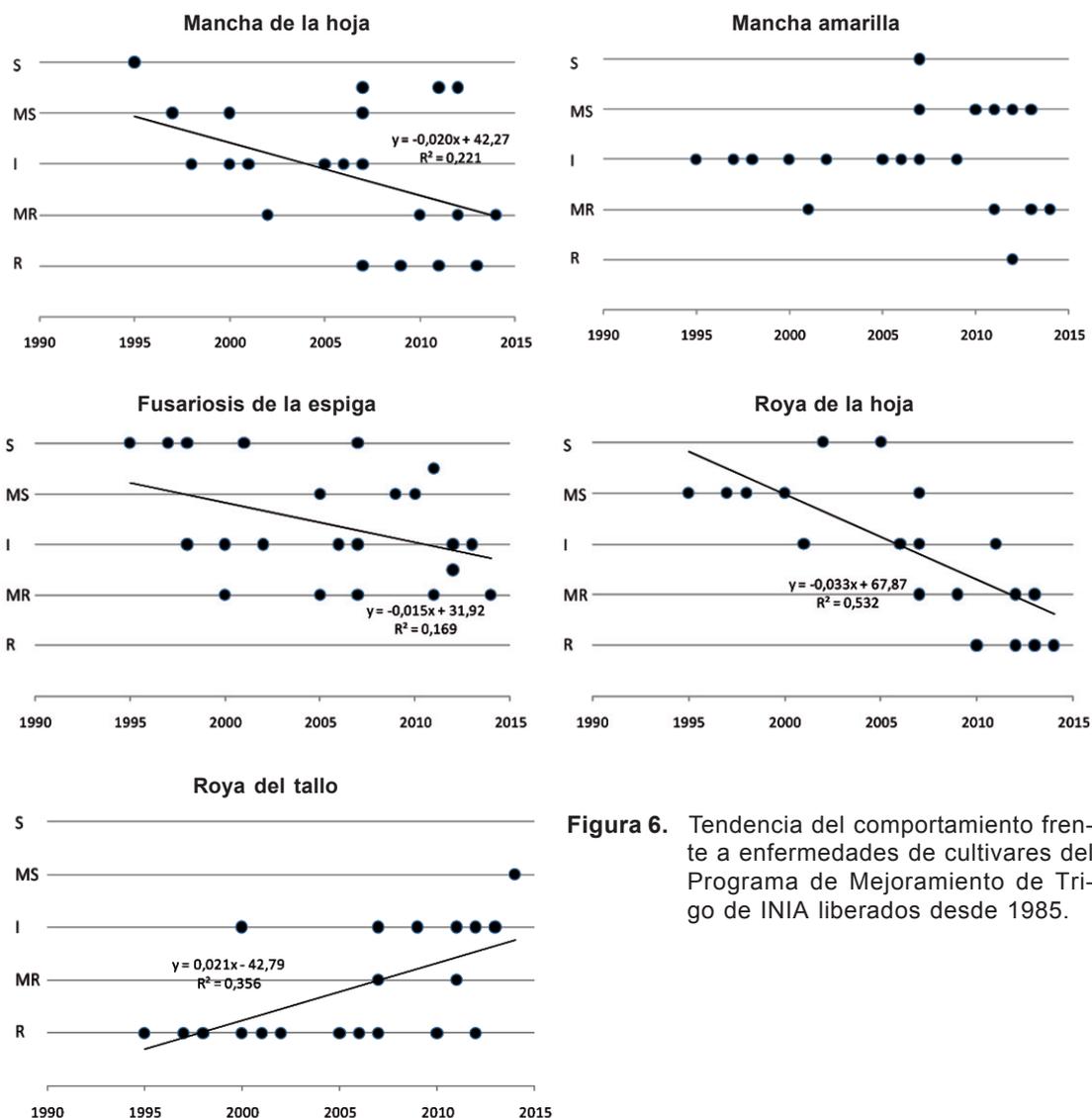


Figura 6. Tendencia del comportamiento frente a enfermedades de cultivares del Programa de Mejoramiento de Trigo de INIA liberados desde 1985.

6000 kg/ha prácticamente duplicando el promedio actual, se necesita alcanzar una tasa de crecimiento de al menos 80 kg/ha/año.

Para lograr este objetivo es imprescindible incrementar la tasa de progreso genético y ajustar el manejo agronómico de manera de garantizar la expresión del potencial de rendimiento. Hay que trabajar para minimizar pérdidas y aumentar la eficiencia de uso de agua y nutrientes sin comprometer la sustentabilidad y asegurando la inocuidad de producción. Esto permitirá a su vez, cumplir con los exigentes requerimientos de calidad de mercados y consumidores.

¿Cómo lograrlo? Equipos multidisciplinares altamente capacitados, uso de herramientas moleculares, fenotipado de precisión y a gran escala, incorporación de selección genómica, exploración de híbridos y transgénicos son algunos de los caminos posibles.

BIBLIOGRAFÍA

Bernheim G, Kohli MM, Verges RP. 1998. Progreso genético para rendimiento de grano en trigo de ciclo corto en Uruguay durante el período 1958-1997. In Explorando altos rendimientos de trigo. La Estanzuela, Uruguay, Octubre 20 al 23, 1997. Uruguay; CIMMYT-INIA. Kohli, M. M. y D. Martino (eds.). (317-331).

- Boerger A, Klein E. 1919. Trigos de pedigrée del Semillero Nacional de «La Estanzuela»: sobre ensayos comparativos de rendimiento y la significación económica de los resultados obtenidos. Montevideo: Ministerio de Industrias. 21 p.
- Luizzi D, Gatti I, Germán S, Abadie T, Verges R. 1983. Setenta (70) años de mejoramiento genético de trigo. Colonia (Uruguay): CIAAB, 28 p. (CIAAB Miscelánea; 51).
- Germán S. 2018. Investigadores en mejoramiento genético de trigo y disciplinas de apoyo 1914-2014. En Germán S y Luizzi D (Eds.), 100 Años de Mejoramiento Genético de Trigo en INIA La Estanzuela. Montevideo. (UY): INIA. (7.9).
- Germán S, Luizzi DV. 1982a. Mejoramiento de Trigo en el Uruguay. I. Evolución del potencial de rendimiento en trigos uruguayos. Investigaciones Agronómicas, 3(1):30-32.
- DIEA. 2014. Anuario Estadístico Agropecuario 2014, MGAP. [En línea]. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/>
- DIEA. 2014. Series históricas de datos, MGAP. [En línea]. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/>
- Quincke M, Kohli MM. 2003. Progreso genético para rendimiento de grano en trigo de ciclo largo en Uruguay. Poster. In Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA. MM Kohli, M Díaz, M Castro (Eds.). (287-289).
- Snape JW. 2004. Challenges of integrating conventional breeding and biotechnology: a personal view! En: New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep - 1 Oct 2004, Brisbane, Australia. Published on CDROM. Web site www.cropscience.org.au