

Friticale

U. Van der Vossen, J. Bakker & S. van

PA-ABD-518

2





Triticale

G. Varughese, T. Barker y E. Saari



En los últimos 20 años se han logrado avances significativos en el mejoramiento del triticale en el CIMMYT y otros lugares; el cultivo es muy prometedor en ambientes de producción difíciles.

Introducción

Las investigaciones relacionadas con el triticale (*X. Triticosecale* Wittmack), el producto de un cruzamiento entre el trigo y el centeno, en realidad comenzaron en el CIMMYT un año antes de que se estableciera formalmente el Centro en 1966. El objetivo original del programa era producir un tipo de cereal que complementara o superara a los otros, un reto formidable en vista de los problemas que tuvo el triticale en sus inicios. Por lo general las plantas eran altas y de madurez tardía, sensibles al fotoperiodo y parcialmente estériles, con una tendencia a producir semillas arrugadas. Estos problemas determinaron los primeros proyectos para mejorar el triticale.

En los años transcurridos desde que otros científicos y los del CIMMYT iniciaron esos proyectos, se han logrado adelantos significativos. Se han resuelto en gran medida problemas relacionados con el acame, la fertilidad floral, la calidad deficiente del grano y la madurez tardía, y ahora el triticale se cultiva en más de un millón de hectáreas en 32 países de todo el mundo (cuadro 1, p. 21). El triticale aún tiene varias características desventajas (incluyendo la germinación en la espiga y peso hectolitrico bajo en ambientes de producción menos favorables); no obstante, ha manifestado cada vez más su potencial en condiciones especiales de cultivo, tales como ambientes semiáridos, suelos ácidos (por

ejemplo, oxisoles y ultisoles) y tierras altas tropicales de más de 1,500 m de altura, que se caracterizan por suelos volcánicos que son casi siempre ácidos y que tienen gran capacidad de fijar fósforo.

El CIMMYT dedica cada vez más atención a ambientes como éstos, en los que la producción de cereales puede ser una actividad difícil o marginal. Si bien el programa de triticale sigue buscando los medios de elevar el rendimiento y mejorar la adaptación amplia, la calidad de la semilla y la calidad industrial, en la actualidad dedica mayor atención a mejorar variedades que prosperen en ambientes difíciles y sean resistentes a las enfermedades. El trasfondo de cada faceta de la labor fitogenética es un proyecto general para ampliar la variabilidad genética del triticale. Más adelante se detalla este proyecto, una de las mayores prioridades del programa del triticale (véase la página 15).

Estos objetivos reflejan una confianza en el potencial del triticale que antes no existía. Si bien desde su primera aparición en el decenio de 1870 el triticale despertó la curiosidad de los fitogenetistas como una rareza botánica, no estimuló de inmediato su imaginación como un cultivo comercial. La transformación del triticale en cultivo comercial se logró gracias a los esfuerzos de muchas personas que creían que valía la pena explotar sus características

poco comunes. En esta obra se reseñan algunos detalles de esa transformación, incluidos los logros del CIMMYT en cuanto al mejoramiento del triticale durante los últimos 20 años, y además se examinan las metas actuales y futuras del programa.

Primeras investigaciones

En 1875, Wilson informó a la Sociedad Botánica de Edimburgo que había obtenido una planta estéril a partir de un cruzamiento trigo x centeno. Si bien Rimpau produjo el primer triticale fértil en 1888, este cultivo continuó teniendo relativamente poca trascendencia hasta ya avanzados los primeros decenios del siglo XX. En ese momento, científicos de la Unión Soviética y Europa, en particular Müntzing de Suecia, comenzaron a explorar su potencial como cultivo comercial. Sus esfuerzos se vieron frustrados por la persistente infertilidad del híbrido, su tendencia a producir semillas arrugadas y la imposibilidad de obtener grandes cantidades de nuevos híbridos trigo x centeno fértiles (a los que se llama triticales primarios, en contraste con los triticales secundarios, que son la progenie mejorada de los primarios).

Nuevas técnicas para producir triticales primarios

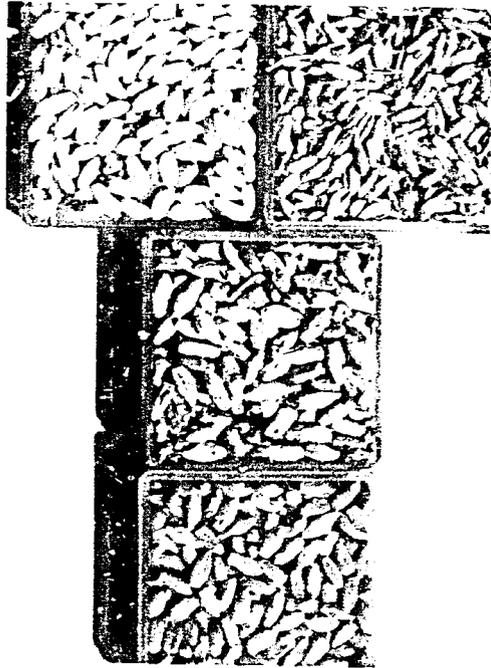
El primer adelanto en la producción de triticales fértiles se alcanzó en 1937 con el

descubrimiento de la colquicina, un alcaloide venenoso derivado de los bulbos o de las semillas del azafrán de otoño (*Colchicum autumnale*). El tratamiento con colquicina puede inducir la duplicación del número de cromosomas de las plantas y, de ese modo, se superan las barreras de la fertilidad (figura 1). Esto hizo posible la creación artificial de triticales primarios fértiles, y ya no fue necesaria la búsqueda laboriosa para detectar su aparición espontánea, poco frecuente en la naturaleza.

La segunda contribución importante a la producción de triticale se produjo en el decenio de 1940, cuando se desarrollaron las técnicas del cultivo de embriones. Se retiraban los embriones de sus endospermas anormales antes de que abortaran y se transplantaban a un medio de cultivo con nutriente. Esta técnica tiene especial importancia en la producción de triticales hexaploides (42 cromosomas) a partir de cruzamientos de trigo duro (*Triticum turgidum* var. *durum*) x centeno (*Secale cereale*). Dado el alto grado de incompatibilidad de cruzamiento, los embriones obtenidos en esos cruzamientos deben pasar inevitablemente por el cultivo de embriones y después las plántulas reciben un tratamiento con colquicina. En contraste, las semillas haploides F₁ de los cruzamientos de trigo harinero (*Triticum aestivum*) x centeno



Figura 1. El cruzamiento entre trigo duro y centeno produce triticale hexaploide; la cruce entre trigo harinero y centeno produce triticale octoploide. La progenie F₁ de ambos cruzamientos es haploide y, por tanto, no tiene la capacidad de reproducirse sexualmente. El tratamiento con colquicina duplica el número de cromosomas y hace que la planta sea autofértil.



Los cruzamientos entre el trigo duro (arriba a la izquierda) y el centeno (arriba a la derecha) producen triticales primarios (al centro), cuyas progenies mejoradas se denominan triticales secundarios (abajo).

por lo general se pueden sembrar directamente, sin efectuar el rescate de embriones, y luego se les administra el tratamiento con colchicina. En ambos casos, se necesitan numerosos cruzamientos para producir triticales primarios diploides viables, ya que, comúnmente, la producción inicial de semillas es escasa (2 a 3 semillas haploides por espiga).

A menudo la germinación de estos híbridos E_1 intergenéticos de triticales es escasa, y también es reducida la recuperación de las plántulas derivadas de embriones de duro x centeno. El tratamiento con colchicina no siempre duplica los cromosomas y con frecuencia mata las plántulas. Después de este tratamiento, la recuperación de plántulas duplicadas es comúnmente inferior al 40%. Entre 1972 y 1985, se llevaron a cabo en el CIMMYT alrededor de 2,400 y 1,700 cruzamientos para producir triticales primarios hexaploides (6X) y octoploides (8X), respectivamente. Solo se recuperaron 700 triticales hexaploides y 400 octoploides, y se obtuvieron menos del 30% de las con binaciones deseadas de trigo x centeno. Estas cifras ilustran el costo elevado y la prolongada duración del proceso de producción de nuevos triticales.

Progreso alcanzado con los triticales hexaploides
El perfeccionamiento de las técnicas del rescate de embriones y de la colchicina mejoró de gran

utilidad para las investigaciones sobre el triticales, y por primera vez fue posible producir triticales en cantidades adecuadas. En 1954, la Universidad de Manitoba, Canadá, reunió una gran colección de triticales primarios producidos por investigadores e instituciones de todo el mundo, y comenzó a realizar cruzamientos secundarios.

Ese trabajo, junto con el de Sánchez-Monge en España y de Kiss en Hungría, confirmó que los triticales hexaploides (híbridos del trigo duro tetraploide x centeno diploide, 42 cromosomas) tenían cualidades genéticas superiores a las de los octaploides (trigo harinero hexaploide x centeno, 56 cromosomas). Desde 1913, diversos fitogenetistas habían trabajado con hexaploides, pero los primeros hexaploides ofrecían una deficiente producción de semilla y los fitogenetistas se mostraban reacios a continuar dedicando esfuerzos a materiales tan poco prometedores. Sin embargo, los investigadores canadienses, húngaros y españoles creían que se podían obtener mejores triticales hexaploides y lograron un significativo progreso en convertir en realidad el potencial de los hexaploides. En 1969, en Canadá se autorizó para ser lanzado Rosner, un triticales hexaploide, en España se lanzó Cachurulu, otro hexaploide, y en Hungría se cultivaron 15,000 ha con dos variedades hexaploides para forraje.

Investigaciones sobre el triticale realizadas en el CIMMYT
Las bases del programa del triticale del CIMMYT, como las de su programa de mejoramiento de trigo, existían antes de que se fundara el Centro en 1966. En 1965, la Fundación Rockefeller otorgó un subsidio especial al Dr. N.E. Borlaug y su grupo en México, en forma conjunta con la Universidad de Manitoba, para realizar investigaciones sobre el triticale. Se pensaba que el progreso sería más rápido si se realizaban las investigaciones en un lugar en el que fuera posible contar con dos ciclos de cultivo en vez de uno, y en el que los fitogenetistas tuvieran acceso a diversos materiales de programas de desarrollo de genotipos de trigos duros y harineros, como los de México.

Después de la fundación del CIMMYT, estas investigaciones conjuntas continuaron bajo la dirección del Dr. F.I. Zillinsky (Canadá). Proporcionó fondos adicionales por medio del Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional y de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional. El programa utilizó sitios en tres zonas climáticas diferentes para cultivar y seleccionar poblaciones. En invierno, se sembró el ensayo de triticale en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO), estado de Sonora, que se encuentra a 27.5° de latitud N y a 39 metros de altura sobre el nivel del mar. Los ensayos de verano

se sembraron en el valle de Toluca, a 19.2° de latitud N y 2,640 metros de altura, y en Winnipeg, Manitoba, a 50° de latitud N y 230 metros de altura. Se duplicó así el número de generaciones cultivadas al año y se triplicó el número de ambientes.

El programa comenzó su labor con materiales que no sólo poseían desventajas inherentes, como su esterilidad y altura, sino que también carecían de la adaptación amplia que permitiera su cultivo en diferentes condiciones en todo el mundo. Los triticales para países en desarrollo que se encuentren entre los 30° de latitud N y los 30° de latitud S deben ser insensibles al fotoperiodo, como los trigos del CIMMYT; por consiguiente, uno de los primeros objetivos del programa fue lograr esta característica. Alternando generaciones entre diversas estaciones con diferentes regímenes de luz y condiciones agroclimáticas, los fitogenetistas pudieron seleccionar cepas que eran insensibles al fotoperiodo (figura 2). Ya que las enfermedades endémicas son muy distintas de un sitio a otro, mejoraron las posibilidades de aumentar la estabilidad de la resistencia a las enfermedades.

Aparición de Armadillo

Poco después de iniciar su programa, los investigadores dedicados al mejoramiento del triticale en el CIMMYT se beneficiaron con un



En el CIANO, el Dr. F.I. Zillinsky (derecha), jefe del programa de triticale del CIMMYT de 1966 a 1982, consulta con el Dr. G. Varughese, el director actual del programa.



Figura 2. La clave del éxito del germoplasma del CIMMYT es un procedimiento fitogenético denominado mejoramiento alternado que permite dos ciclos de cultivo cada año, en sitios con diferentes características agroclimáticas. Desde noviembre hasta mayo, el mejoramiento y selección se efectúan en el noroeste de México; el resto del año los materiales se seleccionan en lugares del sur de la parte central de México. Este procedimiento ayuda a generar líneas que son insensibles al fotoperíodo, se adaptan a diversas condiciones agroclimáticas y son resistentes a varias enfermedades.

suceso imprevisto: un cruzamiento espontáneo del triticale con un trigo harinero semienano mexicano desconocido, entre la progenie F₃ del cruzamiento X308. Más tarde se descubrió que en Armadillo (como se le llamó) el cromosoma 2D del trigo harinero sustituyó al cromosoma 2R del centeno. Los triticales en los que cromosomas D del trigo harinero han sustituido a cromosomas R se llaman sustituidos, y los triticales que tienen los siete cromosomas R se denominan de tipo completo.

Las buenas características agronómicas que se obtuvieron mediante este cruzamiento fortuito resultaron altamente heredables, y el grupo que trabajaba con el triticale en el CIMMYT aprovechó su buena suerte; de hecho, para 1970 la mayoría de los triticales del CIMMYT incluían Armadillo en sus genealogías. Los materiales Armadillo se distribuyeron entre los fitogenetistas de todo el mundo, quienes las utilizaron para dotar a los triticales menos prometedores de gran fertilidad, mejores pesos hectolítricos y rendimiento de grano, insensibilidad al fotoperíodo, enanismo, madurez precoz y buena calidad nutricional.

Pruebas internacionales

En 1969, el programa del triticale inició pruebas internacionales para evaluar y difundir sus selecciones de Armadillo y otro

germoplasma prometedor. El desarrollo de germoplasma de amplia adaptación y con alto rendimiento requiere sin duda la cooperación de muchos científicos de todo el mundo. El programa internacional de ensayos del triticale comprende el intercambio de materiales y datos relacionados con el mejoramiento entre investigadores universitarios e instituciones públicas de fitogenética. En la actualidad, los viveros internacionales del CIMMYT se siembran en 115 sitios de 71 países. La mayor variedad de ambientes en que se ponen a prueba los triticales, combinada con la expansión del complejo genético, ha dado como resultado una considerable mejora de la adaptación, como lo manifiestan los resultados del 14° ITYN en los lugares de prueba en todo el mundo (figuras 3 y 4).

Desarrollo del potencial de rendimiento

En sus primeros ensayos en México, el rendimiento de los triticales no llegó ni siquiera a la mitad del rendimiento del trigo con mejor adaptación local. En 1969-70, a pesar de las muchas ventajas aportadas por los genes de Armadillo, el rendimiento del triticale aún no podía competir con el de las mejores variedades comerciales de trigo erano en México. Por ejemplo, en el Vivero Internacional de Rendimiento del Triticale (ITYN) de 1969-70, realizado en el CIANO, las

Calidad nutritiva del triticale

La calidad nutritiva del triticale es semejante a la del trigo y, en algunos aspectos, llega a superarlo. En particular, el mayor contenido de lisina del triticale, su mejor digestibilidad proteínica y el balance de minerales lo hacen especialmente adecuado para reemplazar o complementar a otros cereales en la alimentación humana o animal.

Como en otros cereales, el principal aminoácido limitante en el triticale es la lisina. No obstante, el triticale tiene un contenido de lisina generalmente superior al del trigo y un mejor balance de aminoácidos esenciales. Se hicieron experimentos con ratas para evaluar la digestibilidad de las proteínas del grano de triticale y se encontró que era similar a la del trigo y superior a la del centeno. Además, el contenido de fósforo del triticale es más alto que el de cualquiera de sus especies progenitoras (4.5 g/kg de materia seca, en comparación con 3.8 g/kg del trigo y 4.1 g/kg del centeno) y esto lo convierte en un elemento conveniente en la alimentación de cerdos y gallinas, animales cuyas necesidades de fósforo son considerables.

Numerosos estudios alimentarios han informado que el triticale iguala o a veces supera al trigo cuando se utiliza como componente del alimento animal; por otra parte, el grano es muy prometedor como sustituto del trigo, maíz, sorgo, cebada y centeno.

Cuando se utiliza como cultivo forrajero, se ha encontrado que el triticale tiene un potencial de forraje y contenido proteínico superiores a los de la avena, y rendimientos de ensilaje y forraje más altos que los del trigo, centeno, avena y cebada. Se ha informado que la pastura de triticale dura más que la del centeno; pruebas de pastoreo con novillos años señalaron aumentos diarios medios en peso equivalentes a 0.72 kg en animales alimentados con triticale, en comparación con 0.69 kg en los que comían trigo y 0.59 kg en los alimentados con centeno.

En algunos estudios alimentarios en los que el triticale fue el cereal básico en la dieta animal, se ha informado que el grano no produjo respuestas congruentes con su contribución de nutrientes. Estos resultados indican la presencia de factores antinutritivos, presumiblemente heredados de los centenos progenitores, e implican además que es necesario proceder con cautela cuando se usa el triticale en raciones forrajeras. Sin embargo, muchas de las discrepancias en los resultados pueden atribuirse a la gran variación genética de las muestras que se utilizaron. No obstante, las calidades nutritivas del triticale son tales que, combinadas con sus diversos usos y capacidad de desarrollarse en ambientes difíciles, hacen de este cereal una atractiva opción para los productores de todo el mundo.



Los estudios alimentarios han confirmado repetidamente el valor del triticale como alimento humano y animal.



El triticale Armadillo (derecha) posee tres características de gran valor para el programa de mejoramiento: fertilidad elevada, insensibilidad al fotoperiodo y altura corta. Dos ventajas adicionales de Armadillo, en comparación con un triticale primario (izquierda), son la madurez precoz y la floración sincrónica.

10 mejores selecciones de Armadillo tuvieron un rendimiento medio equivalente al 83% del rendimiento medio del trigo.

Una forma empleada por los fitogenetistas del CIMMYT para aumentar el rendimiento del triticale consistió en disminuir la altura de la planta y aumentar la fortaleza de la paja, lo que permite una aplicación más intensa de fertilizante de nitrógeno sin inducir el acame. Los primeros intentos de reducir la altura del triticale incorporando genes del enanismo mediante el empleo de UM940, una línea canadiense baja y robusta, y triticales enanos de Hungría se vieron frustrados por la imposibilidad de mantener la fertilidad entre las selecciones enanas. Otra estrategia, que incluía el cruzamiento de cepas de Armadillo con triticales de paja rígida, produjo sólo un incremento moderado de la resistencia al acame. La tercer estrategia consistió en efectuar cruzamientos con un centeno enano llamado Snoopy, que al principio aportó también características agronómicas deficientes. Si bien la progenie de centenos enanos como Snoopy finalmente figuró en la genealogía de los triticales enanos, esto ocurrió sólo después del éxito logrado con el método utilizado por el CIMMYT para disminuir la altura del triticale, que se describe a continuación.

Dicho método consistió en obtener hexaploides enanos mediante cruzamientos de triticale

hexaploide x trigo harinero semienano y triticale octoploide (basado en trigos harineros mexicanos enanos de alto rendimiento) x triticale hexaploide. Anteriormente se había cruzado la variedad INIA 66 de trigo harinero con dos diferentes centenos de primavera y de esos cruzamientos se seleccionaron dos importantes líneas de triticale octoploide llamadas Maya 1 y Maya 2. Estas dos líneas desempeñaron un papel fundamental en reducir la altura del triticale, así como en aumentar el rendimiento, la adaptación y el peso hectolítrico. Por ejemplo, en todo el mundo se han lanzado más de 15 variedades de triticale provenientes del cruzamiento de Maya 2 x Armadillo. Es probable que la línea Mapache o Cananea sea la mejor de esta serie. En 1975, los triticales más prometedores ya tenían buena resistencia al acame y la altura media del cultivo se había reducido notablemente. Los ensayos de rendimiento demostraron que el triticale podía tolerar cantidades mayores de nitrógeno sin que se produjera el acame.

Las cepas del Maya 2 x Armadillo (M_{2A}), con genes adicionales de enanismo, aparecieron por primera vez en ensayos repetidos en 1972-73. Mientras que el rendimiento del mejor trigo testigo se mantenía estable en 8,000 a 9,000 kg/ha, las mejores cepas de triticale habían aumentado su productividad aproximadamente un 15% y llegaban a 8,000

kg/ha; el mejor triticale produjo 2,352 kg/ha. Por primera vez se había superado la diferencia en rendimiento entre los mejores trigos y triticales en México. En la figura 3 se muestra el aumento continuo del rendimiento del triticale, en comparación con el de las variedades de trigo harinero incluidas en el ITYN. Para 1984-85, los resultados del 16° ITYN señalaron que algunos triticales daban resultados comparables a los de los trigos en todos los ambientes y eran evidentemente superiores en ciertas condiciones adversas.

Selección para obtener una adaptación amplia. Paralelamente a los esfuerzos del programa del triticale por aumentar el rendimiento, se intentó lograr una adaptación más amplia y, de este modo, obtener triticales con buen desempeño en diferentes condiciones agroclimáticas. Si bien en teoría la constitución genómica del triticale proporciona un potencial intrínseco de adaptación a una gama más amplia de condiciones que la correspondiente al trigo, la falta de variabilidad genética de los primeros triticales, incluidas las líneas Armadillo, les confirió a estos triticales una capacidad de adaptación muy limitada en comparación con la de los trigos semienanos mexicanos. Con la expansión de la base de germoplasma y el empleo de trigos semienanos como elementos básicos, los triticales muestran una adaptabilidad mayor y un potencial de rendimiento elevado y estable.

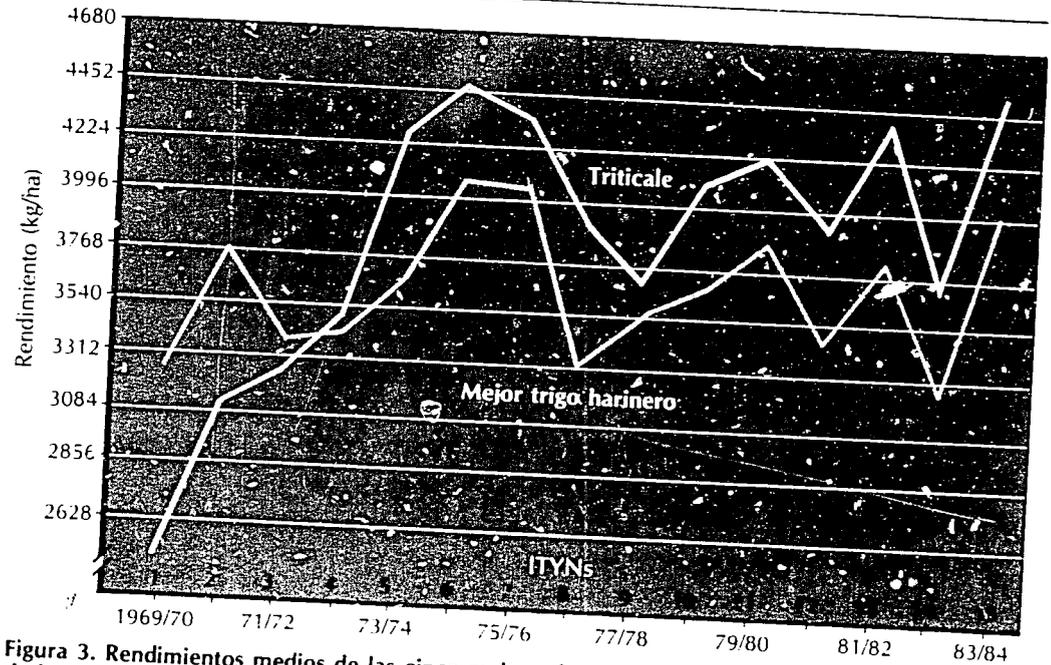
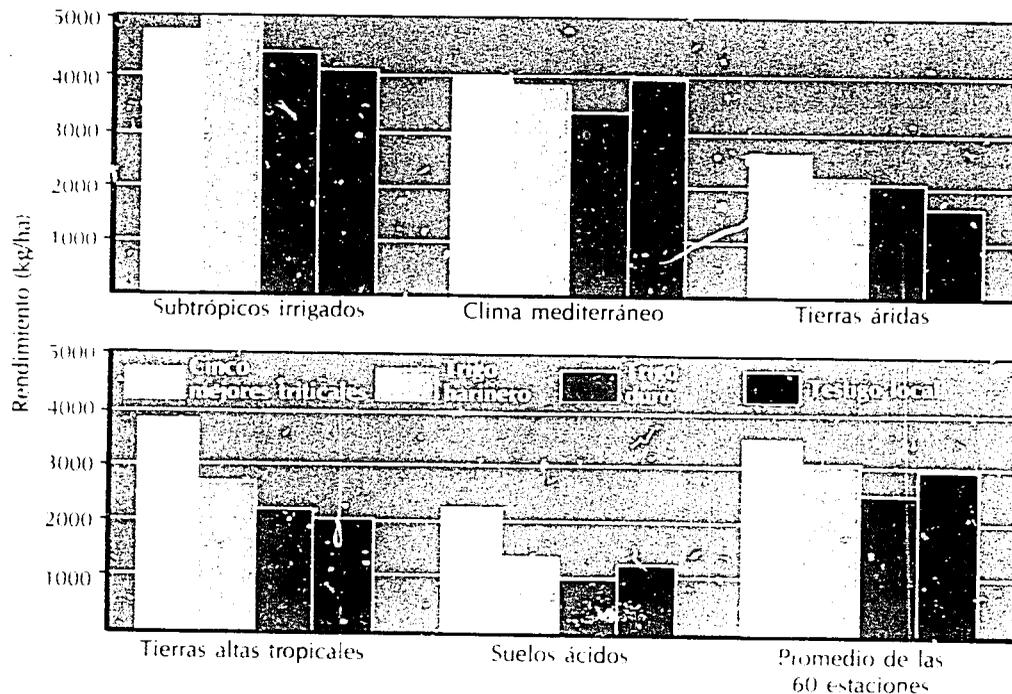


Figura 3. Rendimientos medios de las cinco mejores líneas de triticale en comparación con los de los mejores trigos harineros en los Ensayos Internacionales de Rendimiento de Triticale (ITYN); promedios de todas las localidades, 1969-70 a 1983-84.



En la figura 4 se clasifican los resultados del 14° ITYN (1982-83) en grupos que representan diversos climas y/o condiciones específicas. En los ambientes de la región mediterránea muy húmedos y en ambientes subtropicales irrigados, los triticales tuvieron buenos rendimientos, pero no fueron superiores a la variedad Genaro 81 de trigo harinero. El promedio de rendimiento de los cinco mejores triticales muestra una clara ventaja sobre el trigo harinero y los testigos locales en zonas de suelos ácidos y en tierras tropicales altas. Al parecer, también ofrecen cierta ventaja en condiciones de escasa precipitación, pero la diferencia no es tan grande. Es preciso interpretar con cautela estos resultados porque tanto el trigo harinero como el duro tienden a tener un desempeño deficiente en los viveros del triticale.

La resistencia del triticale a enfermedades tales como la roya y los carbonos ha constituido otra ventaja, sobre todo en zonas elevadas. Su mayor resistencia a *Septoria tritici* es muy conveniente en zonas como la enfermedad reduce el rendimiento (por ejemplo, en Brasil, Argentina, Etiopía y la región del Mediterráneo).

Figura 4. Los rendimientos relativos del triticale en distintas condiciones agroclimáticas en comparación con el promedio de las 60 estaciones que participaron y con las variedades que han sido testigos desde hace mucho tiempo. (Con base en los datos del 14° ITYN, 1982-1983.)

Además, en ambientes marginales, los triticales completos (los que poseen los siete cromosomas del centeno) muestran por lo general un desempeño superior al de los triticales sustituidos, en los que uno o más cromosomas del trigo han sustituido a cromosomas del centeno (figura 5). Esta observación provocó que el programa del triticale del CIMMYT hiciera más hincapié en los triticales completos, que en la actualidad reciben mayor atención que los tipos sustituidos.

Ambientes de suelo ácido y zonas tropicales altas. Las zonas tropicales altas requieren triticales que sean resistentes a la germinación en la espiga y a numerosas enfermedades, y que además presenten mejores pesos hectolítricos. El centeno tiene una gran tolerancia intrínseca a los suelos ácidos y esta característica probablemente sea la causa del mejor desempeño general del triticale en ambientes de suelos ácidos. Por ejemplo, en 1983 se compararon 10 de los mejores triticales del CIMMYT con las 10 líneas de trigo harinero más tolerantes al suelo ácido, y el rendimiento de los triticales menos productivos fue superior al del mejor trigo harinero. En zonas de suelo ácido y tierras altas, el triticale es muy prometedor y su

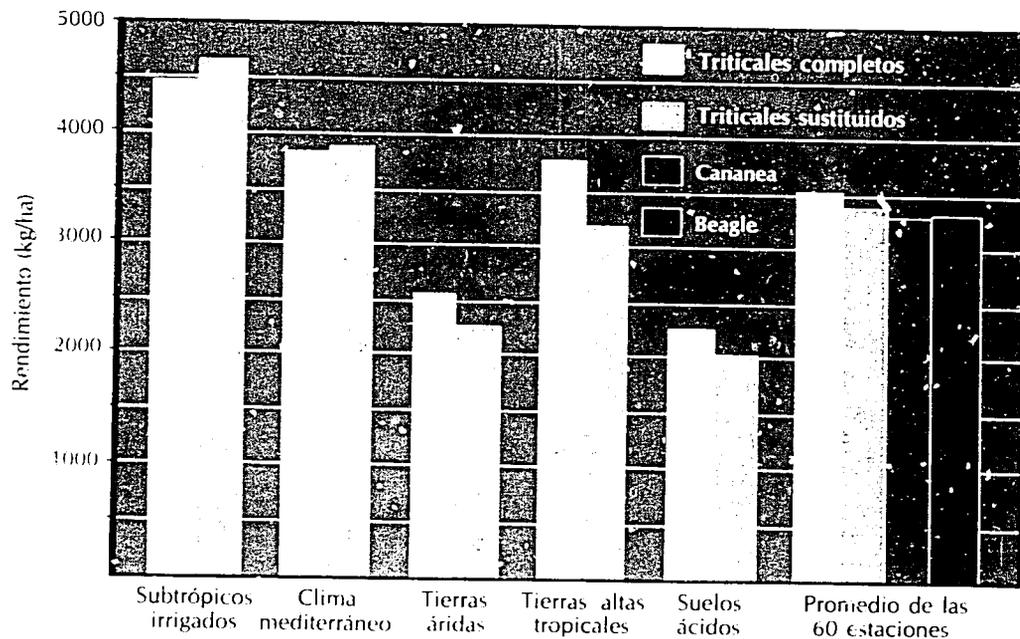


Figura 5. Rendimiento relativo de los cinco mejores triticales completos y sustituidos en diversas condiciones agroclimáticas en comparación con el promedio de las 60 estaciones que participaron y con las variedades testigo Cananea y Beagle. (Con base en los datos del 140 ITYN, 1982-1983.)



En Brasil, se compara el desempeño del triticale (al fondo) y del trigo (adelante) en suelos ácidos (derecha) y calcáreos (izquierda); es evidente la ventaja del triticale sobre el trigo en suelos ácidos.

cultivo aumenta con rapidez entre los agricultores del estado de Michoacán en México (la variedad Eronga 83) y de Rio Grande do Sul en Brasil (variedades recién lanzadas como BR-1, Batovi, Araucaria, Ocepar 1 y Ocepar 2).

La estrategia de mejoramiento para generar materiales adecuados para zonas tropicales altas y suelos ácidos comienza con la selección de progenitores con adaptación a suelos ácidos y escasa actividad de la alfa-amilasa o resistencia a la germinación en la espiga. Esas líneas progenitoras, como Hare 212, Stier y Tatu (todas con escasa actividad de la alfa-amilasa), se utilizan para efectuar cruzamientos. Estas generaciones se alternan entre Toluca y el CIANO, y también se evalúan durante una o más generaciones en un ambiente con suelo ácido para eliminar los materiales no adaptados. Antes de someterlo a los ensayos internacionales, el material de la generación más avanzada se selecciona una vez más en Brasil y luego se vuelve a evaluar en condiciones de suelo ácido en México.

Ambientes de tierras áridas. Una preocupación fundamental al crear germoplasma para regiones afectadas por la sequía es mantener un rendimiento y peso hectolítico aceptables. Muchas líneas avanzadas, como Rhino y

Carman.Yogui, en el presente muestran excelentes pesos hectolíticos y potencial de rendimiento en condiciones de sequía en México. El reto ahora consiste en continuar mejorando estas características, al mismo tiempo que se amplía la diversidad genética de las líneas tolerantes a la sequía.

Se cruzan entre sí variedades y líneas con un probado potencial de tolerancia a la sequía para incrementar esta característica. Las poblaciones segregantes que resultan se someten a selección en ambientes adversos por lo menos durante tres generaciones. En cada etapa, se eliminan las poblaciones no adaptadas de acuerdo con su rendimiento y peso hectolítico. A continuación, las poblaciones que sobreviven se siembran en ambientes con condiciones óptimas para identificar las plantas que tienen mayor potencial genético de rendimiento.

Un cambio de énfasis. El desempeño del triticale en ambientes de producción difíciles impulsó al programa a modificar gradualmente su enfoque y, en lugar de continuar con la creación de triticales para zonas trigueras muy productivas, ahora hace hincapié en el mejoramiento de triticales para ambientes adversos donde este último cultivo

complementa la producción de trigo. No obstante, el programa del triticale dedica algunos de sus recursos a mejorar el cultivo para ambientes de producción óptimos en los que pueden ser necesarias alternativas para el trigo duro o harinero.

Resistencia a las enfermedades

Al comienzo no parecía que las enfermedades limitaran mucho el rendimiento del triticale, probablemente porque la cantidad de triticales cultivada no era suficiente para ocasionar epifitias graves. A medida que se extiende la superficie cultivada con triticale, la situación cambia. Desde 1971, el CIMMYT ha vigilado las enfermedades que afectan al triticale en México y en el mundo entero.

Al parecer, la roya de la hoja (*Puccinia recondita*) es la enfermedad más frecuente y variable del triticale en México y en todo el mundo. Periódicamente surgen nuevas cepas patógenas que infectan algunas líneas y variedades del triticale.

La roya del tallo (*Puccinia graminis* s. sp. *tritici*) no representaba un problema para el triticale hasta hace poco, cuando en Australia el patógeno mutó lo suficiente como para atacar al triticale. Los científicos australianos han avanzado significativamente hacia la superación

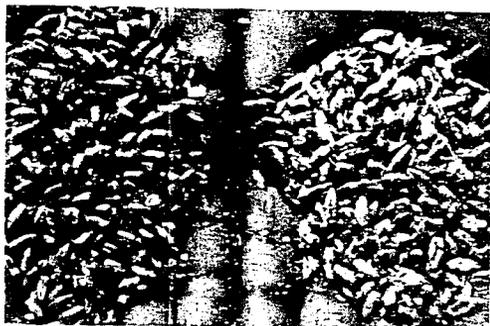
del problema mediante la identificación de varios genes adicionales que confieren la resistencia y que en el presente son aprovechados por diversos programas de mejoramiento, incluidos los del CIMMYT.

La roya lineal (*Puccinia striiformis*) causó inicialmente infecciones graves en algunos de los primeros triticales, pero desde entonces se ha logrado obtener altos grados de resistencia. Sin embargo, en las zonas altas de África oriental la roya lineal al parecer provocará una situación semejante a la creada por la roya del tallo en Australia. El CIMMYT confía en que sus colaboradores proporcionarán información y evaluarán el germoplasma para seleccionar resistencia a enfermedades que, como la roya lineal en triticale, no existen en México.

Mediante la creación de epifitias artificiales en cada ciclo de mejoramiento, a partir de las razas de roya que existen en México, los fitogenetistas pueden producir un flujo continuo de germoplasma resistente a la roya en un esfuerzo por adelantarse a la evolución de los agentes patógenos. Las líneas y variedades que los colaboradores señalan como resistentes a agentes patógenos y cepas que no existen en México se incluyen en el programa de cruzamientos con el fin de generar germoplasma que en potencia también es resistente a estas cepas.



La importancia de la roya del tallo (foto) y otras enfermedades que afectan al triticale incrementa a medida que la superficie sembrada con este cultivo aumenta.



Se ha avanzado mucho en mejorar la calidad de la semilla del triticale. La cubierta arrugada, hendida profunda y falta de brillo de los primeros triticales (derecha) obstaculizaron su aceptación; sin embargo, desde entonces algunas líneas mejoradas con semilla llena de peso hectolítrico elevado (izquierda) han sido identificadas.

El ergot (*Claviceps purpurea*), una enfermedad grave de los primeros triticales estériles, ya no constituye un problema porque se ha mejorado la fertilidad de las florecillas. Los grados de infección son parecidos a los que se observan en el trigo harinero. El triticale muestra resistencia al carbón parcial (*Tilletia indica*), una enfermedad menor transmitida por la semilla que afecta a los trigos harineros en México, así como a otros carbonos. Sin embargo, los triticales aún carecen de resistencia adecuada a ciertas enfermedades importantes, incluidas la roña y el moho blanco (causados por especies de *Fusarium*), el tizón foliar (*Helmintosporium sativum*), el rayado bacteriano (*Xanthomonas translucens*) y algunas pudriciones de la raíz y tizones de las plántulas. El mejoramiento para obtener resistencia a estas enfermedades, en especial la roña y el tizón foliar, es parte fundamental del programa de triticale del CIMMYT. Se incorporan nuevas fuentes de resistencia a las enfermedades mediante cruzamientos interespecíficos con el trigo harinero y la producción de nuevos triticales primarios. Por ejemplo, se cruzan triticales con trigos harineros resistentes a la roña provenientes de China, entre los que se encuentran las líneas Shanghai, Suzhou y Wuhan, que se utilizan también para producir nuevos triticales octoploides primarios.

Tipo de semilla y peso hectolítrico

Uno de los problemas más importantes que aún no se resuelven en la labor con el triticale es la formación anormal del endosperma. En contraste con la típica semilla lisa y llena del trigo, la semilla madura del triticale a menudo tiene una cubierta rugosa, un pliegue profundo y carece de brillo. Esta semilla malformada constituye un medio inadecuado para el embrión y provoca una baja tasa de germinación. Como resultado, el grano de triticale es poco atractivo para muchos agricultores y consumidores.

Las semillas arrugadas se traducen en pesos hectolítricos bajos (peso por volumen unitario). Los mejores trigos harineros tienen pesos hectolítricos superiores a los 80 kg/hl, pero los pesos hectolítricos de los primeros triticales fluctuaban entre 58 y 71 kg/hl. Las cepas de Armadillo contribuyeron a aumentar el peso hectolítrico y en el programa de mejoramiento se utilizaron ampliamente selecciones del cruzamiento INIA 66/Armadillo (X1648), llamado Camel, Camel y Panda, un cruzamiento de Camel, se convirtieron en las fuentes principales para mejorar el peso hectolítrico del germoplasma de triticale del CIMMYT. El progreso fue lento pero continuo y, en la actualidad, los pesos hectolítricos superiores a 78 kg/hl son más frecuentes que antes en condiciones de producción favorables (figura 6). Las líneas Yogui, Zebra, Rhino,

Dingo y las derivadas de estas líneas como Carman/Yogui, son buenos ejemplos de triticales con semillas llenas de alto peso hectolítrico.

Si bien el peso hectolítrico tiende a disminuir en condiciones adversas, algunas líneas prometedoras de triticales (por ejemplo, Rhino y Buffalo) tienen pesos hectolítricos aceptables en los suelos ácidos de las zonas tropicales altas y en ambientes afectados por la sequía. Estas líneas también mantienen excelentes pesos hectolítricos en ambientes óptimos de producción. No obstante, se continúa la selección rigurosa para mejorar el peso hectolítrico, en particular en triticales que se cultivan en condiciones desfavorables.

Resistencia a la germinación en la espiga
La semilla del triticales a menudo contiene concentraciones elevadas de alfa-amilasa, que se relacionan con la germinación prematura en la espiga. A medida que aumenta la germinación, es mayor la actividad de la alfa-amilasa; de igual forma, cuando es reducida la germinación, la actividad de la alfa-amilasa es escasa. La germinación prematura, sumada a la incapacidad del cultivo de mantener semillas lisas y de buena calidad después de ser expuestas a la lluvia, reduce la producción de semillas y la calidad de molienda y panificación del grano. Este problema es

particularmente persistente en las zonas tropicales altas, donde el triticales suele madurar durante períodos de precipitación intensa.

Los científicos del CIMMYT han utilizado dos métodos para obtener resistencia a la germinación prematura y un buen tipo de semilla. En el primero, se siembran en Toluca cepas de triticales y poblaciones segregantes en enero para que la maduración coincida con la precipitación máxima en junio y julio. Este procedimiento facilita la selección natural y permite detectar resistencia a la germinación y la capacidad de producir semillas lisas. Se convertirá en un método habitual del programa de mejoramiento, usado para obtener materiales para zonas tropicales altas y suelos ácidos. Con el segundo método, se llevan a cabo pruebas de laboratorio para determinar el grado de actividad de la alfa-amilasa. Estos datos se usan para eliminar las líneas con elevada actividad de la alfa-amilasa que, por lo tanto, tienen una resistencia inadecuada a la germinación. En la actualidad, líneas como la Otter, Anoas y Llamas/F3 Spv/Bgl muestran escasa actividad de la alfa-amilasa.

Ampliación de la base de germoplasma
El complejo germoplásmico de triticales del CIMMYT contiene muchos genes para cada uno de los objetivos del mejoramiento antes descritos: rendimiento alto y estable, adaptación amplia, resistencia a las enfermedades, buen tipo de semilla y escasa

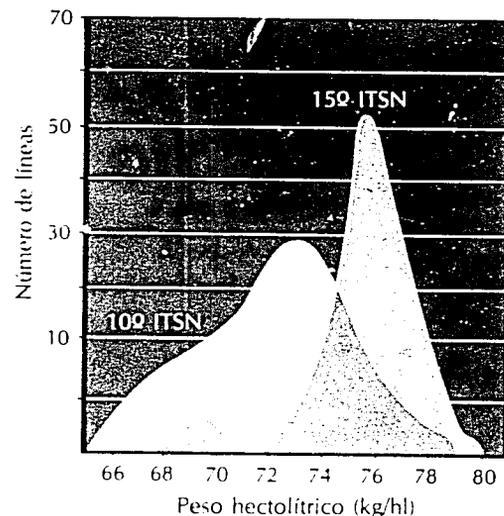


Figura 6. Avance en el mejoramiento de los pesos hectolítricos de líneas avanzadas de triticales en la estación experimental CIANO en el 10º (1978-79) y 15º (1983-84) Vivero Internacional de Selección de Triticales (ITSN).

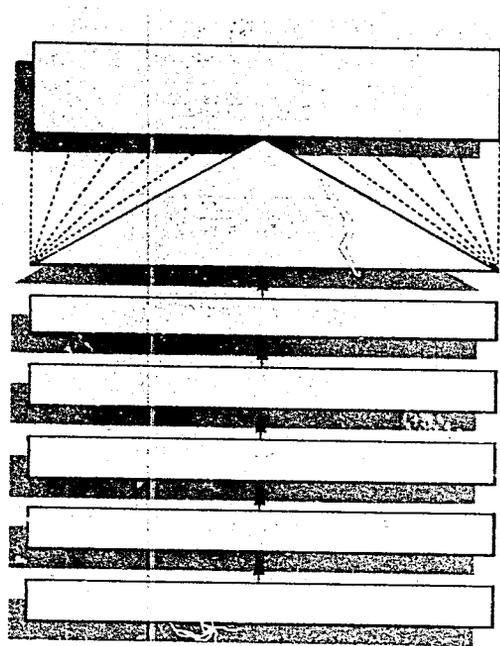


Figura 7. La variabilidad genética de los triticales del CIMMYT se mejora mediante nuevo triticales primarios, cruzamientos interespecíficos, cruza- mientos entre triticales de primavera y de invierno, germoplasma proveniente de otros programas y germoplasma de centeno de primavera mejorado.

actividad de la alfaamilasa. Sin embargo, estos genes convenientes proceden de relativamente pocas fuentes y la variabilidad genética general para obtener una característica determinada es un tanto limitada. Por esta razón, la primera prioridad del programa consiste en aumentar la variabilidad genética del germoplasma del triticales (Figura 7).

El centeno de primavera no ha pasado por la selección natural tan necesario y ventajoso para producir genes genéticamente tan diversos como sus parientes. Debido a que solo unos pocos de los progenitores poseían las características necesarias para solucionar los problemas básicos que limitaban la producción de triticales, se usaron ampliamente y esto condujo a reducida diversidad genética del triticales. Por ejemplo, en 1964, alrededor del 70% de las líneas utilizadas en el mejoramiento en el CIMMYT, ya determinadas, incluían a ancestros con una genealogía:

centeno de primavera de aumento de la diversidad genética por triticales híbridos nuevos primarios. En 1984, el programa del CIMMYT anunció un proyecto especial para mejorar la producción y el mejoramiento de triticales primarios. El objetivo de este trabajo es la creación de triticales primarios a partir de progenitores apropiados y características especiales para adaptarse a ambientes especiales y a resistencia a las

enfermedades. Se generan nuevos métodos para producir triticales primarios perfeccionando procedimientos como el tratamiento con colchicina, e intentando producir células, los embriones individuales mediante el cultivo de tejidos con el fin de generar mayores cantidades de plántulas nupéidos en cada cruzamiento.

A mismo tiempo, el CIMMYT reunió germoplasma de centeno de primavera proveniente de todo el mundo, para ampliar la influencia de este progenitor del triticales, a que los fitogenetistas no dedicaron mucha atención en el pasado. Se ha iniciado un pequeño programa de mejoramiento del centeno de primavera para apoyar los esfuerzos de mejoramiento del triticales.

Se han utilizado diversos métodos para aumentar la variación genética de los materiales secundarios de mejoramiento del CIMMYT. Se han realizado cruces de cruzamientos entre triticales — apañados con diferentes genealogías. También se han producido muchos híbridos interespecíficos de triticales y trigos barreros. Finalmente, los triticales del CIMMYT, todos de primavera, se cruzan con triticales de invierno. Las investigaciones conjuntas y el intercambio de germoplasma con fitogenetistas especializados en triticales de invierno de Polonia, Canadá

Productos derivados del triticale

Como el triticale se parece más al trigo que al centeno en cuanto a tamaño, forma y composición química del grano, sus características de calidad alimenticia se comparan más a menudo con las del trigo. El programa de triticale del CIMMYT se ha concentrado en desarrollar el cultivo como alimento para el hombre; el laboratorio de calidad de granos del Centro efectúa investigaciones sobre productos alimenticios obtenidos a partir del triticale y sobre la calidad industrial del grano.

Cuando los laboratorios de calidad comenzaron a evaluar el grano del triticale, resultó evidente que la harina de triticale difiere de la de trigo en cuanto a sus características de panificación. Los triticales son adecuados para fabricar productos en los que se utiliza trigo suave, incluidas galletas, pasteles, panqueques, fideos y tortillas de harina. En la actualidad, muchas líneas de triticale tienen gluten débil y, por lo tanto, no son apropiadas para elaborar pan leudado, a menos que la harina de triticale se mezcle en una proporción no mayor del 30%

con una buena harina de trigo para panificación. Además el triticale se puede utilizar para hacer pan integral semejante al que se consume en muchas zonas rurales del mundo en desarrollo.

Como sucede con los trigos harineros, cuyo potencial genético de calidad varía, se han encontrado en el triticale diferencias genéticas respecto a las características de calidad. Algunas líneas de triticale son mejores que otras para preparar ciertos productos y, a medida que se han obtenido nuevas líneas, han cambiado las características de molienda y panificación de los triticales del CIMMYT. Los triticales que se produjeron a comienzos del decenio de 1970 tenían propiedades de molienda y panificación algo deficientes a causa de sus característicos granos arrugados, escasa cantidad y calidad de gluten y altos grados de actividad de la alfa-amilasa. El mejoramiento del llenado del grano, que siempre constituyó una prioridad para los especialistas en triticale del CIMMYT, ha dado por resultado la obtención de numerosos triticales nuevos con mejor tipo de grano y con características de molienda similares a las del trigo harinero.



En el laboratorio de calidad de semilla del CIMMYT, se evalúan las propiedades de molienda y panificación del grano de triticale.

El triticale en Polonia

En Polonia, donde está muy difundido el uso del centeno como forraje y para elaborar pan, se cultiva centeno de invierno en alrededor de cinco millones de hectáreas con suelos ácidos y arenosos. Sin embargo, el grano de centeno



En Szelejewo, Polonia, el Dr. T. Wolski (izq.), Director Científico de los Fitogenetistas de Poznan, examina los ensayos en los campos con el Dr. G. Varughese. La variedad polaca Lasko, lanzada en 1982, es el triticale que más se cultiva en el mundo hoy día.

contiene elementos antinutritivos y no se puede usar como componente principal en las mezclas de cereales forrajeros. La industria panificadora no puede utilizar el centeno combinado en altas proporciones con el trigo sin reducir la calidad. El triticale puede utilizarse como componente del forraje y se combina mejor con el trigo en la elaboración de pan. Estas características, aunadas a la capacidad de adaptación del triticale a los suelos ácidos y arenosos, convierten a este cereal en una excelente alternativa para el centeno en Polonia.

A mediados del decenio de 1960, los Fitogenetistas de Poznan, dirigidos por el Dr. R. Wolski, comenzaron un programa intensivo de mejoramiento del triticale. Sus esfuerzos dieron por resultado el registro de la primera variedad polaca del triticale de invierno, llamada "Lasko", en 1982 y el posterior lanzamiento de muchas otras variedades (véanse los apéndices 1 y 2). El Instituto de Fitogenética y Aclimatación (IHAR) también participa activamente en las investigaciones sobre el triticale. En la actualidad, Polonia cultiva cerca de 250.000 ha de triticale y para 1990 proyecta contar con más de un millón de hectáreas dedicadas a ese cultivo. Los triticales polacos se siembran hoy en muchos países europeos y en otras regiones donde se siembran cultivos de invierno.

Estados Unidos, Suecia, Francia, Gran Bretaña, Alemania, Hungría y otros países, proporcionan nuevas fuentes de diversidad genética. Los cruzamientos entre triticales de invierno y de primavera hacen posible incorporar el genotipo de centenos de invierno mejorados.

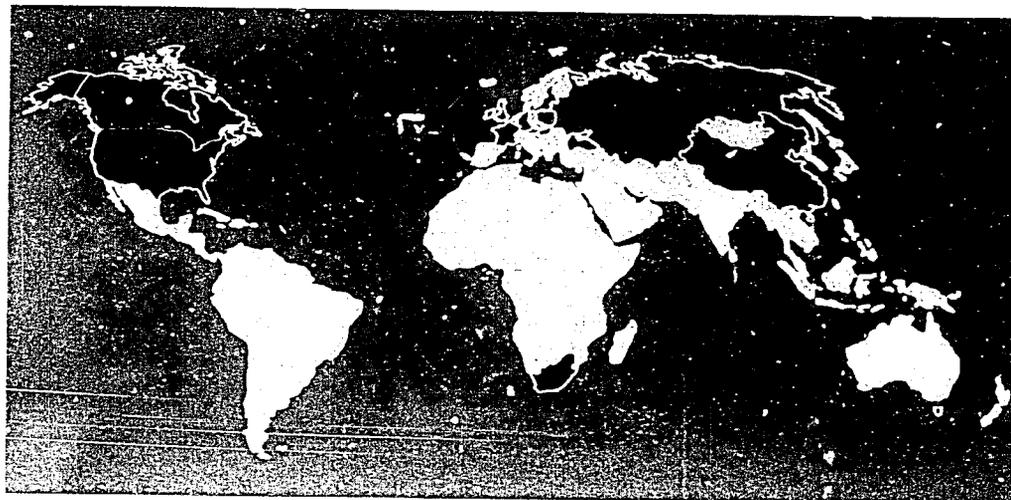
El potencial mundial y futuro del triticale. El desarrollo del triticale como cultivo comercial es un gran logro de la fitogenética, en especial cuando se considera el período relativamente breve en que se ha dedicado a mejoramiento del cultivo (apéndice 3). Este logro se ha obtenido gracias a la aplicación concentrada de las investigaciones y a la cooperación de los fitogenetistas de todo el mundo. Se ha superado el problema de los malos rendimientos. El rendimiento del triticale se aproxima ahora a los del trigo y es comparable en zonas donde son tradicionales estos cultivos y supera el rendimiento del trigo en zonas de producción marginales. El perfeccionamiento de técnicas hasta ahora poco adelantadas de la fitogenética ofrece nuevas oportunidades de explotar aún más las especies progenitoras en el mejoramiento del triticale.

En la actualidad, el triticale se siembra en más de 2 millones de hectáreas en todo el mundo. El triticale se espera que sea superior en

cultivada aumente significativamente en el próximo decenio, a medida que se conozca la utilidad del cultivo y se expandan los mercados.

Los incrementos futuros en la producción de alimentos dependerán en gran medida de la capacidad de los agricultores de producir cultivos en ambientes marginales y/o adversos. El excelente desempeño del triticale ofrece la posibilidad de mejorar la productividad de los recursos asignados a la producción de alimentos en lugares donde estos aumentos pueden ser vitales. El cultivo que una vez fue una rareza botánica es ahora una realidad comercial, y puede convertirse en un factor cada vez más importante en mejorar el bienestar rural en los ambientes de producción agrícola más difíciles del mundo.

Reconocimientos: Los autores agradecen la colaboración de Javier Peña en la sección de "Productos derivados del triticale" de esta publicación. Asimismo desean expresar su agradecimiento al personal de los Servicios de Información por sus esfuerzos: Kelly Cassaday (edición en inglés); Alma McNab (edición en español); Miguel Mellado E., Rafael de la Colina F., José Manuel Fouilloux B. y Bertha Regalado M. (diseño y formación); y Silvia Bistrain R. y Maricela A. de Ramos (tipografía).



Zonas productoras de triticale de primavera



Zonas productoras de triticale de invierno



Zonas productoras de triticale de primavera y de invierno

Figura 8. Triticales de invierno, de primavera, o de invierno y primavera se siembran en parte de las zonas que se muestran arriba en un total de más de 1,000,000 ha. (Véase en el cuadro 1 la superficie que se cultiva con triticale en cada país.)

Bibliografía

CIMMYT. 1985. Triticale—un cultivo para ambientes marginales. *In* : Reseña de la investigación. CIMMYT, México, D.F. Pp. 72-80.

Darvey, N.L. (ed.). 1986. Proceedings of the International Triticale Symposium, Sydney, 1986. Australian Institute of Agricultural Science Occasional Paper No. 24.

Gupta, P.K. y P.M. Priyadarshan. 1982. Triticale: present status and future prospects. *Advances in Genetics* 21:255-345.

Gustafson, J.P. 1983. Cytogenetics of triticales. *In*: Cytogenetics of Crop Plants, M.S. Swaminathan, P.K. Gupta y U. Sinha (eds.). Nueva York, Macmillan. Pp. 225-250.

Müntzing, A. 1979. Triticale: results and problems. *Advances in Plant Breeding*, Suplemento No. 10 al Zeitschrift für Pflanzenzüchtung.

Skovmand, B., P.N. Fox y R.I. Villareal. 1984. Triticale in commercial agriculture: progress and promise. *Advances in Agronomy* 37:1-45.

Zillinsky, F.J. 1974. The development of triticales. *Advances in Agronomy* 26:315-349.

Zillinsky, F.J. 1985. Triticale: an update on yield, adaptation, and world production. *In*: Triticale, CSSA Special Publication No. 9. Madison, Wisconsin, EUA, Crop Science Society of America. Pp. 1-7.

Cuadro 1. (continúa)

País*	Hábito de crecimiento	Superficie (ha)
Italia ¹	P	15,000
Luxemburgo ¹	I	400
México ¹	P	8,000
Países Bajos ²	I	1,000
Polonia ¹	I	100,000
Portugal ²	P	7,000
Reino Unido ³	I	16,000
República Federal de Alemania ³	I	30,000
Sudáfrica ¹	I + P	15,000
Suiza ²	I	5,000
Tanzania ²	P	400
Túnez ²	P	5,000
URSS ¹	I	250,000
Total		1,075,800

Apéndice 1

Variedades de triticale de primavera que ya ha sido lanzadas.¹

Nombre	Abreviatura	KT	Genealogía	No. de cruce y selección	Año	País
ALAMOS 83	ALM	S	CHIVA"S"	X-24551-8Y-3M-1Y-0M	1983	México
ARABIAN	ABN	S	M2A	X-2802-38N-5M-6N-6M-0Y	1981	Portugal
ARMADILLO	ARM	S	TCL DUR "GHIZA"/TCL DUR "CRLT"/3/TCL PERS/ TCLDUR/TCL DIC/TCL PERS OUTCROSSED TO BW	X-308	1979	Portugal
ASCRET	ASCRET	S	M2A	X-2802	1982	España
BACUM	BCM	S	M2A	X-2832-24N-3M-7N-4M-0Y	1981	Portugal
BADIEL	BADIEL				1981	España
BEAGLE	BGL	C	UM"S"/TCL BULK	X-1530-A-12M-5N-1M-0Y	1981	Portugal
BEAGLE 82	BEAGLE 82	C	BGL"S"	X-1530	1982	EUA
BORBA-1	BORBA-1	C	BOK	X-15673-A-1Y-2Y-1M-0Y	1984	Portugal
BR-1	BR-1	S	PANDA"S" = PFT 766	X-8386-D-2Y-0M-101Y-101B- 107Y-0Y	1984	Brasil
CABORCA 79	BURA	S	M2A/IRA	X-8417-A-1Y-7M-3Y-0Y	1979	México
CACHURULU					1969	España
CALBUCO-INIA			DRIPA/INIA/ARM/3/M2A	TT.210-1T-T-9T	1984	Chile
CANANEA 79	CAN	S	M2A = MAPACHE	X-2802-F-12M-1N-1M-0Y	1979	México
CARMAN	CARMAN	C	BGL"S"	X-1530-A-12M-5N-1M-0Y	1980	Canadá
CEP-15	CEP-15	S	PANDA"S" = TCEP 77138	X-8386-D-2Y-0M-110Y-103B- -109Y-1Y-1M-100Y-0Y	1984	Brasil
BATOVI						
COORONG	CRG	S	IA	X-1648-5N-2M-0Y-2B-0Y	1980	Australia
CURRENCY	CNY	C	M1A/BGL"S"	X-15552-33H-2Y-2Y-1M-0Y	1983	Australia
DUA	DUA	S	M2A	X-2802	1980	Australia

¹ Para mayor información, ver Abdalla, O.S., G. Varughese, E.E. Saari y H. Braun, 1986. Triticale de primavera: nombres, genealogía y orígenes, CIMMYT, México, D.F.

Apendice 1 (continua)

Nombre	Abreviatura	KT	Genealogía	No. de cruce y selección	Año	País
ERONGA 83	ERONGA	C	JLO 159	X-21295	1983	México
FASCAL	FASCAL	?	?	?	1986	España
FLORIDA 201			BGL/M2A	X-15671-FP7	1985	EUA
GROWQUICK					1977	Australia
IAPAR 13	IAPAR 13	S	PANDA"S"/RM = TPOL 8432	X-36517-613-H-0Y	1984	Brasil
ARAUCARIA						
JUAN	JUAN	C	JLO 168	X-21295	1984	EUA
JUANILLO 86	JLO 86	C	DRIRA//KISS/ARM"S"	X-21295	1985	Túnez
JUANILLO 97	JLO 97	C	DRIRA//KISS/ARM"S"	X-21295	1985	Túnez
KARL	KARL	S	M2A = ABN"S"	X-2802-38N-5M-6N-6M-1Y-1M-0Y	?	EUA
KRAMER	KRAMER	S	M2A = MPE	X-2802-F-12N-1M-1N-1M-0Y	?	EUA
LONQUIMAY-INIA		S	M2A*2/TJ/IRA	X-39348-1Y-2t-1t	1984	Chile
MANIGERO	MAN	S	M2A	X-2802	1979	España
MAPACHE	MPE	S	M2A	X-2802-F-12N-1M-1N-1M-0Y	1981	Portugal
MARVAL	MAKVAL	?	GQ/4/IMPERIAL AMBER/ M2A//PITIC62/3/BGL"S"	X-27807	1986	EUA
MEXITOL 1	MEXITOL 1	?	Selección de una población F ₂ de TCL de invierno enviada a Bulgaria	?	1978	Bulgaria
MIZAR	MZR	S	M2A	X-2802	1979	Italia
MONSANTO	MONSANTO	S	M2A	X-2802-70N-3M-1N-2M-0Y	1983	Portugal
MORRISON	MORRISON	S	TJ/IRA	X-13896-D-100Y-102B-100Y-100-17M-0Y	1985	EUA
NIAB-T183	NIAB-T183	S	NIAB77/NIAB 103/M2A	?	1982	Pakistán
NINGADHU	NGD	C	DRIRA SEL	X-7110	1980	Australia
OAC DECADE	—	S	M2A//27-4/320	?	?	Canadá

Apéndice 1 (continua)

Nombre	Abreviatura	KT	Genealogía	No. de cruce y selección	Año	País
OAC TRIWELL	—	C	BGL""S"	X-1530	1980	Canadá
OCEPAR-1	OCEPAR-1	C	DELFIN""S"	X-15490	1984	Brasil
OCEPAR-2	OCEPAR-2	C	TJ/BGL = ITOC 8432	X-16134-35Y-1Y-1M-1Y-1B-0Y	1984	Brasil
ROBOLITO	ROBOLITO	S		?	1984	Francia
ROSNER	ROSNER	C		?	1969	Canadá
SALVO	SALVO	C	M2A-274/320*7680	?	?	Polonia
SAMSON	SAM 145	C	RAM	X-12257-2N-0M	1984	Australia
SATU	SATU	S	M2A	X-2802	1979	Australia
SISKIYOU	SISKIYOU	C	?	UC 8825	1977	EUA
T-50	T-50	S	?	?	1979	Kenya
T-65	T-65	S	?	?	1979	Kenya
TL 419	TL 419	S	?	?	1982	India
TOORT	TOORT	S	KLACIN	?	1984	Australia
TOWAN	TOWAN	S	IA	?	1981	Australia
TRITICALE	TRITICALE	S	M2A	X-2802-38N-3M-3N-0N	1983	Túnez
TRITICOR	TRITICOR	S	M2A	X-2802	1984	Francia
TRITIVAT	TRITIVAT	?	?	?	1986	España
TYALLA	TLA	S	M2A	X-2802	1979	Australia
USGEN 10	USGEN 10	S	FW121/PROL/CIN/YO""R"	X-23963-100Y-4M-0Y	1986	S. África
USGEN 14	USGEN 14	S	M2A/M1A	X-27947-22M-1Y-0M	1986	S. África
USGEN 18	USGEN 18	C	JLO 100	X-21295	1986	S. África
VENUS	VENUS	C	BGL""S"	X-1530-A-12M-5N-1M-1Y-0M	1981	Australia
WELSH	WELSH	S	UM2038	X-1648	1978	Canadá
YOREME 75	YE	S	M2A	X-2802-38N-3M-7N-5M-0Y	1975	México

Apéndice 2

Variedades de triticale de invierno (enlistado parcial).

País	Variedad
Austria	Lasko
Bélgica	Clercal, Lasko, Salvo
Bulgaria	Vihren
Canadá	OAC Decade, Wintri
Rep. Fed. de Alemania	Bokolo, Dagro, Local, Lasko, Salvo, Clercal
Francia	Clercal, Lasko, Salvo
Hungria	Bokolo
Luxemburgo	Lasko
Países Bajos	Lasko, Salvo
Polonia	Bolero, Dagro, Grado, Lasko
Suiza	Lasko
Reino Unido	Dagro, Lasko, Newton, Rosko, Salvo, Torrs, Warren
EUA	Wintri, Council, Terreland 20, Trical, Flora

Apéndice 2

Variedades de triticale de invierno (enlistado parcial).

País	Variedad
Austria	Lasko
Bélgica	Clercal, Lasko, Salvo
Bulgaria	Vihren
Canadá	OAC Decade, Wintri
Rep. Fed. de Alemania	Bokolo, Dagro, Local, Lasko, Salvo, Clercal
Francia	Clercal, Lasko, Salvo
Hungría	Bokolo
Luxemburgo	Lasko
Países Bajos	Lasko, Salvo
Polonia	Bolero, Dagro, Grado, Lasko
Suiza	Lasko
Reino Unido	Dagro, Lasko, Newton, Rosko, Salvo, Torrs, Warren
EUA	Wintri, Council, Terreland 20, Trical, Flora

Apéndice 3

Acontecimientos importantes en el desarrollo del triticale.

1875	Escocia	A.S. Wilson comunica el primer cruzamiento conocido de trigo x centeno, que produce una planta estéril.
1888	Alemania	W. Rimpau logra obtener el primer híbrido fértil de trigo x centeno.
1918	U.R.S.S.	Aparecen miles de híbridos trigo x centeno en la estación de investigaciones de Saratov. Las plantas F ₁ producen semillas de las que se obtienen híbridos estables, relativamente fértiles e intermedios en cuanto al fenotipo.
1935	Alemania	Aparece el nombre de "triticale"—de <i>Triticum</i> (trigo) y <i>Secale</i> (centeno)—en la literatura científica.
	Suecia	A. Müntzing emprende una investigación intensiva sobre el triticale.
1937	Francia	P. Givaudon establece la técnica de la colquicina para duplicar los cromosomas de los híbridos estériles, lo que permite producir grandes cantidades de triticales fértiles.
1940		Se crea la técnica de cultivo de embriones para rescatar embriones híbridos de semillas con endosperma malformado.
1954	Canadá	La Universidad de Manitoba, Canadá, inicia el primer esfuerzo en América del Norte para desarrollar el triticale como cultivo comercial. L.H. Shebeski, B.C. Jenkins, L. Evans y otros reúnen una colección mundial de triticales primarios.

Apéndice 3 (continúa)

Acontecimientos importantes en el desarrollo del triticale.

1964	México	El Proyecto Internacional de Mejoramiento del Trigo de la Fundación Rockefeller establece un acuerdo informal con la Universidad de Manitoba para ampliar la investigaciones sobre el triticale.
1965	Canadá	La Fundación Rockefeller otorga un subsidio por tres años a la Universidad de Manitoba, para las investigaciones sobre el triticale efectuadas en colaboración con el Proyecto Internacional de Mejoramiento del Trigo que tiene la Fundación en México.
1966	México	Fundación del CIMMYT; continúa la investigación sobre el triticale en forma conjunta con la Universidad de Manitoba.
1968	México	En las parcelas del CIMMYT en el CIANO aparece espontáneamente la cepa Armadillo, con fertilidad casi completa, un gen de enanismo y fitotipo superior. Esta cepa se convierte en un importante progenitor de los triticales en todo el mundo.
	Hungría	Se certifican como cultivo comercial y se lanzan al mercado dos hexaploides secundarios desarrollados por Kiss en 1965.
	España	Se lanza como cultivo comercial la variedad hexaploide Cachurulu, desarrollada por Sánchez-Monge.

Apéndice 3 (continúa)

Acontecimientos importantes en el desarrollo del triticale.

	Canadá	La cepa Rosner, obtenida en la Universidad de Manitoba y utilizada por los destiladores desde comienzos del decenio de 1960, se convierte en el primer triticale de América del Norte lanzado para uso general.
1971	México	El Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional y la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional otorgan un subsidio de US\$2.5 millones al programa del CIMMYT y de la Universidad de Manitoba para un proyecto de investigación de cinco años.
	México	Se crean las líneas Maya 2/Armadillo para contrarrestar el alto índice de acame en los triticales.
1972	México	El CIMMYT comienza la selección intensiva y el mejoramiento para obtener llenado del grano asociado con una gran fertilidad, e inicia los esfuerzos para ampliar la base genética del triticale.
1974	México	Los cinco triticales con mejor rendimiento evaluados en el ITYN en 47 lugares superan en un 15% el rendimiento de la mejor variedad testigo de trigo harinero.
1975	México	México lanza Yoreme, su primera variedad de triticale.

Apéndice 3 (continúa)

Acontecimientos importantes en el desarrollo del triticale.

1975	México	Se identifica Panda, la primera familia con alto peso hectolítrico estable.
1976	México	Beagle y Drira, dos triticales completos, muestran alto rendimiento y adaptación semejantes a los del cruzamiento Maya 2/Armadillo.
1979	México	México lanza Cananea y Caborca, su segunda y tercera variedad de triticale. Comienza a surgir interés por el triticale en muchos países.
1980	Francia	Francia lanza Clercal, su primera variedad de triticale, que finalmente se convierte en la variedad número uno de triticale en Francia, el principal productor del cultivo en 1986.
1982	Polonia	Polonia aprueba el lanzamiento de Lasko, el triticale que más se cultiva hoy día en todo el mundo.
1985	Brasil	Brasil, el país que cuenta con la mayor superficie potencial para el cultivo del triticale, aprueba oficialmente el cultivo y lanza dos variedades.
1986		El cultivo de triticale excede el millón de hectáreas.

Fuente: Adoptado de Wolff, A. 1975. Wheat x rye = triticale. El CIMMYT hoy. México, D.F. Información adicional proporcionada por el programa del triticale del CIMMYT.

Glosario

Derivados de un cruzamiento: la progenie del mismo.

Diploide: que tiene dos conjuntos de cromosomas. Composición genómica del centeno: RR.

Genoma: un conjunto completo de cromosomas.

Haploide: especies que tienen un solo conjunto de cromosomas.

Hexaploide: especies que tienen seis conjuntos de cromosomas. Composición genómica del trigo harinero: AABBDD; la del triticale hexaploide: AABBRR.

Híbrido interespecífico: progenie de un cruzamiento entre dos especies del mismo género, como *Triticum turgidum* var. *durum* x *Triticum aestivum*.

Híbrido intergenérico: progenie de un cruzamiento entre especies de dos géneros afines, como *Triticum turgidum* var. *durum* x *Secale cereale*.

Octoploide: especies que tienen ocho conjuntos de cromosomas. Composición genómica del triticale octoploide: AABBDDRR.

Tetraploide: especies que tienen cuatro conjuntos de cromosomas. Composición genómica del trigo duro: AABB.

El CIMMYT es una organización internacional sin fines de lucro que está dedicada a la investigación científica y al adiestramiento. El CIMMYT, con sede central en México, está comprometido en un programa de investigación a nivel mundial para maíz, trigo y triticale con énfasis en producción alimentaria en países en desarrollo. Este es uno de los 13 centros internacionales sin propósitos de lucro que están involucrados en la investigación agrícola y adiestramiento, patrocinada por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAB). El GCIAB está apoyado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), el Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (Banco Mundial), y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El GCIAB cuenta con 40 países donadores, organizaciones internacionales y regionales y fundaciones privadas.

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) recibe apoyo de varias fuentes incluyendo las instituciones de ayuda internacional de Australia, Austria, Brasil, Canadá, China, la Comisión Económica Europea, Dinamarca, España, EUA, Filipinas, Francia, India, Irlanda, Italia, Japón, México, Noruega, los Países Bajos, Reino Unido, República Federal de Alemania, Suiza y el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Internacional para la Reconstrucción y Desarrollo, el Centro Internacional para el Desarrollo de la Investigación, la Fundación Ford, la Fundación OPEP para el Desarrollo de la Investigación, la Fundación Rockefeller y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. La responsabilidad de esta publicación es solamente del CIMMYT.

Cita correcta: Varughese, G., T. Barker y E. Saari. 1987. Triticale. CIMMYT, México, D.F. 32 pp.

ISBN 968-6127-13-5