Mejoramiento genético del trigo para la zona centro--norte de Chile[1]

Wheat breeding for the north--central zone of Chile

René Cortázar S.[2]

SUMMARY

The most important wheat characteristics, needed in the north–central zone of Chile, are analyzed, and its relative importance is indicated as follows: 1. High yield capacity; 2. Good adaptation to the zone; 3. Tolerance to barley yellow dwarf virus (BYDV); 4. Resistance to lodging; 5. Resistance to root–rots; 6. Resistance to several *Puccinia* sp; 7. Good hectoliter weight; 8. Good nutricional quality; 9. Good milling quality; 10. Good quality for bread or spagetti; 11. Good use of fertilizers; and 12. Easy to harvest.

Due to the continuous changes in the dominant physiological pathogenic races, the average usefull life for a commercial variety is shorter than 5 years.

In order to supply farmers with good varieties it is necessary to maintain a large breeding program (wide genetic diversity), using the main plant breeding methods: a) Introduction; b) Individual plant selection, and c) Crosses.

In the last seven years, 3,200 varieties or lines have been introduced annually from abroad; about 1,000 new crosses have been made every year, and about 2,000 varieties or lines have been studied in yield trials.

INTRODUCCION

La base para el éxito de un cultivo lo constituye una buena variedad, que permita, usando los métodos agronómicos adecuados, obtener el máximo de rendimiento.

Todas las prácticas agronómicas: fertilizantes, riego, control de malezas, combate de enfermedades e insectos, etc., tienen como objetivo fundamental darle a la variedad el ambiente adecuado, para que se exprese en forma óptima su genotipo.

El principal problema de la agricultura chilena es que las prácticas agronómicas empleadas no permiten la expresión máxima de la capacidad genética de las variedades. Cualquier variedad adaptada a una zona y de buena caña, teóricamente es capaz de producir sobre 80 quintales por hectárea, si se le dan las condiciones adecuadas. En el país el promedio de rendimiento es

[1] Recepción de originales: 13 de diciembre de 1981.
Trabajo presentado al V Congreso Lationamericano de Genética, Viña del Mar, 1981.
[2] Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

de sólo 18 quintales, es decir, se está aprovechando una pequeña parte de la capacidad genética de las variedades.

Uno de los aspectos más importantes de los programas de mejoramiento, además de aumentar la capacidad de rendimiento, ha sido darle seguridad al agricultor, es decir, producir variedades que no sean afectadas por enfermedades y por ciertos fenómenos climáticos.

Desde 1939, en que se inició en forma científica el mejoramiento del trigo en el Ministerio de Agricultura, el cual se continúa en la actualidad en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, los agricultores del país siempre han contado con variedades adaptadas a sus condiciones y con buen potencial de rendimiento.

OBJETIVOS DEL MEJORAMIENTO GENETICO VARIETAL

En el mejoramiento genético varietal hay que considerar las necesidades del agricultor, del industrial y el consumidor. Cualquiera necesidad importante que no se satisfaga impide el empleo de la variedad.

En el Cuadro 1 se presentan las necesidades del agricultor, del industrial y del consumidor.

La casi totalidad de las características indicadas deben obtenerse por medios genéticos. Las únicas excepciones serían el control de **Tilletia**, que se puede hacer económicamente por desinfección de semilla, y los daños de áfidos, que en la actualidad se controlan por enemigos naturales y métodos químicos. Sin embargo, en el caso de **Tilletia**, también podrían emplearse métodos genéticos y, en el caso de áfidos, se está trabajando para conseguir formas que genéticamente sean poco atrayentes para estos insectos. En la mayor parte de las otras enfermedades no ha sido económico en Chile el control químico.

Si se considera que la mayoría de estos caracteres depende de la acción de varios genes, se podrá apreciar la imposibilidad de conseguir la variedad perfecta. Con cualquier número de plantas con que se trabaje, si solo se eligiese las óptimas para cada carácter, se eliminaría la totalidad del material. Debido a este problema, es necesario tener una idea clara de la prioridad de cada uno de los caracteres indicados. En algunos sólo se aceptará lo óptimo, pero en otros hay que contentarse con individuos regulares.

De los caracteres indicados, hay algunos en que una vez encontrada una solución ésta es más permanente, como sería calidad panadera, resistencia a la tendidura, período vegetativo, etc., pero hay otros que requieren un trabajo permanente, como sería la resistencia a enfermedades.

El mayor volumen de trabajo en el mejoramiento de trigo está relacionado con la resistencia a enfermedades. La existencia de un gran número de biotipos de cada patógeno hace que una variedad pueda ser completamente resistente durante un ciclo del cultivo y susceptible al siguiente, o viceversa.

CUADRO 1. CARACTERISTICAS QUE DEBE TENER UNA BUENA VARIEDAD DE TRIGO PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DEL AGRICULTOR, INDUSTRIAL Y CONSUMIDOR

TABLE 1. Characteristics of a good wheat variety required by farmers, industry and consumers

Necesidades del Agricultor

- Buen rendimiento
- Resistencia a la tendidura
- Resistencia al desgrane
- Período vegetativo adecuado
- Facilidad de cosecha
- Buen peso del hectolitro
- Resistencia a:
  - Polvillo colorado de la caña (*Puccinia graminis*)
  - Polvillo colorado de la hoja (*Puccinia recondita*)
  - Polvillo amarillo (*Puccinia striiformis*)
  - Mal del pie (*Ophiobolus graminis*)
  - Fusariosis (*Fusarium* sp.)
  - Septoria del nudo (*Septoria nodorum*)
  - Septoriosis de la hoja (*Septoria tritici*)
  - Helmintosporiosis (*Helminthosporium tritici–repentis*)
  - Oidio (*Erysiphe graminis*)
  - Carbón hediondo (*Tilletia caries*)
  - Virus del enanismo amarillo de la cebada
  - Afidos (varias especies)
- Mayor eficiencia en la capacidad fotosintética
- Tolerancia a pesticidas y herbicidas
- Buena distribución de las hojas, para obtener mejor aprovechamiento de la luz
- Ausencia del defecto "hojas secas"

Necesidades del Industrial

- Buen peso del hectolitro
- Calidad adecuada para sus objetivos:
  - Pan
  - Galletas
  - Pastas

Necesidades del Consumidor

- Alto contenido de proteína
- Alto contenido de lisina
- Buena calidad de acuerdo a su uso:
  - Pan
  - Galletas
  - Pastas

Como una confirmación de este hecho, puede señalarse lo ocurrido con el comportamiento de las variedades de trigo de pan (*Triticum vulgare*) y las variedades de trigo candeal (*Triticum durum*), en los años 1978 y 1980 en la Estación Experimental La Platina, respecto al ataque de *Puccinia graminis*.

Como puede verse en el Cuadro 2, en 1978 las variedades de trigos candeales fueron muy resistentes al *P. graminis*, ya que en promedio sólo tuvieron 5,3% de ataque, mientras que las variedades de trigo de pan fueron susceptibles, como muestra el promedio de 47,8%. Es decir, en dicho año las variedades de pan tuvieron 9 veces más ataque que las candeales. Mientras que en 1980, el promedio de las de pan fue sólo 1,5 veces el de las candeales. La explicación de este fenómeno es que, en 1978, los biotipos que atacan a los candeales no tuvieron las condiciones adecuadas para su desarrollo, pero sí los biotipos que atacan a las variedades de pan. En 1980, las condiciones para el desarrollo fueron regulares, tanto para los biotipos de las variedades de pan como para las candeales.

CUADRO 2. PROMEDIO DE PORCENTAJE DE ATAQUE DE *Puccinia graminis* DE TODAS LAS LINEAS DE ENSAYOS DE *Triticum durum* Y *Triticum vulgare*, EN LA ESTACION EXPERIMENTAL LA PLATINA EN LOS AÑOS 1978 y 1980

TABLE 2. Average percent attack of *Puccinia graminis* to all the lines included in wheat yield trials at La Platina, 1978 – 1980

AÑOS	*Triticum durum*	*Triticum vulgare*
1978	5,3%	47,8%
1980	12,0%	19,1%

FIJACION DE PRIORIDADES

En un programa de mejoramiento genético, uno de los aspectos que mayor importancia tiene es la definición de prioridades, pues, por ser trabajos a largo plazo (diez o más años), sin objetivos claros se puede fracasar completamente. Como se señalaba anteriormente, no es posible trabajar con la misma intensidad en todos los caracteres que debe tener una buena variedad y, por lo tanto, hay que estar seguros qué defectos pueden aceptarse y cuáles no. En la fijación de prioridades, es difícil definir la importancia relativa de los problemas, ya que ésta no es constante, por cambios en las prácticas agronómicas, cambios de genotipos, aparición de nuevos problemas, etc.

Así, en la década del 40 el principal problema que afectaba al trigo en esta zona era el *Puccinia graminis*, al cual se le atribuía una pérdida promedio del 15% de la cosecha (Cortázar, 1947, 1949). Posteriormente, se estimaron importantes las pérdidas debidas al *Ophiobolus* (Cortázar, 1953). La importancia de *Erysiphe graminis, Septoria tritici, Helminthosporium* eran muy reducidas. Nadie consideraba que los pulgones causaban daños al trigo; no existía virosis.

En 1968 aparece en Chile, en forma generalizada, el *Metopolophium dirhodum*, convirtiéndose los áfidos en el principal problema del trigo. En 1961 aparece *Sitobion avenae*. Este nuevo pulgón aumenta aún más la importancia de los áfidos en este cereal. Así, se señala que el daño promedio causado por ellos en todos los ensayos de control de pulgones publicados en el país era de 27% (Cortázar, 1977). Van den Bosch (1976) señala que, en promedio, las pérdidas pueden evaluarse en un 20% de la producción.

En 1971 aparece el virus del enanismo amarillo de la cebada (Tollenaar y Hepp, 1972), que causa daños de cierta importancia en 1973, para producir en la Estación Experimental La Platina daños evaluados en un 31,5% de la producción de 1975, y cerca de un 17% en 1976 y 1977 (Cortázar, 1979).

Al analizar la importancia relativa del *Puccinia graminis* en los últimos 20 años en la Estación Experimental La Platina, bajo condiciones de inoculación artificial, Hacke (1980) encontró que el promedio de daño a todas las líneas ensayadas fue del 8,1%; en un solo año, 1978, esta cifra llegó a 47,4%; en tres años, llegó a 17%; en todos los demás años la cifra fue inferior al promedio. En estos mismos años, en el campo de los agricultores prácticamente el ataque fue nulo. Estos estudios muestran que la importancia relativa del *Puccinia graminis* ha bajado fuertemente, siendo de alguna importancia en los últimos años sólo en la parte norte del país.

Estudios efectuados por el autor muestran que, bajo las condiciones de La Platina, en 1978 el *Erysiphe graminis* bajó los rendimientos en 6% y que un daño parecido puede atribuirse a *Helminthosporium tritici–repentis* (Cortázar, 1980).

Tomando en cuenta toda la información disponible, bajo las condiciones actuales, el autor estima que las prioridades para el mejoramiento de trigo son las que se indican en el Cuadro 3. Para ello, se consideraron dos alternativas: a) la situación actual de la agricultura y b) si la agricultura y la industria estuvieran al nivel adecuado, es decir, si los agricultores hicieran uso

CUADRO 3. PRIORIDADES EN EL MEJORAMIENTO DEL TRIGO EN LA ZONA CENTRO–NORTE DE CHILE, EN TERRENOS DE RIEGO. (0 = SIN PRIORIDAD; 10 = MAXIMA PRIORIDAD)

TABLE 3. Priorities for wheat variety improvement in the irrigated north–central zone of Chile (0 = no priority; 10 = top priority)

	CONSIDERANDO LA SITUACION ACTUAL	CONSIDERANDO UN NIVEL ADECUADO DEL CULTIVO E INDUSTRIA*
– Buen rendimiento	10	
– Resistencia a tendidura	5	10
– Resistencia al desgrane	3	
– Buena adaptación a la zona	10	
– Facilidad de cosecha	6	
– Resistencia a:		
Puccinia graminis	4	
Puccinia recondita	2	
Puccinia striiformis	5	
Ophiobolus graminis	5	
Fusarium sp	5	
Septoria tritici	1	
Septoria nodorum	0	
Helminthosporium tritici–repentis	1	
Erysiphe graminis	2	
Tilletia caries	1	
Virosis	9	
Afidos	5	
– Mayor eficiencia fotosintética	2	
– Buena distribución de las hojas para obtener mejor aprovechamiento de la luz	3	
– Buen aprovechamiento de los fertilizantes	8	10
– Tolerancia a pesticidas y herbicidas	2	3
– Ausencia de "hoja seca"	5	
– Buen peso del hectolitro	10	
– Alto contenido de proteína	2	8
– Alto contenido de lisina	1	8
– Buena calidad:		
Pan	2	6
Galletas	3	6
Pastas	7	8

*Para simplificar el cuadro, no se repiten en la segunda columna los valores que se mantienen iguales a los de la primera columna.

de la tecnología disponible y si la industria se preocupara de mantener niveles constantes de calidad.

Llamará la atención la discrepancia que aparece en algunas características, entre lo que exige el mercado y lo que debería ser. Así, por ejemplo, se estima que la caña baja es fundamental para una agricultura eficiente y en la que se empleen los insumos tecnológicos adecuados. En la actualidad, como la mayor parte de los agricultores no usan suficientes abonos, esta cualidad no es tan importante como al usar la tecnología que conviene.

Otros puntos que muestran grandes discrepancias, son el contenido de proteína y lisina, y la calidad panadera y para galletas. En la actualidad, el mercado chileno no considera estos factores para la compra de los trigos y paga igual precio por uno de gran contenido de proteína que por uno de baja calidad. Sin embargo, se estima que estos caracteres son de gran importancia nacional, por lo cual en el programa de mejoramiento se les está dando mayor peso a todos los factores que permiten un mejoramiento de la dieta.

Si se compara la altura de las variedades de trigo de hace 20 años con las actuales, se puede ver la influencia que un cambio de prácticas agronómicas tiene en el mejoramiento de plantas. En este período, en Chile más que se triplicó el uso de abonos, lo que obligó a emplear variedades más bajas, ya que las variedades antiguas, al ser abonadas como en la actualidad, se tenderían totalmente.

PROGRAMA DE MEJORAMIENTO

La gran cantidad de problemas que afectan al trigo hace necesario desarrollar programas genéticos de gran volumen. Esto sucede, especialmente, si se considera el gran número de patógenos que lo afectan, cada uno de los cuales tiene muchas formas biológicas diferentes.

Los métodos principalmente usados en el programa de mejoramiento han sido: introducción, selección y cruzamiento.

El ideal es encontrar una variedad con las características deseadas, que pueda multiplicarse rápidamente y entregarse a los agricultores en el menor plazo posible. Es por esto que la primera fase es conseguir la mayor cantidad de material, ya sea del país o de fuera, para determinar su adaptación a las condiciones de la zona.

La cooperación internacional ha sido muy valiosa en estos programas, ya que existen gran número de jardines a nivel mundial, organizados para determinar cuales son las variedades de trigo más resistentes a las principales enfermedades. Así, el jardín internacional de royas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que se siembra en un gran número de países y cuya información es tabulada y entregada a los participantes, proporciona el mejor material disponible en el mundo respecto a estas enfermedades. Existen varios otros jardines, en relación con otras enfermedades.

Fuera de estos jardines de enfermedades, existen otros que proporcionan las líneas de mejor adaptación en diferentes partes del mundo. También existen ensayos mundiales de rendimiento, que permiten conocer qué variedades se han comportado mejor. Sin duda el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha tenido, en los últimos años, una gran importancia en el intercambio de material genético valioso.

Este conjunto de jardines y ensayos internacionales y el intercambio bilateral entre países, en el período 1973–1979 ha proporcionado a la Estación Experimental La Platina, en promedio, 3.600 nuevas variedades cada año para su estudio, como puede observarse en el Cuadro 4.

Si alguna de estas variedades se adapta a las condiciones del país, rápidamente puede distribuirse entre los agricultores. Estas introducciones, por otra parte, tienen por objeto obtener material que puede no adaptarse en buena forma al país, pero que tenga características valiosas para ser usadas en programas de cruzamiento.

CUADRO 4. PROMEDIO ANUAL DEL MATERIAL GENETICO EMPLEADO EN LA ESTACION EXPERIMENTAL LA PLATINA EN EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE TRIGO, EN LOS AÑOS 1973 AL 1979, AMBOS INCLUSIVE

TABLE 4. Annual average for the genetic material used by the Wheat Improvement Program at La Platina Exp. Sta. (Santiago). 1973–1979

Introducciones del extranjero	3.600
Líneas en jardines de progenitores	243
Generación F2	1.262
Generaciones F3 — F5	11.226
Líneas en ensayos de rendimiento	2.174

Al mismo tiempo que se introducen grandes números de variedades del extranjero, se desarrolla un programa de cruzamientos, para obtener variedades que respondan mejor al medio ecológico del país, ya que gran parte del material importado no se adapta directamente, por muchos factores (Cuadro 4).

Del conjunto de variedades importadas y de las líneas producto de los cruzamientos efectuados en el país, cada año se ponen en ensayos de rendimiento más de 2.000 líneas y variedades. Sólo llegan a ensayos las líneas que tienen buenas características, en relación con resistencia a enfermedades, adaptación, resistencia a tendidura y aquéllas que tienen una calidad panadera aceptable.

Un programa de mejoramiento tiene que ser un proceso dinámico, continuo, pues la vida útil de una variedad es muy corta, como puede verse en el Cuadro 5, en que se copia una información del autor (Cortázar, 1975), sobre las variedades usadas en el país en diferentes año. Esta información indica que la vida útil de una variedad, en promedio, es menor que 5 años.

RESULTADOS DEL PROGRAMA

El Programa Nacional de Mejoramiento de Trigo ha permitido entregar a los agricultores, en forma continua desde 1939, más de 30 variedades de buen rendimiento, resistentes a las principales enfermedades y de una calidad panadera satisfactoria. Como una comprobación de este hecho, puede señalarse que en 1977 el 75% de la semilla certificada de trigo producida en el país era de variedades creadas o introducidas por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

CUADRO 5. VARIEDADES DE TRIGO RECOMENDADAS EN CHILE EN LOS AÑOS 1926, 1939, 1944, 1955, 1973 y 1977 (CORTAZAR, 1953; ACEVEDO Y OTROS, 1973; RAMIREZ Y OTROS 1973)

TABLE 5. Wheat varieties recommended for the given years (Cortázar, 1953; Acevedo y otros, 1973, Ramírez y otros, 1973)

	1926	1939	1944	1955	1973	1977
Blanco común	*	*				
Florence	*					
Linaza	*	*				
Chufquén	*					
Major	*					
Colorado	*					
Oregón	*					
Australiano	*					
Primavera	*	*				
Richele Hative	*					
Vilmorín		*	*	*	*	*
Mentana Aristato		*	*			
Barón		*	*	*		
Capelli		*	*	*		
Híbrido de la paz		*	*			
Hatif inversable		*	*	*		
Ardito		*	*	*		
Castaño colorado		*	*		*	
Lincoyán			*			
Manitoba				*		
Colorado barbudo				*		
Húngaro				*		
Litoral Precoz				*		
Klein Granadero				*		
Baflo				*		
Llocofén				*		
Millafén				*		
Mexifén				*		
Toquifén					*	*
Collafén					*	*
Huelquén					*	
Centrifén					*	
Menflo					*	*
Quilafén					*	*
Candealfén 5					*	
Hesbignon					*	
Manella					*	*
Intermedio					*	
Capelle Desprez					*	*
Heine 4					*	
Castaño colorado					*	
Panguifén					*	
Pumafén					*	
Flecha					*	
Etoile de Choisy					*	
Aurifén						*
S.N.A. 1						*
S.N.A. 2						*
Melifén						*
Primo						*
Huenufén						*
Loncofén						*
Naofén						*
Pionero						*
Patriota						*
Moisson						*
Express						*

RESUMEN

Se analizan las principales características que deben tener las variedades de trigo en la zona centro–norte regada del país y se señala su importancia relativa, como sigue: alto rendimiento, buena adaptación a la zona, tolerancia al virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC), resistencia a enfermedades radiculares, resistencia a las puccinias, buen peso del hectolitro, buena calidad alimentacia, buena calidad molinera, buena calidad para pan, galletas o pastas, buen aprovechamiento de los fertilizantes, facilidad de cosecha.

Debido al cambio continuo de las razas fisiológicas predominantes de los patógenos, el promedio de vida de una variedad comercial de trigo es inferior a 5 años. Para poder mantener abastecidos a los agricultores con variedades adecuadas, es necesario mantener un programa de mejoramiento genético de gran volumen de trabajo, en que se emplean los principales métodos de mejoramiento: introducción, selección por planta individual y cruzamiento.

En los últimos 7 años, en promedio, se han introducido anualmente del extranjero 3.200 variedades o líneas, se han efectuado más de 1.000 cruzamientos y se han estudiado, en ensayo de rendimiento, más de 2.000 líneas o variedades. Gracias a este programa, los agricultores han sido sostenidamente abastecidos con variedades adaptadas a sus necesidades.

LITERATURA CITADA

ACEVEDO, J.; HEWSTONE, C.; INOSTROZA, O.; LOPEZ, H.; ESPINOSA, H. y RIVAS, S. 1973. Trigo Sur. Manual de producción. Boletín de divulgación Nº 24. Santiago. Servicio Agrícola y Ganadero. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 88 p.

CORTAZAR, R. 1947. Enfermedades del trigo. Simiente 17(1 y 2): 92–97.

CORTAZAR, R. 1949. Producción de trigos resistentes a los polvillos colorados (*Puccinia*) en Chile. Primera Asamblea Latinoamericana de Fitogenetistas, México. p. 220–232.

CORTAZAR, R. 1953. Fomento de la producción de trigo. Simiente 17(1 y 2): 41–45.

CORTAZAR, R. 1975. Investigación agrícola y su influencia en la agricultura chilena. Trigo y maíz. Simiente 45(1): 28–33.

CORTAZAR, R. 1977. Influencia de los áfidos en la disminución del rendimiento del trigo en Chile. Investigación y Progreso Agrícola 9(1): 25–30.

CORTAZAR, R. 1979. Importancia de los áfidos y del virus del enanismo amarillo de la cebada en trigo en la región centro–norte de Chile. X Reunión Latinoamericana de Ciencias Agrícolas. Acapulco, México.

CORTAZAR, R. 1980. Influencia de la altura de planta, *Erysiphe graminis, Helminthosporium tritici–repentis* y el carácter "hoja seca" en los rendimientos de líneas de trigo. Estación Experimental La Platina, 1979. Agricultura Técnica (Chile) 41(4): 265–268.

HACKE, E. 1980. Análisis del comportamiento de variedades de trigo frente a los polvillos (o royas) en la Estación Experimental La Platina en el período 1960–1979. XXXI Jornadas Agronómicas. Santiago, Chile.

RAMIREZ, I.; MARTINEZ, M.; RAMIREZ, A.; CASTRO, A.; CORTAZAR, R.; GONZALEZ, R.; MORENO, O.; y HACKE, E. 1973. Trigo centro–norte. Manual de producción Nº 5. Santiago. Servicio Agrícola y Ganadero. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 48 p.

TOLLENAAR, H. y HEPP, R. 1972. Presencia del virus causante del enanismo amarillo de la cebada ("Barley yellow dwarf virus") en Chile. Agricultura Técnica (Chile) 32: 137–142.

VAN DEN BOSCH, R. 1976. Informe sobre control biológico de los áfidos de los cereales en Chile. Agricultura Técnica (Chile) 36: 141–145.