

# DESARROLLO E IMPACTO DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO EN CHILE CON ESPECIAL REFERENCIA A TRIGO

**René Cortázar S.**

Proyecto Fitomejoramiento de Trigo  
Centro Regional de Investigación La Platina  
Instituto de Investigaciones Agropecuarias  
Santiago, Chile

## INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético se inició en Chile en la década del 30 con trabajos en trigo en la Estación Experimental de la Sociedad Nacional de Agricultura y en el Departamento de Genética del Ministerio de Agricultura. En 1940 se reorganizó el Departamento de Genética del Ministerio de Agricultura y se contrataron varios profesionales que tuvieron oportunidad de especializarse en el extranjero y se inició una serie de programas de mejoramiento genético permanentes en varios cultivos, en tres Estaciones Experimentales. En la década del 50, la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile creó la primera Estación Experimental universitaria y posteriormente fueron creadas en otras facultades de agronomía permitiendo un importante aporte al país. Las principales Instituciones dedicadas al mejoramiento genético en Chile, en la actualidad, se presentan a continuación:

### *Instituciones Públicas*

Instituto de Investigaciones Agropecuarias  
Instituto Forestal

Facultades de Agronomía:

- Universidad de Chile
- Universidad Católica de Chile
- Universidad de Concepción
- Universidad Austral
- Universidad de Talca
- Universidad Católica de Valparaíso

### *Instituciones Privadas*

Erick Von Baer  
Sociedad Nacional de Agricultura

Se estima que en la actualidad en Chile hay más de 50 profesionales trabajando tiempo comple-

to en mejoramiento genético de plantas, un 60% de los cuales trabajan en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, que es la Institución que tiene trabajos de mejoramiento en un mayor número de especies y en diferentes localidades del país. En el país, se han desarrollado programas de mejoramiento genético en a) cereales: trigo, cebada, avena, maíz, triticale, arroz; b) leguminosas: frejol, lenteja, garbanzo, lupino; c) hortalizas: arveja, ajo, cebolla, tomate; d) forrajeras: alfalfa, falaris, pasto ovillo, trébol rosado; e) frutales: durazno, vld, melón, pepino dulce; y f) otros: papa, maravilla, jojoba y especies forestales. En la actualidad se están desarrollando programas de mejoramiento en las siguientes especies: a) cereales: trigo, cebada, avena, maíz, triticale, arroz; b) leguminosas: frejol, lenteja, garbanzo, lupino; c) hortalizas: arveja, ajo; d) frutales: durazno, vld, pepino dulce; e) industriales: maravilla, raps, jojoba; y f) otros: papa y especies forestales.

Como resultado de los programas de mejoramiento genético y de la investigación en el desarrollo de prácticas agronómicas adecuadas se presenta el cambio ocurrido en el rendimiento promedio por hectárea en cuatro cultivos desde la década del 50 a la del 90 (Cuadro 1). El aumento en maíz se debió al cambio en número de plantas por hectáreas, al aumento en el uso de fertilizantes y al uso de híbridos que en este caso además de los híbridos producidos en Chile también se adaptan muy bien gran parte de los híbridos de Estados Unidos lo que ha hecho que se disponga de híbridos creados por 10 firmas norteamericanas. En trigo el aumento se debió al mejoramiento genético y a las investigaciones sobre todas las prácticas culturales. Se puede señalar el importante aumento en el uso de fertilizantes que fue posible gracias al

**CUADRO 1. Rendimiento promedio nacional (qg/ha) en los períodos indicados**

Años	Trigo	Arroz	Maíz	Papa
1951-60	13,4	25,8	18,7	95,2
1961-70	15,3	27,3	29,2	89,4
1971-80	16,3	30,7	32,7	100,8
1981-83	17,3	34,1	38,4	101,6
1984-86	24,2	40,6	60,1	140,8
1987-89	30,2	41,4	73,2	138,8
1990-92	32,5	41,0	83,4	152,1
Aumento en % sobre 1951-60	142,5	60,0	347,0	59,8

cambio de altura de las variedades que en el caso de los candeales se redujo a la mitad para poder usar las dosis actuales.

Como una muestra del desarrollo de un programa genético se analiza a continuación el mejoramiento en trigo.

### MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL TRIGO PARA LA ZONA CENTRO-NORTE DE CHILE

En el mejoramiento genético hay que considerar las necesidades del agricultor, del industrial y del consumidor. Cualquiera necesidad importante que no se satisfaga impide el empleo de la variedad. Las características que debe poseer una variedad de trigo en la zona centro-norte de Chile son:

#### Características Agronómicas:

- Buen Rendimiento
- Resistencia a la tendecura
- Resistencia al desgrane
- Período vegetativo adecuado
- Facilidad de cosecha
- Buen peso del hectolitro
- Tolerancia a herbicidas y plaguicidas
- Mayor eficiencia en la capacidad fotosintética
- Buen índice de cosecha
- Buena distribución de las hojas para obtener mejor aprovechamiento de la luz
- Alto contenido de proteína
- Alto contenido de lisina
- Calidad adecuada para:
  - Pan
  - Galletas
  - Tallarines

#### Resistencia a Enfermedades

- *Puccinia graminis*
- *Puccinia recondita*
- *Puccinia striiformis*
- *Gaeumannomyces graminis*
- *Fusarium* sp.
- *Septoria nodorum*
- *Septoria tritici*
- *Helminthosporium tritici-repentis*
- *Erysiphe graminis*
- *Tilletia graminis*
- *Ustilago* sp.
- Virosis (VEAC).

Estas características dependen de la acción de varios genes y si se tratase de obtener la variedad perfecta para cada una de ellas 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. En algunos de ellos solo se aceptará lo óptimo pero en otros hay que ser mucho menos exigente.

En mejoramiento es muy importante tener claras las prioridades por ser trabajo a diez o más años de plazo. Es imposible iniciar un mejoramiento en cualquier cultivo si no se tiene una idea clara de la importancia relativa de los problemas. Sin embargo, las prioridades tienen que ser constantemente revisadas por la gran variabilidad que afecta a la agricultura, producida por cambios biológicos, en métodos de cultivo y en la demanda del consumidor.

#### Cambios biológicos

Se van a analizar considerando dos aspectos: a) aparición de nuevas especies no existentes en el país y b) cambio de importancia relativa de las especies existentes.

a) **Aparición de nuevas especies no existentes en el país.** Estas nuevas especies que afectaron al trigo se presentan en el Cuadro 2. Cada una de ellas obligó a cambios de prioridades, ya que repentinamente se transformaron en problemas de gran importancia. La llegada al país de *Puccinia striiformis* obligó a modificar los programas de mejoramiento ya que este hongo produce la principal enfermedad del trigo en la zona sur de Chile y es importante en las demás regiones.

La llegada de los áfidos *Metopolophium dirhodum* y *Sitobion avenae* produjo un gran daño en la producción de trigo en Chile. Para disminuir los daños se planificaron tres etapas: I) Recomendación de insecticidas para el control de los áfidos y que no afectaran el control biológico II) Búsqueda de variedades de trigo tolerantes a los áfidos desde el extranjero y III) Introducción y multiplicación de parásitos y predadores de los áfidos. No fue posible obtener variedades de trigo resistentes a los áfidos pero se obtuvo éxito con la internación de enemigos naturales.

**CUADRO 2. Aparición de nuevas especies que afectaron al trigo en Chile**

Especie	Año
<i>Puccinia striiformis</i>	1930
<i>Metopolophium dirhodum</i>	1967
<i>Sitobion avenae</i>	1971
Virus del Enanismo Amarillo de la Cebada (BYDV)	1975
<i>Diuraphis noxia</i>	1987

En el Cuadro 3 se presentan las especies de predadores que se introdujeron con indicación de las que se establecieron permanentemente y en el Cuadro 4 se presentan los parasitoides importados con indicación de los que se establecieron. Como resultado de esas medidas se presenta en el Cuadro 5 la intensidad de ataque de los áfidos. En 1968 el fue el problema con mayor prioridad pero se puede ver que debido al control biológico los daños han bajado mucho y en la actualidad solo tienen importancia muy ocasional.

**CUADRO 3. Introducción y multiplicación de especies depredadoras de áfidos del trigo (1975-1984)**

Especie	Establecimiento
<i>Hippodamia variegata</i> Goeze	SÍ
<i>Coccinella transversoguttata</i> Fald.	NO
<i>Coleomegilla maculata</i> (Der geer)	SÍ
<i>Liodalla flavomaculata</i> (Der geer)	NO
<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus)	NO

**CUADRO 4. Introducción y multiplicación de parasitoides de áfidos del trigo (1975-1984)**

Especie	Establecimiento
<i>Lysiphlebus testaceipes</i> (Cresson)	SÍ
<i>Aphelinus varipes</i> Foerster	NO
<i>Aphidius ervi</i> Haliday	SÍ
<i>Aphidius rhopalosiphii</i> De stefani	SÍ
<i>Monoctonus nervosus</i> (Ashmead)	NO
<i>Aphelinus asychis</i> Walker	NO
<i>Ephedrus plagiator</i> (Nees)	NO
<i>Praon gallicum</i> Stary	SÍ
<i>Praon volucre</i> Haliday	SÍ

**CUADRO 5. Intensidad de ataque de áfidos en La Platina**

1965: 0	1971: 6	1977: 4	1983-1994: 1-2
1966: 0	1972: 5	1978: 4	
1967: 4	1973: 6	1979: 3	
1968: 10	1974: 4	1980: 1	
1969: 4	1975: 8	1981: 1	
1970: 3	1976: 5	1982: 1	

0 = Sin enfermedad; 10 = Máximo ataque.

La aparición del Virus del Enanismo Amarillo (VEAC), que fue introducido al país por los áfidos, tuvo una importancia económica muy grande (Cuadro 6) con gran intensidad al principio y una reducción posterior debido a la selección del material más tolerante y a la disminución de los áfidos. En el Cuadro 7 se indica una apreciación de la importancia relativa del virus desde su aparición hasta la actualidad.

El áfido *Diuraphis noxia*, que apareció en 1987 en Chile, se ha extendido por el país pero en general no ha causado daños económicos. El menor desarrollo de este áfido se debe a que es controlado por los parásitos y predadores introducidos anteriormente.

**b) Cambio de importancia en especies existentes en Chile.** En la década del 40 el principal problema del trigo en la zona centro-norte de Chile era el *Puccinia graminis* que causaba pérdidas anuales promedio de 17% de la producción. Con pérdidas para algunos agricultores del 100% de su cosecha. En 1953 las pérdidas en los trigos candeales fue de un 40%. Se efectuaron

cientos de cruzamientos para obtener variedades resistentes a esta enfermedad pero, debido a la enorme cantidad de biotipos diferentes existentes, las variedades sólo mantenían su resistencia por algunos años. En el Cuadro 8 se puede observar los cambios que ocurren en diferentes variedades. Así debido al fuerte ataque de la variedad Mentana se efectuó un programa de retrocruzamiento y se obtuvo la variedad Mentafen que fue muy resistente comparada con 'Mentana' por varios años pero después fue atacada. Lo mismo ocurrió con 'Candealfén' que fue una cruce de 'Capelli' con una variedad resistente y que se mantuvo por varios años en cultivo pero posteriormente fue atacada. Lo que llama la atención es que esta enfermedad, que era la más importante en la década del 40 en los últimos 30 años, no ha tenido ninguna importancia económica en la zona. Esto debido a la entrega de variedades resistentes y más precoces.

**CUADRO 6. Evaluación de las pérdidas causadas por el virus en La Platina**

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979-1994
Pérdidas en %	15	0	31,5	17	17	9	Menos de 5

**CUADRO 7. Intensidad de ataque del VEAC en La Platina**

Anterior a	1972: 0	1977: 5	1982-1994: 1 y 2
	1973: 5	1978: 5	
	1974: 2	1979: 3	
	1975: 10	1980: 1	
	1976: 5	1981: 1	

0 = Sin enfermedad; 10 = Máximo ataque.

**CUADRO 8. Comportamiento de variedades de trigo en relación con *Puccinia graminis* en Chile. Porcentaje de ataque**

	1948	1951	1953	1959	1964	1969	1972
Capelli	15	65	70	50	60	-	-
Candealfén	-	4	5	80	-	-	-
Mentana	50	85	70	-	-	-	-
Mentafén	0	0	60	-	-	-	-
Orofén	-	-	-	-	0	10	80
Toquifén	-	-	-	0	0	0	0

### Cambios en los métodos de cultivo

Se analiza la influencia del uso de fertilizantes. En el Cuadro 9 se presenta el consumo de fertilizantes en Chile que desde el quinquenio 1950-54 al quinquenio 1984-89 aumentó en 10,7 veces el nitrógeno, 4,5 veces el fósforo y 2,0 el potasio. Este aumento en el uso de fertilizantes fue posible por la reducción de altura en las variedades creadas lo que permitió aumentos importantes de rendimiento.

### Cambios en la demanda del consumidor

La calidad panadera de los trigos era deficiente en la década del 40. No había demanda por trigos de mejor calidad. Sin embargo, con importaciones de trigos de mejor calidad se fueron acostumbrando los consumidores al mejor pan obligando en la actualidad a seleccionar por esta característica y a que en la actualidad se pague sobreprecio por la calidad.

Considerando todos los antecedentes disponibles se presentan en el Cuadro 10 las prioridades en el mejoramiento del trigo en Chile. Se puede ver que hay diferencias en varias características en las prioridades en la zona centro-norte y en el sur como ocurre con la germinación en la espiga, resistencia a *P. graminis*, a *P. striiformis*, y a *Septoria tritici* entre otras. Estas prioridades son reestudiadas de acuerdo a los cambios que se produzcan.

### MÉTODOS DE MEJORAMIENTO

La introducción, selección individual, cruzamiento (genealógico, masal y retrocruzamiento), selección recurrente (ethrel, esterilidad genética de polen), y mutaciones (radiación, mutagénicos químicos y haploides) son métodos de mejoramiento empleados en el programa trigo.

Los más usados han sido introducción, selección, cruzamiento genealógico y retrocruzamiento. Para acumular genes para resistencia de los trigos al VEAC y para concentrar genes para rendimiento se ha empleado la selección recurrente usando, para facilitar el cruzamiento entre las plantas seleccionadas, Ethrel y en otros casos esterilidad genética de polen. El uso de mutación y haploides ha sido ocasional.

Para dar una idea del volumen de trabajo en el Centro Regional de Investigación La Platina en el Cuadro 11 se indica el número de introducciones, cruzamientos, generaciones segregantes y variedades en ensayo de rendimiento en diferentes períodos y con una indicación del promedio anual. La principal razón del uso de un volumen tan grande de material se debe a que las enfermedades han tenido una gran importancia y debido a la gran cantidad de biotipos diferentes de cada enfermedad exige usar muchos padres resistentes para tener la seguridad de que aunque ocurran cambios importantes de biotipos se cuente con material resistente.

**CUADRO 9. Consumo de fertilizantes en Chile**

	N (ton)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ton)	K <sub>2</sub> O (ton)
1950-54	12.000	25.000	8.000
1985-89	128.900	113.400	16.300
Aumento consumo	10,7 veces	4,5 veces	2,0 veces

**CUADRO 10. Prioridades en el mejoramiento de trigo en Chile**

	Zona centronorte	Zona sur
Buen rendimiento	10	10
Resistencia a tenedura	9	9
Resistencia a desgrane	3	3
Período vegetativo	10	10
No germinación de espiga	0	4
Resistencia a:		
<i>Puccinia graminis</i>	2	0
<i>P. recondita</i>	5	6
<i>P. striiformis</i>	4	10
<i>Gaeumannomyces graminis</i>	5	7
<i>Fusarium</i> sp.	5	7
<i>Septoria tritici</i>	2	6
<i>Septoria nodorum</i>	0	
<i>Helminthosporium tritici repetis</i>	1	
<i>Erysiphe graminis</i>	2	3
<i>Tilletia caries</i>	1	1
Virosis (VEAC)	4	3
Afidos	3	2
<i>Ustilago</i> sp.	0	3
Buena distribución de las hojas	4	4
Buen peso del hectolitro	10	10
Alto contenido de proteína	6	6
Buena calidad para:		
Pan	6	6
Galletas	6	6
Tallarines y otras pastas	8	

0: Sin prioridad. 10: Máxima prioridad.

**CUADRO 11. Material genético empleado en trigo. CRI La Platina 1973-1978**

	Genotipos del extranjero	Cruzamientos	F2 A F5	Líneas en ensayo de rendimiento
1973-1979	25.200	8.834	78.582	8.218
1980-1988	49.653	9.657	79.902	14.247
Total	74.853	18.491	158.484	22.465
Promedio anual	4.678	1.156	9.905	1.404

Uno de los aspectos que llama la atención es el constante cambio de variedades que ocurre en el país. Así en el Cuadro 12 se indican las variedades que estaban en certificación en los años 1988 y 1993. De 44 variedades en certificación

en 1988 sólo 20 se certificaban en 1993 y en el período 1988 a 1993 se agregaron 28 nuevas variedades. Este proceso se ha estado repitiendo al comparar cualquier período anterior.

CUADRO 12. Variedades certificadas en los años 1988 y 1993

Variedades en certificación	1988	1993	Variedades en certificación	1988	1993
Aurifén INIA	x		Cunco INIA	x	x
Austral	x		Paleta Baer	x	x
Carahue INIA	x		Perquenco INIA	x	x
Carolina	x		Lancero INIA	x	x
Chasqui INIA	x		Laurel INIA	x	x
Maitén INIA	x		Premier	x	x
Mallihue INIA	x		Chagual INIA	x	x
Marisol	x		Antihue INIA	x	
Sauce INIA	x		Ciko INIA	x	
SNA 2	x		Domo INIA	x	
SNA 12	x		Lilén INIA	x	
SNA 101	x		Pitufo Baer	x	
SNA 203	x		Reihue INIA	x	
Victoria	x		Saeta INIA	x	
Andifén INIA	x		SNA 208	x	
Exportbaer	x		SNA 210	x	
Lanco INIA	x		SNA 220	x	
Patagua INIA	x		SNA 400	x	
Peneca Baer	x		Telhuén INIA	x	
Aromo INIA	x		Colono Baer	x	
Quilafén INIA	x		Chacay INIA	x	
SNA 3	x		Lumaco INIA	x	
Cisne INIA	x	x	Maqui INIA	x	
Lautaro INIA	x	x	Otto Baer	x	
Claudia	x	x	Peneca Baer	x	
Dalcahue INIA	x	x	Peumo INIA	x	
Milaleu INIA	x	x	Quelén INIA	x	
Naofén INIA	x	x	Candela INIA	x	
Nobo INIA	x	x	Kona INIA	x	
Onda INIA	x	x	Pakul INIA	x	
SNA 102	x	x	Pukem INIA	x	
SNA 200	x	x	Chonta INIA	x	
Amigo Baer	x	x	Licán INIA	x	
As Baer	x	x	SNA 311	x	
Canelo INIA	x	x	SNA 340	x	
			Ucaro 1	x	

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN EN TRIGO EN CHILE

Como producto de la investigación en mejoramiento genético como en la investigación agrónomica: épocas de siembra, control de malezas, fertilizantes, riego, etc., se presenta en el Cuadro 13 los cambios que han ocurrido en la superficie cultivada el rendimiento por hectárea, la producción nacional y la cantidad de trigo importado quincenalmente desde 1945 a 1988. El Cuadro está dividido en tres períodos. En el primer período la superficie del trigo se mantuvo constante, el rendimiento por hectá-

rea fue subiendo en todos los quinquenios y también la producción total, las importaciones fueron fluctuantes llegando en un año a 3.500.000 quintales. En el segundo período casi no hubo aumento de rendimiento por hectárea, hubo una baja de la superficie sembrada, bajó la producción nacional y subieron las importaciones. Este período se caracterizó por las malas condiciones económicas: bajo precio del trigo y altos intereses, lo que no permitió el uso de tecnología. En el tercer período, cuando se mejoró el precio, hubo una subida importante en el rendimiento.

**CUADRO 13. Superficie, rendimiento por hectárea, producción e importación de trigo.**

Años	Superficie hectáreas	Rendimiento por hectárea	Producción qq	Importación qq
<b>Primer Período 1945 a 1969</b>				
45-49	767.765	12,1	9.318.789	420.141
50-54	784.800	12,5	9.825.920	1.649.020
55-59	828.900	13,3	11.045.630	823.460
60-64	753.000	14,4	10.820.000	2.091.400
65-69	733.737	16,6	12.199.250	3.558.160
<b>Segundo Período 1970 a 1983</b>				
70-74	660.868	15,9	10.701.050	7.262.440
75-79	630.442	15,9	9.947.160	7.674.000
80-83	427.720	16,9	7.220.835	10.127.760
<b>Tercer Período 1984 a 1988</b>				
84-88	552.706	26,8	14.828.490	2.897.165

En el Cuadro 14 se presenta lo ocurrido anualmente en el período 1980 a 1992. Desde 1980 hasta 1983 hubo una baja continua de la superficie sembrada, una disminución de la producción y un aumento de las importaciones, debido al bajo precio del trigo y altos intereses. De 1984 a 1992 se observa un aumento continuo de los rendimientos por hectárea, un aumento importante en la superficie sembrada y una disminución apreciable de las importaciones debido a que se produjo más de lo necesario para la alimentación. Este se debió a la mejora en el precio, lo que permitió el uso de la tecnología adecuada.

Para mostrar la importancia que ha tenido la investigación en el trigo en Chile en el Cuadro 15 se presenta los resultados de comparar la superficie sembrada en 1988 y el rendimiento obtenido con el que se hubiera tenido usando la tecnología de 1945-49 y se puede comprobar que casi se triplicó el rendimiento considerando la misma superficie.

Si seguimos analizando la importancia del programa de mejoramiento en trigo podemos ver que en el período 1945-49 se necesitó sembrar 767.765 hectáreas para alimentar a una población de 5.856.000 de habitantes. La población

**CUADRO 14. Superficie, rendimiento por hectárea, producción e importación de trigo**

Años	Superficie hectáreas	Rendimiento por hectárea	Producción qq	Importación qq
1980	545.740	17,7	9.659.830	8.698.020
1981	432.160	15,9	6.859.530	10.292.680
1982	373.800	17,4	6.504.520	9.920.340
1983	359.180	16,3	5.859.460	11.600.000
1984	471.320	21,0	9.882.830	9.579.460
1985	506.190	23,0	11.646.910	4.750.000
1986	569.170	28,6	16.258.090	156.365
1987	676.560	27,7	18.741.170	0
1988	540.290	32,7	17.613.454	0
1989	582.821	29,5	17.162.140	-
1990	466.480	34,1	15.885.771	-
1992	395.116	33,5	13.223.352	-



de Chile en el trienio 1990-1992 fue de 13.386.000 y con la tecnología de 1945-49 se hubiere necesitado sembrar 1.500.000 hectáreas de trigo, lo que hubiese sido imposible ya que el total de hectáreas para todos los cultivos no llegó a 1.000.000. Es decir, Chile no hubiera podido all-

mentar de trigo a su población sembrando exclusivamente trigo. Con la tecnología disponible en la actualidad se necesitan sólo 550.000 hectáreas para abastecer a la población de este cereal.

**CUADRO 15. Producción y valor del trigo cosechado en 1989 y la producción y valor que se hubiera obtenido empleando la tecnología existente en 1945-49**

Años	Superficie hectáreas	Rendimiento qq/ha	Producción quintales	Valor pesos*
1989	540.290	32,6	17.613.454	79.260.540.000
Con la tecnología 1945-49	540.290	12,1	6.537.509	29.418.790.000
Diferencia		20,5	11.075.949	49.841.753.000

\*Precio del trigo \$ 4.500 el quintal.