

INVESTIGACIONES

MEJORAMIENTO DE TRIGOS HARINEROS (*Triticum aestivum* L.) EN LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE. I. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO Y VARIABLES ASOCIADAS EN VARIEDADES DE INVIERNO Y FACULTATIVAS¹

Genetic improvement of Bread Wheats (*Triticum aestivum* L.) in the South Central Zone of Chile. I. Analysis of Yield and Related Variables in Winter and Facultative Varieties

Mario Mellado Z.²

ABSTRACT

Field experiments with ten winter and facultative wheat varieties distributed commercially between 1968 and 1993 were carried out to assess genetic gain in yield and related variables. The genotypes tested were developed in the Quilamapu Regional Investigation Center's Wheat Improvement Program. Lilifén was the first variety of this group and was used as the reference variety. The experiments were carried out at the Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile, from 1995 to 1998. Two experiments were carried out each year, with and without foliar fungus disease control, to evaluate genetic gains and foliar disease damage, respectively. Only the 1996 experiment demonstrated a larger grain yield associated with a genetic gain. In this year the genetic gain was 75 kg ha⁻¹ year⁻¹, with an annual relative genetic gain of 0.72%. An increase in biomass production was not detected. In the harvest index, a genetic gain of 0.26% was observed in 1996 and 0.22% in 1997, with annual relative genetic gains of 0.82% and 0.72%, respectively. The weight of a hectoliter showed genetic gains of 0.20; 0.11; 0.21 and 0.18 kg hL⁻¹ year⁻¹ during 1995, 1996, 1997 and 1998, respectively. Number of grains per spike and kernel weight did not show genetic gains. In conclusion, increases in grain yield, due to genetic gains, in the varieties distributed between 1969 and 1993 were not very evident. The average yields (t ha⁻¹) of all varieties tested with and without fungicides were: 8.01 vs. 8.05 in 1995; 10.44 vs. 8.42 in 1996; 8.81 vs. 7.02 in 1997, and 9.89 vs. 9.21 in 1998.

Key words: variety improvement, genetic gain, grain yield.

INTRODUCCIÓN

Evaluar experimentalmente el avance genético de variedades de trigo logrado a través de los

años, es un proceso que cumple con dos fines muy importantes: por una parte sirve a los mejoradores para revisar su metodología de trabajo, y por otra, para demostrar a los organismos que financian esta investigación sobre cuáles han sido los avances del mejoramiento genético, en aspectos tales como cantidad de variedades liberadas y su capacidad potencial de rendimiento. En este análisis está implícito el hecho que la adopción de variedades por parte del agricultor será más exitosa cuanto mayor sea el

¹Recepción de originales: 11 de noviembre de 1998. Trabajo presentado al 49 Congreso Agronómico efectuado en Santiago entre el 30 de noviembre y el 3 de diciembre de 1998.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile. Email: mmellado@quilamapu.inia.cl

potencial de rendimiento de ellas, o cuanto menor sea el costo para producir una unidad de grano de la variedad ofrecida. Sobre este último aspecto, Dalrymple (1980) citado por Feyerherm *et al.* (1984) señala que las contribuciones relativas del mejoramiento genético, y otros avances a la producción de trigo, son difíciles de cuantificar, debido a la dificultad de extrapolar la información de los experimentos a las condiciones del agricultor.

En la zona sur de Chile, Hewstone (1992) señala que mediante el trabajo de mejoramiento genético, en trigos primaverales y facultativos, durante el período 1961-1990, se ha logrado reducir la altura de planta con la incorporación de genes de enanismo, aumentar el número de espiguillas por espiga, y el número de granos por espiguilla. Señala además que el peso del hectolitro ha subido de 75 a 80 kg hL⁻¹, y el índice de cosecha de 33 a 40%. Estos últimos valores son similares a los encontrados por Mellado (1987), quien al analizar trigos antiguos de altura superior a 130 cm determinó un índice de cosecha promedio de 34%, comparado con un valor de 41% en trigos semienanos de 80 a 100 cm de altura. En relación a este punto Austin *et al.* (1980) determinaron que en la variedad Little Joss de 112-140 cm de altura, el índice de cosecha varió entre 34 y 36%, y que en la variedad semienana Hobbit de 64-80 cm, este índice osciló entre 48 y 50%. Además señalan que el índice de cosecha podría alcanzar a un 60%.

En Inglaterra, Austin *et al.* (1989) señalan que la ganancia genética en trigos de invierno liberados entre 1908 y 1978, fue de 30 kg ha⁻¹ año⁻¹, equivalente a una ganancia relativa anual de 0,46%, y en otro estudio donde analizan los trigos liberados entre 1908 y 1985, el aumento de rendimiento fue de 38 kg ha⁻¹ año⁻¹ con una ganancia relativa anual de 0,81%. Estos mismos autores citan a Feyerherm *et al.* (1984), quienes al analizar trigos de EE.UU., liberados entre 1934 y 1978, encontraron ganancias genéticas de 8 a 22 kg ha⁻¹ año⁻¹, equivalentes a una ganancia relativa anual de 0,34 y 0,74% respecti-

vamente. En otra publicación, Feyerherm *et al.* (1989) indican que en trigos de invierno liberados entre 1963 y 1982, los aumentos de rendimiento anuales atribuidos al mejoramiento genético variaron de 8 kg ha⁻¹ año⁻¹ en Dakota del Sur, a 39,8 kg ha⁻¹ año⁻¹ en Nebraska.

En Kansas, Cox *et al.* (1988) al evaluar 35 trigos de invierno introducidos o creados, entre 1874 y 1987, determinaron que el incremento de rendimiento fue de 16,2 kg ha⁻¹ año⁻¹, con una ganancia relativa anual de 0,72%; sin embargo, no encontraron cambios significativos en la producción de biomasa.

Respecto a los factores que han motivado los aumentos de rendimiento, Slafer y Andrade (1991) indican que un 50% del incremento en rendimiento de grano se debe a ganancia genética, y la diferencia a factores de manejo.

Analizando la contribución del mejoramiento genético, Van Dobben (1962), Austin *et al.* (1980) y Waddington *et al.* (1986), señalan que los aumentos de rendimiento que han ocurrido a través de selección, generalmente han mostrado una estrecha asociación con un mayor índice de cosecha. Sobre este punto, Berger y Planchon (1990) subrayan que el mejoramiento de la productividad del trigo harinero ha estado relacionado a cambios en la morfología y función de la planta, asociados con un aumento en el índice de cosecha, pero no con el rendimiento biológico, el que se ha mantenido más o menos constante. Coincidiendo con lo anterior, Van Dobben (1962) en Holanda, al comparar trigos invernales antiguos y modernos cultivados entre 1902 y 1955, determinó que los trigos modernos producen más grano, menos paja, pero una cantidad similar de materia seca sobre el suelo.

Cuando un programa de mejoramiento libera una nueva variedad, ésta debe tener alguna ventaja importante respecto a su predecesora, principalmente mayor rendimiento. Pero cabe preguntarse si ese mayor rendimiento relativo está asociado a genes de rendimiento, o es pro-

ducto del desgaste natural y biológico, producido principalmente por enfermedades, de las variedades que van siendo eliminadas de la producción comercial.

Los estudios dirigidos a medir el avance genético de rendimiento generalmente contemplan la incorporación de variedades antiguas, lo que de alguna manera permite detectar más fácilmente las mejoras genéticas. Empero, no es frecuente comparar el avance genético en un grupo de variedades de reciente liberación. Por ello en este estudio se presenta una evaluación del avance genético en rendimiento de grano, y algunas variables relacionadas, de diez variedades de trigo de invierno y hábito alternativo liberadas entre 1968 y 1993.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar los posible avances genéticos en el rendimiento de grano es necesario probar todas las variedades bajo análisis, en un mismo ensayo y con una tecnología común, tratando que no existan limitaciones hídricas ni nutricionales, y que las enfermedades sean controladas químicamente.

Con el objeto de satisfacer este requisito, todos los ensayos fueron realizados en suelos regados del Instituto de Investigaciones Agropecuarias,

Centro Regional de Investigación Quilmapu, Campo Experimental Santa Rosa (Lat. 36°31'34" S., Long. 71°54'40" O. y alt. 220 m.s.n.m), Chillán, Chile, durante los años 1995, 1996, 1997 y 1998. Las precipitaciones y temperaturas durante los años de estudio se indican en el Cuadro 1.

Cada experimento incluyó las mismas diez variedades ordenadas en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en una parcela de seis hileras de 2 m de largo separadas a 20 cm. Entre parcelas quedó una separación de 40 cm, y entre bloques la separación fue de 1,5 m.

Las diez variedades y el año de registro son las siguientes: Lilifén (1968), Andalién (1978), Andifén (1980), Lucero (1980), Labriego (1981), Lancero (1983), Lautaro (1985), Laurel (1985), Candela (1989) y Quelén (1993). La alturas y días desde siembra a espigadura de estas variedades se indican en el Cuadro 2.

Los experimentos se sembraron el 29, 30, 15 y 15 de mayo, de 1995, 1996, 1997 y 1998, respectivamente. La dosis de semilla fue de 160 kg ha⁻¹. La fertilización por hectárea, basada en análisis del suelo, fue de 150 kg de N como Sulfato Sódico y de 43 kg de P como Superfosfato Triple, durante 1995 y 1996. En 1997 y 1998 se

Cuadro 1. Precipitación y temperatura media en el Campo Experimental Santa Rosa durante 1995, 1996, 1997 y 1998, expresadas como desviaciones del promedio 1978-1989

Table 1. Precipitation and temperatures at the Santa Rosa Experiment Field for 1995, 1996, 1997 and 1998 expressed as deviations from the average 1978-1989

Año	Precipitación (mm)		Temperatura media (°C)	
	Enero-diciembre	Mayo-diciembre	Enero-diciembre	Mayo-diciembre
1995	-167	-175	+0,1	+0,3
1996	-490	-494	-0,1	+0,2
1997	+177	+62	+0,6	+0,4
1998	-568	-560	-0,1	-0,1
Promedio 1978/89	1.227	1.087	13,0	11,3

aplicaron 200 unidades de N, 64 unidades de P, y 41 unidades de K a la forma de Salitre Sódico, Superfosfato Triple y Muriato de Potasio.

Para evitar que las enfermedades foliares dañaran en forma diferencial a las distintas variedades, se realizó un control periódico de ellas mediante la aplicación de fungicidas del grupo químico de los triazoles, inhibidores sistémicos de la síntesis de ergosterol. Los productos se aplicaron en las dosis recomendadas por los fabricantes, con un intervalo aproximado de un mes, a partir del momento en que se hizo presente alguna enfermedad. Contiguo a este ensayo se sembró un experimento exactamente igual, y que se mantuvo sin protección de enfermedades foliares.

Las malezas de hoja angosta se controlaron con el graminicida sistémico Clodinafop-Propargil, en tanto que para eliminar las malezas de hoja ancha se aplicó una mezcla de MCPA y Metsulfuron Metil.

Las evaluaciones realizadas fueron las siguientes:

1. **Días de siembra a espigadura.** Registrados como los días transcurridos desde la siembra hasta que aproximadamente un 50% de las espigas de una parcela habían emergido completamente.
2. **Rendimiento de fitomasa.** Se cortaron con hechona, a ras de suelo, las plantas de trigo totalmente secas, de las cuatro hileras centrales de cada parcela, lo que equivale a una superficie de 1,6 m² de cada unidad experimental. Luego este material fue pesado en una balanza reloj sostenida en un tripode. Las parcelas fueron procesadas el mismo día, después que todas las variedades habían alcanzado completa madurez de cosecha. No fue necesario usar protecciones para evitar tendadura ya que no se presentó este fenómeno.

Cuadro 2. Algunas características de diez variedades de trigo harinero de invierno y de hábito alternativo

Table 2. Some characteristics of ten bread winter and facultative wheat varieties

Año de liberación	Variedad	Hábito de desarrollo	Días siembra espigadura ¹ . Promedio y (ES) ³	Altura de planta ² . Promedio y (ES) ³ cm
1968	Lilifén	Facultativo	166,1 (4,1)	121 (1,5)
1978	Andalién	Facultativo	160,5 (4,0)	115 (0,9)
1980	Andifén	Facultativo	162,3 (4,5)	124 (2,0)
1980	Lucero	Facultativo	149,6 (2,4)	112 (1,7)
1981	Labriego	Facultativo	165,6 (4,5)	117 (1,2)
1983	Lancero	Facultativo	167,6 (4,7)	100 (0,6)
1985	Lautaro	Invernal	157,8 (3,7)	117 (0,9)
1985	Laurel	Invernal	172,9 (4,9)	103 (0,9)
1989	Candela	Invernal	169,5 (4,1)	106 (1,2)
1993	Quelén	Facultativo	165,4 (4,5)	110 (1,0)

¹n = 8 datos; ²n = 24 datos; ³ES = Error estándar.

3. **Rendimiento de grano:** Determinado después de trillar toda la gavilla usada para evaluar la fitomasa ($t\ ha^{-1}$).
4. **Índice de cosecha:** Cuociente entre el rendimiento de grano y la fitomasa.
5. **Peso del hectolitro:** Peso del grano por unidad de volumen, determinado en una muestra de trigo libre de impurezas, empleando una balanza Schopper de 250 mL de capacidad.
7. **Número de granos por espiga:** Promedio de granos obtenidos al procesar 25 espigas por cada parcela.
8. **Peso de 1.000 semillas:** Se contaron 1.000 semillas tomadas al azar y se pesaron en una balanza con sensibilidad de centésimas de gramos.

Análisis de los datos

Se efectuó un análisis de varianza para los datos de cada variable, en años individuales, y para años combinados, esto último para determinar si existió interacción año por variedad. Este análisis se hizo separadamente para los experimentos con y sin fungicida. Para comparar las medias se usó el procedimiento de Dunnett (Steel y Torrie, 1960), usando como testigo a la variedad Lilifén por ser la más antigua de la serie analizada. En relación a una metodología sencilla de cálculo que permita determinar los posibles avances en el mejoramiento, McCaig y De Pauw (1995) señalan que los mejoradores generalmente expresan los rendimientos de los nuevos cultivares, tomando como referencia a una variedad standard, a fin de minimizar las fuentes de variación no genéticas.

En el presente estudio, para estimar la tasa promedio anual de ganancia en rendimiento de grano y en sus variables asociadas, se hizo una regresión de las medias de cada variedad, en cada año, con respecto al año de liberación de esa variedad, expresado como años transcurridos

desde la liberación de la primera variedad analizada. Esta metodología ha sido usada por muchos investigadores, entre ellos Lynch y Frey (1993) y Waddington *et al.* (1986). Además, para hacer comparables las ganancias obtenidas en las diferentes variables estudiadas, estos autores calculan una ganancia relativa, para lo cual dividen la ganancia genética por el valor promedio. También se establecieron correlaciones entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis combinado de varianza (año x variedad), estableció una interacción significativa ($P < 0,01$) para todas las variables analizadas, tanto en los ensayos con y sin fungicida foliar. Por las consideraciones anteriores los datos fueron analizados para cada año.

Rendimiento de grano

Los valores de F del análisis de varianza indicaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre variedades durante los cuatro años, en los experimentos con y sin fungicida foliar. En el Cuadro 3 se observa que en los años 1995 y 1998 las diferencias de rendimiento de las variedades con y sin fungicida foliar fueron solamente 0,03 y 0,68 $t\ ha^{-1}$; sin embargo, en 1996 y 1997 las diferencias de rendimiento a favor de las variedades con fungicida fueron de 2,02 y 1,78 $t\ ha^{-1}$, respectivamente.

La prueba estadística de Dunnett (d') estableció que cuando los trigos se protegieron de enfermedades foliares mediante fungicidas, sólo una variedad en cada año superó al testigo Lilifén, excepto en 1998, donde todas fueron iguales. Sin embargo, las diferencias fueron más numerosas en los experimentos sin fungicida, especialmente en 1995 y 1996, años en que la variedad testigo Lilifén se atacó fuertemente de roya estriada (80-90%). Así en 1995, ocho variedades superaron al testigo; todas las variedades rindieron más que el testigo en 1996; dos variedades fueron superiores en 1997, y cuatro en 1998.

Con respecto al avance genético en rendimiento, evaluado en los experimentos con protección química, el coeficiente de regresión (b) que mide dicho avance permitió establecer un aumento significativo ($P < 0,05$), sólo el año 1996, de $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, equivalente a una ganancia relativa anual de $0,72\%$. Este porcentaje se puede comparar con el $0,72\%$ indicado por Cox *et al.* (1988), o el $0,81\%$ señalado por Austin *et al.* (1989). Sin embargo, el hecho que sólo una variedad haya superado al testigo en 1996, estaría señalando que no ha existido un verdadero avance genético para rendimiento. Podrían existir varias causas que explican esta ausencia de avance genético. Así Cox *et al.* (1988) señalan que el progreso genético para rendimiento de grano esta influenciado por el tipo de epifitias que afecte a las variedades, en tanto que Feyerherm *et al.* (1984) mencionan que el impacto en mejoramiento genético para rendimiento de grano es inversamente proporcional a las limitaciones ambien-

tales. Se puede observar en el Cuadro 4 que la incidencia de las enfermedades fue variable entre los años.

Biomasa sobre el suelo

Los valores de F del análisis de varianza indicaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre cultivares.

Al comparar la biomasa en los experimentos con y sin fungicida (Cuadro 5) se observa que ésta difirió sólo en $0,6\%$ en 1995, y $3,4\%$ en 1998. Sin embargo, en 1996 y 1997 las diferencias fueron de $18,9$ y $27,2\%$, respectivamente, a favor de las variedades que recibieron fungicida. La biomasa en los experimentos con fungicida se correlacionó con la producción de grano. En efecto los coeficientes de correlación de Pearson, ($n = 33$) fueron $0,693$ ($P < 0,01$); $0,538$ ($P < 0,01$); $0,472$ ($P < 0,01$) y $0,253$ ($P < 0,05$), para

Cuadro 3. Rendimiento de grano (t ha^{-1}) de diez variedades de trigo durante cuatro años

Table 3. Grain yield (t ha^{-1}) of ten wheat varieties during four years

Variedad	Con fungicida foliar				Sin fungicida foliar			
	1995	1996	1997	1998	1995	1996	1997	1998
Lilifén	7,67	10,30	8,81	10,44	6,15	5,56	6,64	8,45
Andalién	7,88	10,18	9,23	10,58	8,28 ^a	9,31 ^a	6,89	10,30 ^a
Andifén	6,69	10,42	9,10	9,63	6,88	8,40 ^a	7,11	9,33
Lucero	9,48 ^a	8,23	8,06	9,26	9,58 ^a	7,80 ^a	6,01	8,58
Labriego	7,48	10,76	8,92	9,24	8,02 ^a	8,19 ^a	7,64 ^a	7,85
Lancero	8,77	11,01	9,77 ^a	10,65	8,59 ^a	9,07 ^a	7,17	10,24 ^a
Lautaro	7,79	10,53	8,50	8,76	7,86 ^a	9,04 ^a	8,43 ^a	8,71
Laurel	7,26	9,58	8,08	8,82	7,81 ^a	7,68 ^a	7,06	8,52
Candela	8,68	11,57	8,89	11,29	8,78 ^a	8,43 ^a	6,54	9,88 ^a
Quelén	8,00	11,86 ^a	8,68	11,01	8,52 ^a	10,63 ^a	6,74	10,28 ^a
\bar{X}	8,02	10,44	8,80	9,89	8,05	8,42	7,02	9,21
CV	10,3	5,8	4,2	5,48	9,6	7,7	4,5	5,01
d'	1,77	1,31	0,78	1,38	1,65	1,40	0,65	1,19
b	0,034NS	0,075*	-0,010NS	0,000NS	0,085*	0,153**	0,012NS	0,057*

^aValores estadísticamente superiores ($P = 0,05$) a la variedad testigo Lilifén, según la Prueba de Dunnett's (d').

b: Coeficiente de regresión de la característica sobre el año de liberación de la variedad. Valores no significativos (NS) y significativos al 5% y $1\%^{**}$, respectivamente.

Cuadro 4. Promedio de enfermedades en las diez variedades evaluadas**Table 4. Average number of diseases of the ten evaluated varieties**

Año	Roya estriada ¹ (<i>Puccinia striiformis</i> West.)	Roya colorada ¹ (<i>Puccinia recondita</i> Rob. ex. Desm.)	Septoriosis foliar ² (<i>Mycosphaerella</i> <i>graminicola</i>)
1995	14,0	13,6	3,1
1996	14,8	21,3	3,2
1997	0,0	0,0	6,6
1998	0,4	0,0	5,1

¹Coefficiente promedio de infección (Stubbs *et al.*, 1986).²Escala de 0-9 (Saari y Prescott, 1975).**Cuadro 5. Biomasa (t ha⁻¹) de diez variedades de trigo durante cuatro años****Table 5. Biomass (t ha⁻¹) of ten wheat varieties during four years**

Variedad	Con fungicida foliar				Sin fungicida foliar			
	1995	1996	1997	1998	1995	1996	1997	1998
Lilifén	24,79	37,50	32,50	29,06	21,25	25,00	24,79	26,25
Andalién	20,62	30,41	27,50	26,25	23,75	26,87	21,35	27,60
Andifén	20,83	34,58	33,54	27,08	20,83	28,64	23,33	27,19
Lucero	23,96	26,98	23,44	23,96	24,37	27,29	16,56	23,54
Labriego	20,94	33,75	28,44	25,83	22,50	26,77	23,54	23,33
Lancero	23,44	35,10	28,12	26,87	23,65	28,54	21,77	25,83
Lautaro	21,25	28,43	28,44	23,75	21,98	26,14	25,00	24,37
Laurel	20,10	36,04	27,92	25,21	21,25	30,62 ^a	23,23	25,00
Candela	23,30	36,67	28,75	29,79	24,06	29,37 ^a	22,60	25,00
Quelén	22,50	31,87	24,06	25,00	21,56	29,37 ^a	20,00	26,04
\bar{X}	22,17	33,13	28,27	26,28	22,52	27,86	22,22	25,41
CV	14,6	9,4	6,7	4,8	12,2	7,2	6,6	6,5
d'	7,06	6,75	4,05	3,22	5,588	4,27	3,15	4,18
b	-0,063NS	-0,077NS	-0,253**	0,084NS	0,019NS	0,191**	-0,086NS	-0,045NS

^aValores estadísticamente superiores (P = 0,05) a la variedad testigo Lilifén, según la Prueba de Dunnett's (d').

b: Coeficiente de regresión de la característica sobre el año de liberación de la variedad. Valores no significativos (NS) y significativos al 5%* y 1%** , respectivamente.

los años 1995, 1996, 1997 y 1998, respectivamente. Estas correlaciones confirman lo señalado por Hay y Walker (1992) quienes señalan que el rendimiento de grano está determinado primariamente por la biomasa del cultivo.

La prueba estadística de Dunnett (d') señala que con la excepción del experimento de 1996, sin fungicida, en que las variedades Laurel, Candela y Quelén produjeron más biomasa que el testigo Lilifén, en los otros ensayos ninguna variedad superó a Lilifén en esta característica.

En los experimentos de 1995, 1996 y 1998, no se observó ganancia genética de la biomasa, pero en 1997 el coeficiente b de regresión del experimento con fungicida señaló una pérdida significativa en la cantidad de biomasa, de 253 kg ha⁻¹ año⁻¹, equivalente a una disminución relativa anual de 0,89%.

El estancamiento en la producción de biomasa en los programas de mejoramiento ha sido señalado por varios autores, entre ellos, Van Dobben (1962), Berger y Planchon (1990) y Slafer y Andrade (1991).

Índice de Cosecha

Los valores de F del análisis de varianza indicaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre cultivos para todos los experimentos.

En el Cuadro 6 se observa que en los experimentos con fungicida los índices de cosecha oscilaron entre 27% en la variedad testigo Lilifén, y 39% en la variedad Lucero. En los experimentos sin fungicida los valores extremos también correspondieron a Lilifén con 23%, y Lucero y Quelén con 39%. De acuerdo con datos de Hewstone (1992) y Austin *et al.* (1980) estos valores son bajos para trigos de invierno. Según la prueba de Dunnett, durante todos los años, la variedades Andalién y Quelén fueron superiores al testigo, lo que demostraría un avance en el índice de cosecha de estas variedades.

Se determinó un mejoramiento genético significativo del índice de cosecha ($P < 0,05$) de 0,26% en el experimento de 1996, y de 0,22% en el experimento de 1997, lo que equivale a una ganancia relativa anual de 0,84 y 0,71%, res-

Cuadro 6. Índice de cosecha (%) de diez variedades de trigo durante cuatro años

Table 6. Harvest index (%) of ten wheat varieties during four years

Variedad	Con fungicida foliar				Sin fungicida foliar			
	1995	1996	1997	1998	1995	1996	1997	1998
Lilifén	31	27	27	36	29	23	27	32
Andalién	38 ^a	33 ^a	33 ^a	40 ^a	35 ^a	34 ^a	32 ^a	37
Andifén	31	30	27	36	33 ^a	29 ^a	30	34
Lucero	39 ^a	30	34 ^a	39	39 ^a	26	36 ^a	36
Labriego	36	32	31 ^a	36	35 ^a	30 ^a	32 ^a	34
Lancero	37 ^a	31	35 ^a	40 ^a	37 ^a	32 ^a	33 ^a	40 ^a
Lautaro	36	36 ^a	30	37	36 ^a	34 ^a	34 ^a	36
Laurel	33	25	29	35	34 ^a	25	30	34
Candela	34	31	30	38	34 ^a	28	29	40 ^a
Quelén	37 ^a	36 ^a	36 ^a	41 ^a	39 ^a	36 ^d	34 ^a	39 ^a
\bar{X}	35	31	31	38	35	30	32	36
CV	7,5	8,6	6,0	3,5	4,6	8,5	5,8	5,8
d'	5,0	5,0	3,4	3,3	3,4	5,0	3,4	5,4
b	0,00NS	0,26*	0,22*	0,00NS	0,29**	0,36**	0,00NS	0,29**

^aValores estadísticamente superiores ($P = 0,05$) a la variedad testigo Lilifén, según la Prueba de Dunnett's (d').

b: Coeficiente de regresión de la característica sobre el año de liberación de la variedad. Valores no significativos (NS) y significativos al 5%* y 1%** , respectivamente.

pectivamente. Sin embargo en estos mismos años los índices de cosecha no mostraron correlación con rendimiento de grano, pero sí una correlación negativa con la biomasa. Los valores de r ($n = 30$) fueron de $-0,618$ y $-0,809$, ambos significativos al 1%. No hubo correlación entre índice de cosecha y rendimiento de grano.

Número de granos por espiga

Los valores de F del análisis de varianza indicaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre cultivares para todos los experimentos.

De acuerdo a la prueba de Dunnett (Cuadro 7), cuando se aplicó fungicida, sólo las variedades Andifén, Andalién, Lancero y Quelén, superaron al testigo Lilifén en alguno de los cuatro años de experimentos, por lo que se podría decir que las variedades liberadas entre 1968 y 1993, en general, no han aumentado la fertilidad de sus espigas; esto difiere de lo señalado por Hewstone

(1992). Cuando no se aplicó fungicida, destacaron las variedades antes indicadas, y las variedades Lucero y Labriego.

No se detectó avance genético en el número de granos por espiga. Esto difiere de lo señalado por Mellado (1985) quién determinó que en trigos modernos (cultivados en la década del 80) el número de granos por espiga había aumentado en más de 60%, respecto a trigos antiguos cultivados en la década del cuarenta, lo que demostraría que 25 años de mejoramiento como los considerados en este estudio, sin usar como testigo a variedades anteriores a ese período, es un tiempo insuficiente para evaluar avance genético.

Peso de 1.000 semillas

Los valores de F del análisis de varianza indicaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre cultivares para todos los experimentos.

Cuadro 7. Número de granos por espiga de diez variedades de trigo durante cuatro años

Table 7. Number of grains per spike of ten wheat varieties during four years

Variedad	Con fungicida foliar				Sin fungicida foliar			
	1995	1996	1997	1998	1995	1996	1997	1998
Lilifén	49,7	47,0	51,4	54,8	46,2	38,5	44,9	50,0
Andalién	57,6	55,3	62,7 ^a	70,53 ^a	65,2 ^a	51,9 ^a	61,3 ^a	65,1 ^a
Andifén	55,0	63,3 ^a	51,7	59,46	55,0	50,5 ^a	49,9	53,0
Lucero	54,0	52,9	55,0	58,20	64,3 ^a	49,5	50,7	55,2
Labriego	45,7	54,1	50,9	57,23	53,8	52,8 ^a	52,2 ^a	57,9 ^a
Lancero	52,4	54,3	60,9 ^a	63,43	55,7	54,3 ^a	51,2	57,0 ^a
Lautaro	41,8	49,5	48,9	54,63	43,7	49,3	50,5	52,6
Laurel	42,0	44,9	42,2	53,80	44,5	43,5	43,1	50,7
Candela	50,4	54,7	50,2	50,13	48,7	46,3	45,9	51,9
Quelén	54,7	53,5	58,9 ^a	61,36	59,7 ^a	57,9 ^a	51,3	58,6 ^a
\bar{X}	50,3	52,9	53,3	58,36	53,7	49,4	50,12	55,2
CV	8,7	7,3	6,2	6,8	9,9	11,1	6,4	4,9
d'	9,35	8,33	7,14	10,05	11,37	11,71	6,93	6,82
b	-0,08NS	0,08NS	-0,02NS	-0,12NS	0,01NS	0,48**	-0,04NS	0,06NS

^aValores estadísticamente superiores ($P = 0,05$) a la variedad testigo Lilifén, según la Prueba de Dunnett's (d').

b: Coeficiente de regresión de la característica sobre el año de liberación de la variedad. Valores no significativos (NS) y significativos al 5%* y 1%** , respectivamente.

En peso de 1.000 semillas sobresale la variedad Lautaro, que con un peso promedio de 52,8 mg por grano superó al testigo en todos los experimentos (Cuadro 8). Este mismo cuadro señala que no ha existido avance genético en este componente de rendimiento. En los experimentos con fungicida, el peso de 1.000 semillas se correlacionó positivamente con el rendimiento de grano solamente en un ensayo ($r = 0,385$, $P < 0,05$); sin embargo, se correlacionó positivamente al 1%, con el peso del hectolitro en los cuatro ensayos. Los valores fueron 0,702 ; 0,755; 0,556 y 0,351, para los años 1995, 1996, 1997 y 1998, respectivamente. Valores significativos y muy semejantes se observaron también en los ensayos sin fungicida lo que demuestra la fuerte asociación entre estas dos variables.

Peso del hectolitro

Los valores de F del análisis de varianza indicaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre cultivares para todos los experimentos. Según la prueba de Dunnett sobresalieron las variedades Lautaro y Quelén, las que superaron a Lilifén en todos los ensayos. El peso del hectolitro fue la única característica que registró un avance genético durante los cuatro años de experimentos, con valores significativos al 1%, de 0,20 kg hL⁻¹ año⁻¹ en 1995; 0,11 kg hL⁻¹ año⁻¹ en 1996; 0,21 kg hL⁻¹ año⁻¹ en 1997, y 0,18 kg hL⁻¹ año⁻¹ en 1998 (Cuadro 9).

Cuadro 8. Peso 1.000 semillas (g) de diez variedades de trigo durante cuatro años

Table 8. One thousand kernel weight (g) of ten wheat varieties during four years.

Variedad	Con fungicida foliar				Sin fungicida foliar			
	1995	1996	1997	1998	1995	1996	1997	1998
Lilifén	48,50	44,80	46,53	51,33	44,50	36,76	43,67	48,10
Andalién	39,60	38,30	41,36	43,03	39,23	33,46	38,89	43,40
Andifén	44,97	41,43	43,86	44,70	46,30	38,90	42,84	43,80
Lucero	46,40	41,80	51,20 ^a	52,37	45,37	43,06 ^a	45,01	52,10 ^a
Labriego	41,57	40,07	39,20	43,20	39,30	35,60	37,91	44,66
Lancero	48,63	47,50	47,17	50,20	44,56	43,16 ^a	40,23	50,86
Lautaro	52,97 ^a	54,13 ^a	52,60 ^a	54,96 ^a	52,03 ^a	47,83 ^a	52,82 ^a	55,43 ^a
Laurel	43,73	40,73	44,60	47,56	43,00	36,10	43,67	48,23
Candela	49,00	44,60	45,53	48,86	46,83	39,03	38,40	49,70
Quelén	49,37	46,73	46,90	52,30	49,07	44,06 ^a	38,36	50,30
\bar{X}	46,47	44,01	45,89	48,85	45,02	39,80	42,18	48,66
CV	3,2	4,8	2,9	1,85	5,2	6,0	4,9	2,48
d'	3,18	4,58	2,91	2,30	5,01	5,16	4,46	3,01
b	0,19NS	0,22NS	0,09NS	0,13NS	0,27*	0,32*	-0,11NS	0,21*

^aValores estadísticamente superiores ($P = 0,05$) a la variedad testigo Lilifén, según la Prueba de Dunnett's (d').

b: Coeficiente de regresión de la característica sobre el año de liberación de la variedad. Valores no significativos (NS) y significativos al 5%* y 1%***, respectivamente.

Cuadro 9. Peso hectolitro (kg hL⁻¹) de diez variedades de trigo durante cuatro años**Table 9. Hectoliter weight (kg hL⁻¹) of ten wheat cultivars during four years**

Variedad	Con fungicida foliar				Sin fungicida foliar			
	1995	1996	1997	1998	1995	1996	1997	1998
Lilifén	80,88	80,88	80,13	78,65	80,13	80,82	80,35	76,70
Andalién	78,35	78,35	78,50	76,27	78,65	77,53	77,01	76,05
Andifén	80,28	80,28	80,73	79,17	80,82	79,16	80,41	78,22 ^a
Lucero	82,15	82,15 ^a	81,65 ^a	78,82	81,93 ^a	79,98	80,05	78,60 ^a
Labriego	81,27	81,27	81,18 ^a	79,40	81,63	79,70	80,96	78,50 ^a
Lancero	83,57 ^a	83,57 ^a	82,10 ^a	80,82 ^a	82,68 ^a	81,48	79,51	80,43 ^a
Lautaro	85,05 ^a	85,05 ^a	84,98 ^a	82,38 ^a	84,45 ^a	83,05 ^a	85,36 ^a	81,93 ^a
Laurel	82,90 ^a	82,90 ^a	82,82 ^a	81,12 ^a	82,62 ^a	79,61	83,03 ^a	80,88 ^a
Candela	82,02	82,02 ^a	81,25 ^a	79,15	81,86 ^a	78,65	80,81	78,72 ^a
Quelén	84,83 ^a	84,83 ^a	84,68 ^a	82,23 ^a	85,22 ^a	83,93 ^a	82,90 ^a	81,63 ^a
\bar{X}	82,13	81,67	81,80	79,80	82,00	80,39	81,04	79,17
CV	0,8	0,5	0,5	0,59	0,9	0,9	0,6	0,62
d'	1,41	0,90	0,85	1,20	1,61	1,64	1,09	1,24
b	0,20**	0,11*	0,21**	0,18**	0,22**	0,11*	0,17**	0,22**

^aValores estadísticamente superiores ($P = 0,05$) a la variedad testigo Lilifén, según la Prueba de Dunnett's (d').

b: Coeficiente de regresión de la característica sobre el año de liberación de la variedad. Valores no significativos (NS) y significativos al 5%* y 1%** , respectivamente.

CONCLUSIONES

Los datos de este estudio sugieren que el mejoramiento de cultivares ha tenido poco éxito sobre el potencial de rendimiento; sólo en un ensayo se encontró avance genético en rendimiento.

Aunque se determinó ganancia genética en peso del hectolitro en todos los experimentos, no fue

suficiente para influir significativamente en el rendimiento de grano durante los años de estudio.

Para nuestras condiciones, la característica más correlacionada con el rendimiento de grano fue la biomasa, por lo tanto será necesario darle mayor importancia a este factor en los procesos de selección.

RESUMEN

Se realizaron experimentos de campo con diez variedades de trigo de invierno y de hábito facultativo distribuidas comercialmente entre 1968 y 1993, para evaluar la ganancia genética en rendimiento de grano y sus variables asociadas. Los genotipos fueron desarrollados en el Proyecto de Mejoramiento de Trigo del Centro Regional de Investigación Quilamapu. Lilifén fue la pri-

mera variedad de este grupo, y se usó como variedad de referencia. Los experimentos se llevaron a cabo en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile, los años 1995 a 1998. En cada año se realizaron dos experimentos similares, con y sin control de enfermedades foliares, para evaluar la ganancia genética y el daño de las enfermedades, respectivamente. Sola-

mente el experimento de 1996 demostró un mayor rendimiento asociado a una ganancia genética. En este año la ganancia genética fue 75 kg ha⁻¹ año⁻¹ equivalente a una ganancia relativa anual de 0,72%. No se detectó aumento en la producción de biomasa. En índice de cosecha se observó una ganancia genética de 0,26% en 1996, y 0,22% en 1997, y una ganancia relativa anual de 0,82% y 0,72%, respectivamente. El peso del hectolitro mostró ganancia genética de 0,20; 0,11; 0,21 y 0,18 kg hL⁻¹ año⁻¹ durante 1995, 1996, 1997 y 1998, respectivamente. El número de granos por

espiga y el peso de la semilla no mostraron ganancia genética. Se concluye que no fue muy evidente el aumento de rendimiento debido a ganancia genética en las variedades distribuidas entre 1968 y 1993. Los promedios de rendimiento (t ha⁻¹) de todas las variedades con y sin fungicida fueron: 8,01 vs 8,05 en 1995; 10,44 vs 8,42 en 1996; 8,81 vs 7,02 en 1997, y 9,89 vs 9,21 en 1998.

Palabras claves: mejoramiento de variedades, ganancia genética, rendimiento de grano.

LITERATURA CITADA

- AUSTIN, R. B.; BINGHAM, J.; BLACKWELL, R. D.; EVANS, L. T.; FORD, M. A.; MORGAN, C. L. AND TAYLOR, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 94: 675-689.
- AUSTIN, R. B.; FORD, M. A. AND MORGAN, C. L. 1989. Genetic improvement in the yield of winter wheat: a further evaluation. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 112: 295-301.
- BERGER, M. AND PLANCHON, C. 1990. Physiological factors determining yield in bread wheat - effects of introducing dwarfism genes. *Euphytica* 51: 33-39.
- BROOKING, I. R. AND KIRBY, E. J. M. 1981. Interrelationships between stem and ear development in winter wheat: the effect of Norin 10 dwarfing gene, Gai/Rht2. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 97: 373-381.
- COX, T. S.; SHROYER, J. P.; LIU, BEN-HUI; SEARS, R. G. AND MARTIN, T. J. 1988. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. *Crop Science* 28: 756-760.
- FEYERHERM, A. M.; PAULSEN, G. M. AND SEBAUGH, J. L. 1984. Contribution of genetic improvement to recent wheat yield increases in the USA. *Agronomy Journal* 76: 985-990.
- FEYERHERM, A. M.; KEMP, K. E. AND PAULSEN, G. M. 1989. Genetic contribution to increased wheat yields in the USA between 1979 and 1984. *Agronomy Journal* 81: 242-245.
- HAY, R. M. AND WALKER, A. J. 1992. An introduction to the physiology of crop yield. New York, USA. John Wiley & Sons. p. 159-187.
- HEWSTONE, M. C. 1992. Avances en rendimiento de trigos primaverales y alternativos en la Estación Experimental Carillanca. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca* N° 11. p. 3-7.
- LYNCH, P. J. AND FREY, K. J. 1993. Genetic improvement in agronomic and physiological traits of oats since 1914. *Crop Sci.* 33: 984-988.
- MCCAIG, T. N. AND DE PAUW, R. M. 1995. Breeding hard red spring wheat in western Canada: historical trends in yield and related variables. *Can. J. Plant Sci.* 75: 387-393.

- MELLADO Z., M. 1987. Respuesta al nitrógeno y fósforo de variedades de trigo altas y semi-enanas. I. Variaciones en el rendimiento de grano y sus componentes. Agricultura Técnica (Chile) 47(2): 152-159.
- MELLADO Z., M. 1985. Mejoramiento genético del trigo de pan en relación a calidad de grano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Quilamapu. Chillán, Chile. Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu N° 23. p. 15-18.
- SAARI, E. E. AND PRESCOTT, J. M. 1975. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. Plant. Dis. Reporter 59: 377-380.
- SLAFER, G. A. AND ANDRADE, F. H. 1991. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world: a review. Euphytica 58: 37-49.
- STEEL, G. D. AND TORRIE, H. J. 1960. Principles and procedures of statistics. Mc Graw-Hill. New York, USA. p. 111-112, 173.
- STUBBS, R. W.; PRESCOTT, J. M.; SAARI, E. E. AND DUBBIN, H. J. 1986. Cereal disease methodology manual. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 46 p.
- VAN DOBBEN, W. H. 1962. Influence of temperature and light conditions on dry matter distribution, development rate and yield in arable crops. Netherlands Journal of Agricultural Science 10: 377-389.
- WADDINGTON, S. R.; RANSOM, J. K.; OSMANZAI, M. AND SAUNDERS, D. A. 1986. Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to Northwest Mexico. Crop Sci. 26: 698-793.