

# SELECCION RECURRENTE PARA RENDIMIENTO Y OTROS CARACTERES CUANTITATIVOS EN TRIGO<sup>1</sup>

## Recurrent selection for yield and other quantitative characters in wheat

René Cortázar S.<sup>2</sup> y Ernesto Hacke E.<sup>2</sup>

### SUMMARY

Selection for yield in the segregating generations has a low efficiency; this delays selection till the breeding material becomes homozygote. The probability to obtain, at this advanced time, homozygote genotypes for all the genes for yield that differentiate the parents, is minimal. One can only select the best, among individuals that have only a part of the genes coming from the parents.

By means of recurrent selection, one could raise significantly the proportion of individuals with a higher number of genes for any quantitative character. In this paper, the way to obtain this objective is described, using two methods: a. with gametocides (Ethrel); and b. using a line with pollen sterility, due to a dominant gene.

At the La Platina Exp. Sta. (INIA, Santiago), recurrent selection is being applied in wheat, with three objectives: a. gene concentration for horizontal resistance to *Puccinia striiformis* and *P. graminis*; b. yield improvement; and c. gene concentration for resistance to BYDV. These programs are under way only for the last two years.

En los programas de mejoramiento genético en plantas, la selección para caracteres cuantitativos de baja heredabilidad es, en general, muy poco eficiente. Esto es especialmente claro en el caso de la selección para rendimiento, que sin duda es uno de los aspectos que más importancia tiene para el agricultor.

Durante el período de selección, en un cruzamiento llevado por el método genealógico, hay una selección indirecta para rendimiento, a través de la eliminación de defectos, como ser:

- a. variedades de paja corta, que permiten mejorar las abonaduras;
- b. plantas resistentes a las enfermedades e insectos;
- c. plantas resistentes al desgrane;
- d. plantas que resisten o escapan a problemas meteorológicos, heladas, lluvias excesivas, sequía, etc.

Sin embargo, la selección para obtener un aumento de rendimiento *per se*, es decir obtener plantas con mayor número de genes para rendimiento, no es efectiva en las generaciones segregantes, por tratarse de plantas individuales, y es necesario esperar para hacer la selección en la generación F6 o posteriores, cuando ya se tienen plantas homocigotas y que se pueden comparar entre sí, en ensayos de rendimiento.

La misma situación ocurre al llevar el cruzamiento por el método masal, ya que la determinación del rendimiento se hace cuando las plantas son homocigotas. A medida que se atrasa la selección, disminuye la posibilidad de encontrar el individuo que se desea, como puede verse en el Cuadro 1 (Shebeski y Evans, 1973).

En el Cuadro 2, se presenta lo que ocurre en la generación F7, en un cruzamiento en que los padres se diferencian en 20 genes para rendimiento, teniendo uno de los padres 12 y el otro 8, de dichos genes. Como puede verse, la mayoría de los descendientes serían iguales o inferiores al mejor padre. Si se contara con 100 plantas F7, no se esperaría ninguna homocigota, con 20, 19, 18, 17 ni 16 genes deseables; una tendría 15; tres 14; cinco 13 y nueve 12. Como este carácter

<sup>1</sup> Recepción de originales: 9 de enero de 1987.

Trabajo presentado en el XXXVI Congreso Agronómico Anual de la SACH, Valdivia, 1985.

<sup>2</sup> Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

**CUADRO 1. Proporción de plantas con todos los genes deseables, en las distintas generaciones (Shebeski y Evans, 1973)****TABLE 1. Proportion of plants with all the desirable genes, in different generations (Shebeski and Evans, 1973)**

Número de genes diferentes	F2	F4	F6
5	24/100	6/100	4/100
10	6/100	3/1.000	1/1.000
15	1/100	2/10.000	5/100.000
20	3/1.000	1/100.000	2/1.000.000
30	2/10.000	3/100.000.000	2/1.000.000.000

**CUADRO 2. Proporción de homocigotas, con diferente número de genes, e individuos heterocigotas en el F7 de un cruzamiento con 20 genes diferentes****TABLE 2. Proportion of homozygotes, with different number of genes, and heterozygotes individuals in the F7 of a cross with 20 different genes**

Nº de genes homocigotas deseables	Nº de individuos en cada clase	
	En una población	En una muestra de 100 ind.
20	1	
19	20	
18	190	
17	1.140	
16	4.845	
15	15.504	1,1
14	38.760	2,7
13	77.520	5,4
12	125.970	8,8
11	167.960	11,7
10	184.756	12,9
Menos de 10	431.910	30,0
Total homocigotas	1.048.576	
Heterocigotas	388.198	27,0
Total	1.436.774	99,6

es muy influido por el medio ambiente, la posibilidad de encontrar plantas que tengan, por ejemplo, 2 genes más que el padre mejor, son casi nulas. Es decir, en la mayoría de los cruzamientos, las líneas resultantes serán muy similares al mejor padre, en relación con el número de genes.

Se han propuesto diferentes métodos para seleccionar por rendimiento en plantas individuales y, entre éstos, se puede mencionar;

- rendimiento de las plantas F2;
- componentes de rendimiento;
- índice de cosecha;

d. hojas erectas; y

e. número de granos por espiguilla.

Si se revisa la literatura sobre estos métodos, se encuentra información contradictoria. Sólo mencionaremos algunos de los trabajos publicados. La selección en plantas F2, para predecir los rendimientos en generaciones posteriores, ha sido inconsistente y muchas veces se ha encontrado muy bajas correlaciones (Whan, Rathjen y Knight, 1981). Al estudiar, en la generación F4, el efecto de la selección para rendimiento en plantas F2, se encontró que fue sólo un poco superior a la elección de líneas a la suerte, cuando las investigaciones se hicieron en diferentes años (Whan, Knight y Rathjen, 1982).

En relación con la selección para componentes de rendimiento, gran parte de las investigaciones muestran que se produce una compensación entre los diferentes componentes: el aumento de uno tiende a ir acompañado de un cambio negativo en otro. Debido a esto, el aumento de rendimiento producido por la selección de un componente de rendimiento, ha probado ser poco efectivo (Donald y Hamblin, 1976).

Muchas informaciones han indicado que la selección para mejor índice de cosecha puede ser beneficiosa; sin embargo, varios trabajos muestran que esta selección no fue efectiva, o fue inferior a la selección directa por rendimiento (Whan y otros, 1981 y 1982).

En relación con la selección para hojas erectas o número de granos por espiguilla, se las ha recomendado y se utilizan en algunos programas. Sin embargo, ninguno de los métodos indicados, ha tenido una aceptación generalizada en los programas de mejoramiento en el mundo.

Mientras no se demuestre que existe algún sistema que permita seleccionar para aumento de rendimiento en plantas individuales, se estima que podrá dar buenos resultados la selección recurrente. Esta permite la reelección, generación tras generación, con in-

tercruzamientos entre los individuos seleccionados, produciéndose recombinación genética (Hull, 1952). La ventaja de este sistema es que el límite de avance para un carácter no queda fijado por el genotipo de una planta, sino que por las combinaciones más favorables de un grupo de plantas seleccionadas.

Este método de mejoramiento se ha usado en gran escala en maíz, pero en general ha sido poco usado en plantas de autofecundación, por las dificultades para hacer el cruzamiento entre muchos descendientes. Sin embargo, en forma limitada, se ha usado en plantas de autofecundación para caracteres que no dependen de la acción de muchos genes, como es el caso del peso del grano, en trigo y en garbanzo, y para contenido de proteína, en soya (Busch y Kofoed, 1982; Townsend, 1977; Miller y Fehr, 1979).

Sin embargo, el uso de este método es muy difícil de aplicar a caracteres que dependen de muchos genes, por la gran cantidad de cruzamientos que sería necesario efectuar. En la actualidad, es posible aplicar la selección recurrente en trigo usando gametocidas, como es el caso del Ethrel u otros productos. También es posible usar esterilidad genética de polen, o esterilidad citoplasmática, y genes restauradores. Usando genes dominantes para esterilidad de polen, es posible efectuar fácilmente todos los cruzamientos necesarios para desarrollar un programa de selección recurrente (Sorrells y Fritz, 1982).

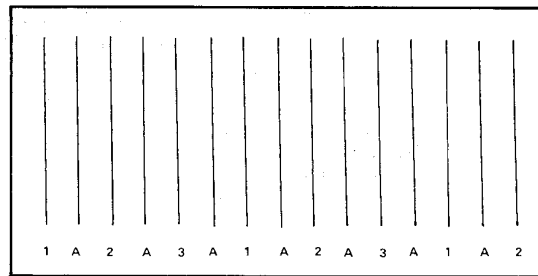
La selección recurrente permite aumentar la frecuencia de los genes convenientes en la población, mejorando la posibilidad de seleccionar buenos individuos.

### METODOS EMPLEADOS

En el Programa Trigo de la Est. Exp. La Platina (INIA, Santiago), se está desarrollando trabajos de mejoramiento con selección recurrente, empleando dos métodos para producir la esterilidad del polen: a. uso del gametocida Ethrel; y b. uso de esterilidad genética de polen, debida a un gen dominante.

#### Selección recurrente para rendimiento usando Ethrel

Primer año: Siembra de mezcla de variedades seleccionadas. Con el objeto de facilitar el cruzamiento entre las diferentes variedades, se siembra en tres épocas, tal como se indica en la Figura 1. Los números indican la época de siembra y las hileras marcadas con la letra A, serán las hileras tratadas con Ethrel. En estas hileras, el Ethrel producirá esterilidad de polen, lo que permitiría el cruzamiento de estas plantas con el polen producido en las demás hileras. Se cosecha sólo las hileras A.



**FIGURA 1.** Esquema de siembra para selección recurrente. Los números corresponden a las épocas de siembra de las hileras polinizadoras. Las A indican hileras hembras.

**FIGURE 1.** Sketch of sowing for recurrent selection. Numbers indicate time of seeding for pollinator lines, and letters (A) indicate female lines.

Segundo año: Se siembra el material cosechado en A, en igual forma que el año anterior, y se vuelve a tratar con Ethrel las hileras con la letra A. Se cosechan las hileras A.

Tercer año: Se siembra el material cosechado en A y se selecciona las plantas con las mejores características agronómicas. Se estima que se debe seleccionar entre 200 y 400 plantas.

Cuarto año: Se ponen en ensayos con repeticiones las plantas seleccionadas el año anterior y se selecciona el 100% de mejor rendimiento.

Quinto año: El material seleccionado el año anterior, se siembra en igual forma que el primer año. Se cosecha sólo las plantas de las hileras A.

Sexto año: Se procede igual que en el tercer año.

Séptimo año: Se repite el mismo procedimiento que en el cuarto año.

Octavo año: Se continua como en el quinto año.

#### Selección recurrente con esterilidad genética del polen

Primer año: Siembra del material macho estéril en las hileras marcadas con A, en la Figura 1. Las hileras restantes se siembran con una mezcla de las variedades seleccionadas para el carácter que se desea mejorar, efectuando la siembra en tres épocas, de acuerdo con lo indicado en la figura. En el momento de la flor escencia, se elimina de las hileras A las plantas que producen polen, ya que se espera que la mitad de las plantas en esta hilera sean fértiles.

Segundo año: Se siembra en igual forma que el año anterior, usando como material macho estéril, la semilla obtenida en las hileras A del año anterior. Este

material tiene un promedio de 50% de los genes de las variedades seleccionadas y 50% de los genes de la variedad macho estéril. Todo lo demás igual que el año anterior. Se cosecha sólo las hileras A.

Tercer año: Se siembra el material cosechado el año anterior y se selecciona por el carácter deseado, de preferencia antes de la florescencia. Este material tiene en promedio un 75% de los genes de las variedades seleccionadas y 25% de los genes de la variedad macho estéril. Se selecciona plantas fértiles y plantas macho estériles.

Cuarto año: De acuerdo con la Figura 1, en las hileras A se usa semilla de las plantas macho estériles cosechadas el año anterior. En las demás hileras, se siembra la semilla de las plantas fértiles, en tres épocas de siembra. En las hileras A, se eliminan las plantas fértiles. Se selecciona, en las hileras A, las plantas estériles. En las demás hileras se selecciona las plantas fértiles.

Quinto año: Igual que en el cuarto año.

#### Efecto de la selección recurrente en la modificación de la frecuencia de los genes

Para analizar este efecto, se considera un caso en que los padres se diferencian en 10 genes, con indicación del número de mayúsculas en cada clase (Cuadro 3). Si en una muestra de 1.000 individuos se selecciona el 10% mejor y se supone que hay 100% de heredabilidad, la relación entre genes mayúsculas y minúsculas,

en la siguiente generación, se analiza en el Cuadro 4. Es decir, que la frecuencia de las mayúsculas aumentó de 0,5, en la población original, a 0,693, después del primer ciclo.

#### CUADRO 4. Frecuencia de genes mayúsculas, al seleccionar el 10% mejor de una muestra de 1.000 individuos de un F2 en que los padres se diferencian en 10 genes

TABLE 4. Frequency of capital letter genes, when selecting the better 10% of a sample with 1.000 individuals of a F2, in which the parents differ in 10 genes

Nº mayúsculas en individuos de cada clase	Nº individuos en cada clase	Nº genes producidos en cada clase	
		Mayús.	Minús.
17	1	17	3
16	5	80	20
15	15	225	72
14	37	518	222
13	42	546	294
Total	100	1.386	614

Genes: 1.386 mayúsculas + 614 minúsculas = 2.000 totales  
Proporción mayúsculas/total genes = 1.386/2.000 = 0,693

La posibilidad de obtener un individuo homocigoto para todos los genes subiría de 1 en 1.000.000 [(0,25)<sup>10</sup>], en la población original, a 6,5 en 10.000, en la nueva población [(0,48)<sup>10</sup>].

Como se trata de un carácter de baja heredabilidad, no se esperaría un progreso tan grande en una generación. Sin embargo, al efectuar los ensayos en buenas condiciones, sería posible conseguir un aumento apreciable en la cantidad de individuos con mayor número de genes. Al repetir el ciclo, se obtendría nuevos progresos.

Si el carácter depende de 20 genes, la diferencia de selección por diferentes niveles de frecuencia de genes, se presenta en el Cuadro 5. Como puede verse, si el rendimiento depende de muchos genes, como se espera, las posibilidades de obtener individuos con gran número de genes es prácticamente nula, si no se emplea un método como la selección recurrente.

#### Estado actual de las investigaciones en la Est. Exp. La Platina (INIA, Santiago)

Desde hace tres años se está trabajando en tres programas, usando Ethrel: selección para resistencia horizontal, en *Puccinia striiformis*; selección para resistencia horizontal, en *P. graminis*; y selección para rendimiento.

#### CUADRO 3. Número de individuos con diferentes números de mayúsculas en un F2 en que los padres se diferencian en 10 pares de genes

TABLE 3. Number of individuals with different numbers of capital letters, in a F2 in which the parents differ in 10 pairs of genes

Número de mayúsculas	Nº de individuos en cada clase	
	En una población	En una muestra de 1.000 ind.
20	1	
19	20	
18	190	
17	1.140	1
16	4.845	5
15	15.504	15
14	38.760	37
13	77.520	74
12	125.970	120
11	167.960	160
10	184.756	176
Demás clases	431.910	412
Total	1.048.576	1.000

**CUADRO 5. Posibilidades de encontrar un homocigota para todos los genes convenientes en el F<sub>2</sub>, en una población donde segregan 20 pares de genes y la frecuencia de los genes varía entre 0,5 y 0,95**

**TABLE 5. Possibilities of obtaining one homozygote for all the convenient genes in the F<sub>2</sub>, in a population where 20 pairs of genes segregate and the genes' frequency varies from 0.5 to 0.95**

Frecuencia de genes convenientes	Número de individuos homocigotas en la población para todos los genes convenientes
0,5	1,1 de 1.000.000.000.000
0,6	1,3 de 10.000.000.000
0,7	6,0 de 10.000.000
0,8	1,3 de 10.000
0,9	1,5 de 100
0,95	1,3 de 10

Hasta ahora, en estos programas con Ethrel ha habido problemas, porque el producto no ha sido un gametocida muy eficiente, produciendo niveles de esterilidad muy inferiores a los presentados en la literatura. Se sigue ensayando métodos para mejorar su eficiencia. En los tres programas, se está comenzando el segundo ciclo.

Usando esterilidad genética de polen, se está seleccionando para: rendimiento, en que se sembró el segundo año con el método; tolerancia a la virosis; y resistencia horizontal a *P. striiformis* y *P. graminis*; estos tres últimos programas están en su primer año.

## RESUMEN

La selección para rendimiento es muy poco eficiente en las generaciones segregantes, lo que posterga esta selección para el período en que el material se hace homocigota. La probabilidad de obtener, en esta etapa, genotipos homocigotas para todos los genes para rendimiento en que se diferencian los padres, es mínima. Sólo se puede seleccionar los mejores, entre individuos que sólo cuentan con una parte de los genes de los padres.

Se estima que por medio de la selección recurrente se podría mejorar significativamente la proporción de individuos con mayor número de genes para cualquier

carácter cuantitativo. Se describe la forma de obtener este objetivo, usando dos métodos: a. empleo de un gametocida (Ethrel); y b. aprovechamiento de una línea con esterilidad de polen, debido a un gen dominante.

En la Est. Exp. La Platina (INIA, Santiago), se está aplicando selección recurrente en trigo, con tres objetivos: a. concentración de genes para resistencia horizontal en *P. striiformis* y *P. graminis*; b. mejoramiento para rendimiento, y c. concentración de genes para resistencia al virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC).

## LITERATURA CITADA

BUSCH, E.E. and KOFOID, K. 1982. Recurrent selection for kernel weight in spring wheat. *Crop Sci.* 22: 568-572.

DONALD, C.M. and HAMBLIN, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. En: *Advance in Agronomy* 28: 361-405.

HULL, F.H. 1952. Recurrent selection and overdominance. En: J.W. Gowern (ed.). *Heterosis*. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa. p.: 451-473.

MILLER, J.E. and FEHR, W.R. 1979. Direct and indirect recurrent selection for protein in soybeans. *Crop Sci.* 19: 101-106.

SHEBESKI, L.H. and EVANS, L.E. 1973. Early generation for wide range adaptability in the breeding program. Fourth International Wheat Genetics Symposium, Columbia, Missouri. August 6th-11th, 1973.

SORRELLS, M.E. and FRITZ, S.E. 1982. Application of a dominant male-sterile allele to the improvement of self-pollinated crops. *Crop Sci.* 22: 1033-1035.

TOWNSEND, C.E. 1977. Recurrent selection for high seed weight in cicer milkvetch. *Crop Sci.* 17: 473-476.

WHAN, B.R.; RATHJEN, A.J.; and KNIGHT, R. 1981. The relation between wheat lines derived from the F2, F3, F4 and F5 generations for grain yield and harvest index. *Euphytica* 30: 419-430.

WHAN, B.R.; KNIGHT, R.; and RATHJEN, A.J. 1982. Response to selection for grain yield and harvest index in F2, F3 and F4 derived lines of two wheat crosses. *Euphytica* 31: 139-150.