

EVALUACION DE LINEAS DE AVENA EN UNA SOLA REPETICION

EVALUATION OF OAT LINES IN ONLY ONE REPLICATION

Jaime Sahagún Castellanos¹

RESUMEN

Dada la importancia de ahorrar recursos en la evaluación de genotipos, se planeó un estudio con el fin principal de conocer la eficiencia de la comparación de líneas de avena (*Avena sativa* L.), utilizando una en relación a dos repeticiones. Se usaron dos poblaciones de 529 líneas de avena F₃ derivadas en la F₃ de dos fuentes genéticas. Cada población se ensayó en un experimento con dos repeticiones en cuatro ambientes. Los criterios utilizados para medir la eficiencia fueron: correlaciones con los valores genotípicos, ganancias producidas por la selección y porcentajes de líneas superiores retenidas. Los resultados indicaron que es posible realizar una selección eficiente cuando la evaluación se hace en una sola repetición y que resulta más importante el seleccionar un ambiente adecuado y un material genético favorable que el realizar la evaluación en una o en dos repeticiones.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Avena sativa L., ganancia genética, eficiencia en la selección, ambiente de selección.

SUMMARY

Because of the importance of saving resources devoted to genotypic evaluation, an study was designed to measure the efficiency of the evaluation in one in relation to two replicates, of 529 F₃ derived lines of oats (*Avena sativa* L.) from each of two populations in F₃. The evaluation of each population was conducted in an experiment with two replicates in four environments. The criteria used to measure the efficiency were: correlations with the genotypic values, genetic gains from selection, percentages of superior lines that were retained when discard of lines was practiced which indicated that: Selection was efficient on the basis of one replicate and that success from selection was more dependent upon the genetic

material being tested and the type of environment than from the number of replicates.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Avena sativa L. Genetic gain, selection efficiency, selection environment.

INTRODUCCION

Aunque los fitomejoradores pueden estar en desacuerdo en muchos aspectos del mejoramiento genético, siempre coincidirán en considerar como indispensable la realización de una eficiente evaluación de campo tendiente a la determinación del verdadero valor genotípico de sus materiales (líneas, híbridos, clones, familias, etc.).

Idealmente, la evaluación se debe realizar en experimentos de campo, utilizando un diseño experimental adecuado y varias repeticiones, localidades y años. Sin embargo, en ocasiones hay escasez de semillas y/o recursos tales que el uso de varias repeticiones, localidades y años, puede resultar verdaderamente difícil y aún imposible.

El ensayo de genotipos en una sola repetición no permite la estimación del error experimental, en consecuencia, no produce una medida de la calidad de la información que se obtiene. El carecer de dicha medida, sin embargo, no implica necesariamente que la información sea inútil. Precisamente la hipótesis de este trabajo es que con una repetición la selección puede ser eficiente. Tiene que aceptarse, no obstante, que el uso de las repeticiones debe permitir una

¹ Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, CP 56230.

disminución de la varianza con que se estiman los valores genotípicos verdaderos. Así las cosas, resulta entonces importante tener una idea de la magnitud de esa disminución. Obviamente, desde el punto de vista del fitomejorador sería más importante determinar tal reducción de magnitud, más que en términos estadísticos, en alguna medida que refleje su impacto en el avance genético.

Este trabajo fue realizado con el fin principal de estudiar la eficiencia de la evaluación de líneas experimentales de avena con base en los valores fenotípicos observados en una sola repetición con respecto a la obtenida cuando la evaluación se hace en dos repeticiones. Adicionalmente, se pretende estudiar la importancia que en la evaluación genotípica pueden tener tanto el ambiente de prueba como el material genético.

REVISION DE LITERATURA

Fisher (1925) estableció los principios básicos de los diseños experimentales conocidos como aleatorización, estratificación y repetición. La aleatorización, sin prescindir de las repeticiones, asegura la obtención de estimadores insesgados de la varianza del error. Por su parte, la estratificación permite, cuando es bien realizada, una reducción del error experimental. En el contexto de la evaluación genotípica, las repeticiones o sea el número de parcelas experimentales en que se siembra cada genotipo, es una herramienta que disminuye la distorsión de los valores genotípicos causada por la heterogeneidad del suelo.

Por otro lado Fehr (1987) indica que cuando un genotipo es evaluado en una sola repetición puede suceder que se le asigne, por azar, una parcela que tenga una productividad superior al promedio, lo que hará

que se le considere genéticamente superior aunque realmente no lo sea.

Cuando el fitomejorador no dispone de semilla suficiente y/o de recursos para ensayar los genotipos y se ve obligado a usar una sola repetición, cuenta con varios procedimientos. Dos de éstos son el método de promedios móviles (Richey, 1924, 1926) y el método del testigo vecino (Wood y Stratton, 1910). Aunque estos procedimientos usan el principio de estratificación, no permiten la obtención de estimadores insesgados del error experimental.

Con el fin de evitar algunos de los problemas que surgen con los experimentos que sólo utilizan una repetición, Federer (1956) creó los diseños aumentados. Estos son diseños estándar que incluyen tratamientos (genotipos) adicionales en los bloques completos, bloques incompletos, hileras, columnas, etc. (Federer, 1961). Un diseño aumentado en el cual v testigos se repiten r veces, y b genotipos experimentales se siembran una vez, se analiza en base a los datos de los testigos, de los genotipos experimentales y a una estimación de la varianza del error, que se utiliza para las comparaciones de los genotipos de interés (Federer y Raghavarao, 1975). Sin embargo, Lin y Poushinsky (1983) indican que si los testigos se asignan al azar, su distribución puede no ser adecuada para realizar ajustes para corregir efectos debidos a la heterogeneidad del suelo.

Otros estudios relacionados con el presente problema suponen que la correlación entre parcelas decrece linealmente con su distancia (Briggs y Shebesky, 1968; Leclerg, 1966); sin embargo, no han estado exentos de problemas. Así, Lin y Poushinsky (1983) concluyen que la asignación al azar de los testigos (Federer, 1956) podría no producir ajustes adecuados.

MATERIALES Y METODOS

En este estudio se utilizaron dos poblaciones de avena de 529 líneas F_5 derivadas en la F_3 . Una (W2) fue derivada de un híbrido interespecífico de la forma *Avena sativa* x *A. sterilis*, retrocruzada con dos variedades de la primera especie. La otra (C2) partió de un compuesto de nueve cruces triples entre seis variedades de avena. Adicionalmente, se usaron como testigos cinco variedades de avena: Larry, CI 9190, Noble, Otee y Stout.

Cada población fue evaluada en un diseño en bloques al azar con dos repeticiones en cuatro ambientes del estado de Iowa: Kanawha 1982 (K), Ames 1982 (A2), Ames 1983 (A3) y Sutherland 1982 (S). Cada testigo se repitió 23 veces en cada bloque. La asignación de los genotipos a las parcelas se hizo al azar. El procedimiento consistió en que de cada 28 parcelas contiguas 23 se asignaron completamente al azar a 23 líneas y las 5 restantes a los testigos. Estos fueron utilizados sólo para calcular el coeficiente de variación. Los experimentos se condujeron bajo condiciones de temporal, de acuerdo con el manejo común de la zona. Cada parcela fue una mata sembrada con 30 semillas con un espaciamiento de 30.5 cm en direcciones perpendiculares. Para proporcionar competencia a las parcelas de la periferia se sembraron dos hileras de parcelas alrededor de los experimentos.

Para determinar la eficiencia de la selección basada en información de una sola repetición respecto a la de dos, se tomaron como referencia los valores genotípicos de las líneas. Estos fueron estimados mediante los promedios de los rendimientos de grano (RG) de cada línea, obtenidos de experimentos conducidos en 1980 y 1981, en tres localidades del estado de Iowa. En ellos se utilizó un diseño en bloques al azar con seis

repeticiones el primer año y dos en el segundo (Murphy y Frey, 1984).

Los criterios utilizados para determinar la eficiencia fueron tres: (1) coeficientes de correlación entre los valores genotípicos y los rendimientos de las líneas obtenidos en cada ambiente con una y dos repeticiones; (2) las ganancias genéticas producidas en los valores genotípicos al simular intensidades de selección del 10, 25 y 50% y (3) porcentajes de líneas correspondientes al 10% superior que fueron retenidas después de eliminar, con base en su rendimiento de grano, al 90, 75 y 50% de las líneas.

Dentro de cada ambiente los dos coeficientes de correlación (uno de cada repetición) se promediaron utilizando la transformación de Z, y la significancia estadística de cada correlación promedio se determinó con una prueba de t. La comparación entre cualquier par de estos promedios, se realizó mediante la distribución normal, usando también valores transformados (Le Clerg, 1962). La ganancia genética (R) dada una intensidad de selección se calculó mediante la expresión

$$R = (MVGS/MVG - 1)100$$

en donde MVGS y MVG representan, respectivamente, la media de los valores genotípicos de las líneas seleccionadas y la media de todos los valores genotípicos. Finalmente, se practicó descarte de líneas (con base en su rendimiento de grano), calculando los porcentajes de líneas superiores que fueron retenidas. Para determinar si estos porcentajes eran superiores que los correspondientes que se esperarían bajo selección al azar se realizó una prueba estadística aproximada, basada en la aplicación del teorema central del límite a los porcentajes de retención observados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las medias de rendimiento de grano en la población C2 a través de las ocho repeticiones tuvieron como máximo y mínimo 3852 y 2558 kg/ha, respectivamente; en tanto que en la población W2 estos límites fueron 3587 y 2537 kg/ha (Cuadro 1). Los coeficientes de variación fluctuaron de 17 a 46 y de 17 a 42% en las dos poblaciones.

Todas las correlaciones entre los valores genotípicos y los rendimientos de las líneas

considerando una o dos repeticiones fueron positivas y altamente significativas (Cuadro 2). Las correlaciones más bajas fueron obtenidas en la población C2 bajo el ambiente S. En este ambiente se observó una germinación muy dispereja, reflejada en altos coeficientes de variación; probablemente esto dió como resultado la baja correlación. Por otro lado, las correlaciones más altas para las dos poblaciones fueron observadas en los ambientes K y A3.

Cuadro 1. Media (kg/ha) y coeficiente de variación (CV) (%) calculado en el análisis de varianza de los testigos de cada combinación de repetición y población.

Estadístico	Ambiente y repetición							
	K(1)	K(2)	A2(1)	A2(2)	S(1)	S(2)	A3(1)	A3(2)
	----- Población C2 -----				-----			
Media	3852	3775	3418	3800	2854	2832	2558	2556
CV	21	22	22	23	46	41	17	17
	----- Población W2 -----				-----			
Media	3501	3177	3587	3526	2763	2537	2717	2735
CV	19	22	17	20	42	42	17	17

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre los valores genotípicos y los rendimientos de las líneas determinados en cada repetición (1R) y en cada experimento con dos repeticiones (2R).

Ambiente	C2		W2	
	1R	2R	1R	2R
K	0.29**	0.37**	0.40**	0.49**
A2	0.18**	0.22**	0.30**	0.37**
S	0.12**	0.17**	0.19**	0.25**
A3	0.29**	0.37**	0.31**	0.39**

** Significancia al 1%.

Los coeficientes de correlación obtenidos al utilizar las medias de rendimiento de las líneas con dos repeticiones de cada ambiente fueron consistentemente mayores que los obtenidos con una sola. Esto es, el uso de las repeticiones permitió una mayor precisión en la estimación de los valores genotípicos al cancelar, al menos en parte, los efectos de factores ambientales que tienden a distorsionar el valor genotípico.

Por otra parte, las diferencias entre los coeficientes de correlación de las poblaciones dentro de un mismo ambiente y a través de ambientes para una misma población, fueron definitivamente superiores a las observadas entre los dos coeficientes calculados para cada combinación de población y ambiente. Por ejemplo, en la población C2 la correlación 0.12** (S) resultó ser significativamente diferente de la 0.29** (K y A3). Otro tipo de diferencias altamente significativas se pueden observar dentro de algunos pares de coeficientes del mismo ambiente e igual número de repeticiones pero de diferente población; por ejemplo, en el ambiente K, tanto el caso de una sola repetición como el de dos, los pares de correlaciones respectivos: 0.29** y 0.40** así como 0.37** y 0.49**, contienen valores que difieren significativamente. Esto sugiere que tiene mayor importancia hacer una buena selección de ambientes de prueba y de material genético que utilizar repeticiones para el éxito de un programa de mejoramiento. Aunque también hay que aceptar que en muchas situaciones el ambiente viene impuesto.

Es notable que, en general, el coeficiente de correlación asociado al uso de una repetición refleja la misma información que el calculado con las medias de las dos repeticiones.

Todas las ganancias que produjo la selección fueron positivas (Cuadro 3). El ambiente S tendió a producir las menores ganancias

en todas las intensidades de selección, lo cual es consistente con sus bajos coeficientes de correlación (Cuadro 2).

En general las ganancias obtenidas utilizando dos repeticiones fueron superiores a las obtenidas con una sola. La excepción se presentó en la población C2 cuando se practicó selección al 10%; en este caso, el promedio de las ganancias con una sola repetición, fue mayor al obtenido utilizando dos.

Con las intensidades de selección de 10 y 25% las ganancias fueron substancialmente superiores cuando se utilizó la población W2. Esta superioridad es de mayor magnitud que la observada entre ganancias basadas en dos respecto a una repetición, utilizando estas mismas intensidades de selección; lo que pone de manifiesto, nuevamente, que la naturaleza del material genético tuvo mayor efecto en la ganancia obtenida que el uso de una o dos repeticiones. Algo similar se puede decir con respecto a los efectos ambientales. Por ejemplo, en la población W2 al utilizar una intensidad de selección del 10% e información de las dos repeticiones se obtuvo una ganancia de 14.7% en el ambiente K en tanto que en el ambiente S la ganancia fue sólo del 9.2%.

Las ganancias obtenidas como producto de la selección aunque si bien expresan la superioridad promedio de las líneas seleccionadas, no dicen gran cosa sobre las particularidades de las líneas retenidas. En un programa de desarrollo de variedades, sin embargo, es muy importante contar con procedimientos que permitan retener las líneas verdaderamente superiores. Con esto en mente, se calcularon los porcentajes de líneas clasificadas en el 10% superior, de acuerdo con los valores genotípicos, que fueron retenidos cuando se practicó eliminación de líneas, teniendo como criterio el rendimiento de grano observado en cada repetición y en las medias de cada ambiente.

Cuadro 3. Ganancias obtenidas en rendimiento cuando se practicó selección, utilizando intensidades de 10, 25 y 50%, con base en la información de una (1R) y de dos repeticiones (2R) en cuatro ambientes.

Ambiente	Población C2						Población W2					
	10%		25%		50%		10%		25%		50%	
	1R ^a	2R	1R ^a	2R	1R ^a	2R	1R ^a	2R	1R ^a	2R	1R ^a	2R
K	8.8	8.5	5.5	6.0	4.4	4.4	11.6	14.7	8.8	10.0	5.4	6.7
A2	4.4	3.4	3.9	4.1	2.2	2.7	10.7	12.7	6.6	7.2	3.8	4.2
S	5.2	4.9	3.3	3.3	0.9	1.9	7.5	9.2	5.2	5.0	1.8	3.1
A3	6.6	7.0	5.0	5.9	3.4	4.9	9.4	10.1	6.0	7.6	4.1	5.0
Media	6.3	5.9	4.4	4.8	2.5	3.4	9.8	11.7	6.6	7.4	3.7	4.8

^a Ganancia promedio de las dos repeticiones.

El uso de una sola repetición produjo un porcentaje de retención de líneas superiores muy parecido al obtenido con dos (Cuadro 4). Las excepciones se presentaron en las combinaciones población-intensidad-ambiente: C2-50-S, C2-90-A2 y W2-90-S. En el caso de la combinación C2-90-A2, en donde bajo eliminación al azar se esperaría una retención de 10% de las 53 líneas superiores, la evaluación basada en una repetición y la basada en dos produjeron retenciones del 19.7 y 9.4%, respectivamente. En general, en la población W2 los porcentajes de retención observados fueron superiores en forma altamente significativa a los correspondientes que se esperarían si se practicara eliminación al azar. Esto no fue así en la población C2. También, como en los dos procedimientos anteriores, las diferencias entre los ambientes fueron bastante más pronunciadas que las observadas entre el uso de una y dos repeticiones.

Los resultados de este estudio muestran que es posible realizar una selección eficiente de líneas de avena cuando la evaluación se basa en una sola repetición, aunque, en general, el uso de dos repeticiones produjo

una mayor consistencia (datos no mostrados) y eficiencia. La mayor eficiencia ocurre porque, en promedio, las estimaciones de los valores genotípicos aumentan su precisión a medida que las repeticiones se incrementan y, con ello, se incrementa la probabilidad de decidir correctamente acerca de cuáles líneas retener. En este estudio, sin embargo, debe tenerse en cuenta que con respecto a superficie de terreno utilizada, las evaluaciones que utilizan dos repeticiones requieren el doble del área que la que necesita una evaluación en una repetición. Sería interesante, y quizá sea tema de otra investigación, el saber si con un número X de líneas evaluadas en dos repeticiones se obtiene un mayor avance genético que el que se obtendría evaluando el doble de líneas (2X) en una repetición.

Es interesante valorar en su real dimensión al procedimiento de evaluación genotípica con una repetición que aquí se utilizó (utilizando sólo el valor fenotípico observado en una parcela). Otros procedimientos utilizan parcelas adicionales para un testigo común que se siembra sistemáticamente y contra el cual se compara cada genotipo

En este estudio, los ambientes ejercieron un efecto importante en la evaluación de las

rendimiento a través de los ambientes. consistencia en su expresión genotípica de población W2 tienen en promedio mayor bien apoyan, este hallazgo: Las líneas de la (Campbell y Frey, 1972; Cox y Frey, 1984). Los resultados de este estudio también seales para varios caracteres cuantitativos identificada como una fuente de genes de (*A. sativa* x *A. sterilis*), *A. sterilis*, ha sido derivada a partir de un híbrido de la forma resultados que la C2. La población W2 fue la población W2 siempre produjo mejores criterios utilizados para evaluar las líneas, De acuerdo con la información de los tres

presentadas. tendieron a ser inferiores que las aquí de retención para los mismos materiales que obtuvieron ganancias genéticas y porcentajes Frey (1993) usando un diseño aumentado observado en una sola parcela; Sahagún y superado el uso único del valor fenotípico Estas parcelas adicionales no siempre han de bloques para con ellos ajustar los valores tigos sembrados al azar para estimar efectos (Baker y McKenzie, 1967) o bien varios tes-

2. La eficiencia en la evaluación dependió más de la naturaleza del material genético utilizado y del ambiente de selección que del uso de una o dos repeticiones.

1. Es posible realizar una evaluación eficiente de líneas experimentales de avena con base en una sola repetición.

CONCLUSIONES

El otro aspecto, el final, parece ser que las medidas estadísticas, como el coeficiente de variación, para calificar la calidad de la información no necesariamente guardan una relación directa con el éxito obtenido. De ser así el ambiente A3 debió producir los mejores resultados en las dos poblaciones, los datos revelan, sin embargo, que el ganador absoluto fue el ambiente K.

líneas: Las diferencias entre coeficientes de correlación, entre ganancias obtenidas y entre proporciones de líneas retenidas fueron substancialmente mayores cuando la evaluación se realizó en diferentes ambientes, que cuando se usó una sola y dos repeticiones dentro de un mismo ambiente y población.

*, ** Superiores al 5 y 1%, respectivamente, que los porcentajes esperados bajo eliminación al azar. * Promedio de dos repeticiones.

Ambiente	Población C2		Población W2		Ambiente	
	IR*	2R	IR*	2R	IR*	2R
K	71*	74**	55**	52**	24**	34**
A2	54	55	51**	45**	31**	36**
S	47	57	38**	42**	18*	28**
A3	66	74**	43**	42**	23**	23**
Media	60	65	47**	45**	24**	30*
	35	33	73*	69	16	20**
	36	36	74**	68*	13	15
	31	28	64	62	13	18**
	29	28	74**	69*	9	20**
	41*	44**	81**	76**	26**	26**
	50%	75%	50%	90%	90%	90%

Cuadro 4. Porcentajes de las 53 líneas superiores que fueron retenidas cuando se practicó eliminación, basada en el rendimiento de grano, del 50, 75 y 90% de las líneas.

BIBLIOGRAFIA

- Baker, R.J. and R.I.H. McKenzie. 1967.** Use of controls plots in yield trials. *Crop Sci.* 7:335-337.
- Briggs, K.G. and L.H. Shebesky. 1968.** Implications concerning the frequency of control plots in wheat breeding nurseries. *Can. J. Plant Sci.* 48:149-153.
- Campbell, A.R. and K.J. Frey. 1972.** Inheritance of groat protein in interspecific oat crosses. *Can. Plant Sci.* 52:735-242.
- Cox, D.J. and K.J. Frey. 1984.** Improving cultivated oats (*Avena sativa* L.) with alleles for vegetative growth index from *A. strilis* L. *Theor. Appl. Genet.* 68:235-245.
- Federer, W.T. 1956.** Augmented (or Hooniaku) designs. *Hawaiian Planters' Record* 55:191-208.
- Fehr, W.R. 1987.** Principles of Cultivar Development. Vol. I. Theory and Technique. Macmillan, New Yor 536 pp.
- _____. 1961. Augmented designs with one-way elimination of heterogeneity. *Biometrics* 17:447-473.
- _____ and D. Raghavarao. 1975. On augmented designs. *Biometrics* 31:29-35.
- Fisher, R.A. 1925.** Statistical methods for Research Workers. Oliver and Boyd, Edinburg.
- Le Clerg, E.L. 1966.** Significance of experimental desing in plant breeding. In: *Plant Breeding*. K.J. Frey (ed.). Iowa State University press, Ames. Iowa. pp 243-313.
- _____. W.H. Leonard, and A.G. Clark. 1962. *Field Plot Technique*. Second edition. Burgess Publishing Company; Minneapolis, Minnesota. 373 pp.
- Lin, C.S. and G. Poushinsky. 1983.** A modified augmented design for an early stage of plant selection involving a large number of test lines without replication. *Biometrics.* 39:563-561.
- Murphy, J.P. and K.J., Frey. 1984.** Comparison of oat populations developed by intraspecific and interspecific hybridization. *Crop Sci.* 24:531-536.
- Richey, F.D. . 1924.** Adjusting yields to their regression on a moving average as a means for correcting for soil heterogeneity. *J. Agric. Res.* 27:79-90.
- _____. 1926. The moving average as a basis for measuring correlated variation in agronomic experiments, *J. Agric. Res.* 32:1162-1175.
- Sahagún C., J. y K, J. Frey. 1993.** Evaluación de líneas de avena en tres diseños y diferentes números de repeticiones. *Agrociencia Serie Fitotecnia* (En revisión).
- Wood, T.B. and F.J.M. Stratton. 1910.** The interpretation of experimental results. *J. Agric. Sci.* 3:417-440.