USO DEL DISEÑO AUMENTADO MODIFICADO EN LA SELECCION DE LINEAS NO REPLICADAS DE PAPA

M. Varela, María E. González y Ana Estévez

ABSTRACT. Three adjustment methods for controlling soil heterogeneity were studied in a modified augmented design for two seasons, of a potato breeding program. The most efficient adjustment was row-column over 1992-1993 period; however, a 1991-1992 adjustment was not recommended. These results prove how variable soil heterogeneity is from one season to another, thus it is necessary to confirm the type of adjustment to be used each time this design will be employed. Its introduction within the early stages of crop breeding program may enable to achieve a more efficient selection thereby proving a huge amount of nonreplicated test lines.

Key words: Experimental design, selection, potato, *Solanum tuberosum*, soil heterogeneity

RESUMEN. Se estudiaron tres métodos de ajuste, para controlar la heterogeneidad del suelo en un diseño aumentado modificado, durante dos campañas correspondientes a un programa de mejoramiento en el cultivo de la papa. El ajuste por el método hilera-columna fue el más eficiente durante el período 1992-1993, no siendo recomendable un ajuste para la campaña 1991-1992. Estos resultados demuestran cómo la heterogeneidad del suelo varía de una campaña a otra, haciéndose necesario verificar el tipo de ajuste a utilizar cada vez que el diseño vaya a ser empleado. La introducción del diseño en las primeras etapas de los programas de mejoramiento del cultivo puede contribuir a lograr una mayor eficiencia en la selección, permitiendo probar una cantidad considerable de líneas de prueba sin réplica.

Palabras claves: Diseño experimental, selección, papa, *Solanum tuberosum*, heterogeneidad del suelo

INTRODUCCION

En las primeras etapas de los programas de mejoramiento se trabaja con una cantidad considerable de líneas de prueba; esto unido al hecho de que con frecuencia no se cuenta con la cantidad suficiente de material que permita la replicación, hace imposible el uso de los diseños replicados para comparar líneas de prueba.

La selección entre un gran número de genotipos es el propósito de un diseño aumentado modificado, (Lin y Pouschinsky, 1983); este tiene la característica fundamental de que las líneas de prueba no son replicadas en el campo, por lo que los valores son ajustados a partir de métodos para controlar la heterogeneidad del suelo, los cuales a su vez se basan en la información suministrada por parcelas control distribuidas en el campo bajo un diseño estándar.

Existen trabajos en los que se estudia la eficiencia de métodos de ajuste para controlar la heterogeneidad del suelo; así, Lin, Pouschinsky y Jui (1983) encontraron en un estudio de simulación que el ajuste por el método hilera-columna era recomendable, cuando la variación del gradiente de fertilidad del suelo se presentaba en dos direcciones, mientras que un ajuste por el método de correlación era efectivo cuando la variación de la heterogeneidad del suelo era multidireccional.

En el presente trabajo se hace un estudio del comportamiento de tres métodos de ajuste, para controlar la heterogeneidad del suelo y se comparan los resultados de dos campañas, con el objetivo de introducir el diseño aumentado modificado en los programas de selección del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El diseño aumentado modificado, propuesto por Frederer (1956), fue utilizado con datos provenientes de una población híbrida de papa en la cuarta generación clonal, probados durante las campañas 1991-1992 y 1992-1993 en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas.

Se utilizaron como controles las variedades Spunta, Desirée y Baraka, sembradas a una distancia de 0.90 m entre surcos y 0.25 m entre plantas, sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado (Hernández *et al.*, 1975). Se plantaron 66 líneas de prueba, a las cuales les fue ajustado el valor del rendimiento ($t.ha^{-1}$) a partir de la información acerca de la heterogeneidad del suelo suministrada por las parcelas control.

M. Varela, Investigador del departamento de Matemática Aplicada; María E. González, Investigador Agregado y Dra. Ana Estévez, Investigador Titular del departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal No. 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.

Los controles fueros distribuidos en un diseño cuadrado latino (3x3), y en cada parcela completa se plantaron ocho líneas de prueba, situadas todas a la misma distancia de la parcela control correspondiente. Se utilizaron además seis subparcelas control (dos por variedad) para estimar el error de subparcela (Figura 1).

1	2	T1'	8	9	10	16	17	18
3	T1	4	11	T2	12	T3'	T3	19
5	6	7	13	14	15	20	21	22
23	24	25	30	31	32	38	39	40
26	T3	27	33	T1	34	41	T2	42
28	29	T3'	35	36	37	T2'	43	44
45	46	47	52	53	54	60	T1'	61
48	T2	49	55	T3	56	62	T1	63
50	51	T2'	57	58	59	64	65	66

Figura 1. Distribución de los testigos y las líneas de prueba bajo un diseño aumentado modificado (1..66: líneas de prueba; T1, T2, T3: parcelas control; T1',T2',T3': subparcelas control)

Para controlar la heterogeneidad del suelo, los datos para el rendimiento en ambas campañas fueron ajustados a partir de los métodos de corrección de fila-columna, índice de fertilidad y coeficiente de regresión, propuestos por Lin y Pouschinsky (1983):

Método 1 (hilera-columna)

$$Y'_{ijk} = Y_{ijk} - R_i - C_j \qquad i = 1..3,\ j = 1..3,\ k = 1..8$$

donde $R_i = \Sigma X_{ij}/p - \Sigma\Sigma X_{ij}/p$ y $C_j = \Sigma X_{ij}/p - \Sigma\Sigma X_{ij}/p$

siendo Y_{ijk} el valor de la línea que se localiza en la fila i, columna j, subparcela k

X_{ij} el valor para el control localizado en la fila i columna j

p el número de controles.

Método 2 (índice de fertilidad)

$$Y_{ijk} = Y_{ijk} - (X_{ij} - XL)$$

donde XL es la media correspondiente al control de la posición ij.

Método 3 (coeficiente de regresión)

$$Y_{ijk} = Y_{ijk} - b(X_{ij} - XL)$$

siendo b el coeficiente de regresión estimado por la regresión de las subparcelas control en la parcela control correspondiente.

De igual forma, se estimó la eficiencia de cada método de ajuste, ya sea estimando la varianza de la diferencia entre dos líneas de prueba cualesquiera o calculando la varianza para los datos de las subparcelas control una vez ajustados.

Se determinaron los coeficientes de correlación por rangos de Spearman (Freund, 1977) entre cada uno de los métodos (incluyendo el no ajuste), con el objetivo de conocer los cambios en el rango provocado por cada uno de los métodos de ajuste.

Para el procesamiento de los datos se elaboró un programa en lenguaje Turbo Pascal (Canada. Technical Support Department, 1983), el cual necesita como datos de entrada los valores para las parcelas control y los datos correspondientes a las líneas de prueba.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del análisis de varianza, efectuado a partir del diseño cuadrado latino que conformaban las parcelas control, se muestran para ambas campañas en la tabla I. El efecto significativo por filas y columnas en la campaña 92-93 pudiera sugerir un ajuste fila-columna, para controlar la heterogeneidad del suelo en estas direcciones. Por otro lado, en la campaña 91-92, al no existir efecto significativo en filas y columnas, unido a que el cuadrado medio del error en la parcela completa es menor que el error de subparcela, elimina la posibilidad de una variación de la heterogeneidad del suelo en dos direcciones o multidireccional; por tanto, todo parece indicar que un ajuste para esta campaña pudiera no ser efectivo.

Tabla I. Cuadrados medios del anova para el rendimiento basados en las parcelas y subparcelas control en un diseño aumentado modificado

Campaña	Hilera σ_f	Columna σ_c	Error parcela completa σ_w	Error de subparcela σ_s
1991-1992	0.0017 NS	0.0140 NS	0.0014	0.0064
1992-1993	0.0230*	0.0620**	0.0006	0.0022

* Significativo para $p < 0.05$
** Significativo para $p < 0.01$

Resulta conveniente destacar que para ambas campañas el error de subparcela fue mayor que el error estimado para la parcela completa. Esto puede ser consecuencia de la poca cantidad de grados de libertad disponibles en la estimación de los cuadrados medios. Resultados similares encontraron Schaalje, Linch y Kozub (1987) en algunos de sus ensayos.

Los métodos de ajuste se compararon calculando la proporción de cada una de las varianzas estimadas entre dos líneas de prueba cualesquiera (Tabla II). Así, proporciones con valores mayores que 1 indican una ventaja en cuanto a eficiencia a favor del primero de los métodos objeto de comparación.

Tabla II. Proporciones de la varianza promedio estimada en el rendimiento total ($t.ha^{-1}$) de una diferencia entre dos líneas de prueba cualesquiera para cada uno de los métodos de ajuste

	Comparación				
Campaña	2 vs 1	3 vs 1	3 vs 2	1 vs 0	2 vs 0
1991-1992	0.109	0.521	0.746	1.959	1.382
1992-1993	0.152	0.226	0.319	26.400	18.980

Nuevamente se corrobora que el ajuste fila-columna aporta la mayor eficiencia en la campaña de 1992-1993; sin embargo, para la campaña 1991-1992 se obtuvo una mejoría en eficiencia al ajustar por cualesquiera de los tres métodos, aunque esta ganancia no fue tan grande en proporción comparada con la campaña de 1992-1993.

Según el tercer criterio, basado en el cálculo de la varianza para los datos ajustados de la subparcela control, se da como más eficiente aquel método que sea capaz de disminuir la varianza entre los datos de las subparcelas control una vez ajustados.

Se plantea que si el error de subparcela es de la misma magnitud que el error estimado entre subparcelas control, un método de ajuste pudiera no ser efectivo (Schaalje, Lynch y Kozub, 1987).

Durante la campaña 91-92 se dio la situación anterior (Tabla III), lo cual está a favor del criterio de una homogeneidad del suelo y, por tanto, en contra de cualquier ajuste.

Tabla III. Eficiencia del método de ajuste a partir de los datos ajustados para la subparcela control

Campaña	Método 1	Método 2	Método 3
1992-1993	649.1	548.4	773.8

Para el caso de la campaña de 1992-1993, aunque se gana en eficiencia mediante el método hilera-columna, encontramos una mayor eficiencia ajustando por el coeficiente de regresión.

Schaalje, Lynch y Kozub (1987) encontraron discrepancias entre estos criterios para algunos de sus ensayos. Ellos plantean que esto pudiera ser debido a los pocos grados de libertad existentes en la estimación de los cuadrados medios, por lo que resulta conveniente aumentar el número de subparcelas control para obtener estimaciones más confiables. De cualquier modo, el ajuste fila-columna parece ser el más efectivo para la campaña 92-93, pudiendo ser innecesario un ajuste para el período 91-92.

Ajustar por el índice de fertilidad nunca fue más efectivo, resultado que concuerda con el estudio de simulación hecho por Lin y Pouschinsky (1983).

Estos resultados demuestran además cómo la heterogeneidad del suelo varía de una campaña a otra, haciéndose necesario verificar el tipo de ajuste a utilizar cada vez que el diseño vaya a ser empleado.

Los datos ajustados por cada uno de los métodos fueron correlacionados para ambas campañas mediante el coeficiente de correlación de Spearman (Tabla IV).

Se puede apreciar cómo para la campaña de 1992-1993, donde la necesidad del ajuste se hace más evidente, los cambios en el rango fueron más acentuados entre el no ajuste y el resto de los métodos, sobre todo para el ajuste fila-columna (el más efectivo).

A pesar de que los coeficientes de correlación de Spearman entre los métodos de ajuste dentro de una campaña fueron elevados, se evidenciaron cambios bruscos en el orden de las líneas de prueba como resultado de uno u otro ajuste.

Tabla IV. Correlación de Spearman entre los métodos de ajuste, incluyendo el no ajuste

Campaña		No ajuste	1	2
1991-1992	1	0.843		
	2	0.844	0.984	
	3	0.784	0.971	0.991
		No ajuste	1	2
1992-1993	1	0.530		
	2	0.546	0.996	
	3	0.668	0.977	0.983

Clones que resulten seleccionados por un método no tienen por qué ser seleccionados por otro, evidenciándose de esta forma lo importante de no equivocarse en la elección del método de ajuste.

Es importante destacar que cuando las correcciones fueron significativas, todos los métodos de ajuste apuntaron en una misma dirección, es decir, si para una línea de prueba el valor corregido aumentaba, este era aumentado por los tres métodos. Solo se evidenciaron casos de un aumento en el valor corregido por un método de ajuste y disminución por el otro, cuando los cambios eran insignificantes.

Dado que las correcciones son realizadas a partir de la información suministrada por los controles, resulta de extrema importancia la utilización como testigos de clones con características específicas, es decir, aquellos que por naturaleza sean poco variables, con el objetivo de atribuir sus variaciones por réplica a factores ambientales y no a la variabilidad propia atribuida al testigo. Además, de ser posible, o sea, de tener material suficiente sería conveniente trabajar con un solo testigo, ya que en realidad el efecto de tratamientos en este caso no es importante.

Líneas de prueba con resultados en rendimiento por debajo de la media durante el período 92-93, fueron salvadas mediante el ajuste. Estas mismas líneas presentaron rendimientos por encima de la media durante el período 91-92.

La introducción del diseño aumentado modificado en las primeras etapas de los programas de mejoramiento del cultivo, puede contribuir a lograr una mayor eficiencia en la selección. El mismo permite probar una cantidad considerable de líneas de prueba sin necesidad de ser replicadas; solamente necesita que se haga un estudio eficiente acerca de la heterogeneidad del suelo a través de los distintos métodos de ajuste empleados. Está encaminado a favorecer líneas de prueba que en un momento dado presenten alguna incidencia de tipo ambiental, evitando así su posible eliminación del programa de selección.

BIBLIOGRAFIA

Canada. Technical Support Department. Turbo Pascal : Reference Guide. Version 5.0 / Technical Support Department.- Scotts Valley : Borland International, 1983.- 493 p.

Federer, W. T. Augmented Design. **Hawaiian Planters Record** (Hawai)55:191-208, 1956.

Freund, J. E. Estadística elemental moderna. / J. E. Freund.- La Habana : Editorial Pueblo y Educación, 1977.

Hernández, A. / *et al* /. Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. **Academia de Ciencias de Cuba. Suelos** (La Habana)23:1-25, 1975.

Lin, C. S. y G. Pouschinsky. A Modified Augmented Design For Early Stage of Plant Selection Involving a Large Number of Test Lines Without Replication. **Biometrics** (Washington)39:553-561, 1983.

Lin, C. S., G. Pouschinsky y P. Y. Jui. Simulation Study of Three Adjustment Methods for The Modified Augmented Design and Comparison With The Balanced Lattice Square Design. **Journal of Agricultural Science** (Nueva Delhi)100:527-534, 1983.

Schaalje, G. B., D. R. Lynch y G. C. Kozub. Field Evaluation of a Modified Augmented Design For Early Stage Selection Involving a Large Number of Test Lines Without Replication. **Potato Research** (Wageningen)30:35-45, 1987.

Recibido: 7 de diciembre de 1993
Aceptado: 21 de enero de 1994