

MÉTODOS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE LA SELECCIÓN DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA PAPA EN CUBA

María E. González, Ana Estévez, J. Castillo y Ursula Ortiz

ABSTRACT. Eight potato hybrid families from the breeding program were planted at random in the field at the National Institute of Agricultural Sciences from 1990 to 1995, with the objective of using different selection methods in the early stages in order to increase the efficiency of this program. Seven selection approaches were evaluated: simple selection of yield, simple selection of tuber number per plant, simple selection of average tuber weight, simultaneous selections of the characters 1+2+3, 2+3, 2+1 and 3+1, to determine selection differentials and selective differences. The main statistics of the first three generations were estimated, besides recording lineal correlations and path coefficients. The modified augmented design was used to control soil heterogeneity whereas clonal values were adjusted by means of the row-column corrective method; the controls used were Desirée, Baraka and Red Pontiac varieties, which were planted on a 3x3 Latin Square design. It was verified that the simultaneous selection approach considering yield, tuber number and average tuber weight was the most appropriate for selection in the first stages, it corroborating that the main yield components are tuber number and average tuber weight. It was proved that the Modified Augmented design was adequate to measure environmental heterogeneity in the first stages of the breeding program.

Key words: plant breeding, selection, methods,
path coefficients, potato, *Solanum tuberosum*

RESUMEN. En el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas durante los años 1990 a 1995, se plantaron al azar en campo ocho familias híbridas de papa obtenidas en el programa de mejoramiento, con el objetivo de utilizar diferentes métodos para la selección en las etapas tempranas y, de esta forma, incrementar la eficiencia del programa. Se evaluaron siete criterios de selección: selección simple del rendimiento, selección simple del número de tubérculos por planta, selección simple de la masa promedio de los tubérculos, selecciones simultáneas de los caracteres 1+2+3, 2+3, 2+1 y 3+1, determinándose los diferenciales de selección y las diferencias selectivas. Se estimaron los estadígrafos fundamentales de las tres primeras generaciones y se hallaron las correlaciones lineales y los coeficientes de sendero. Se utilizó el diseño aumentado modificado para controlar la heterogeneidad del suelo y los valores de los clones se ajustaron mediante el método de corrección de fila-columna; los controles utilizados fueron las variedades Desirée, Baraka y Red Pontiac, que se plantaron a partir de un diseño cuadrado latino 3x3. Se constató que el criterio de selección simultánea donde se consideró al rendimiento, el número de tubérculos y la masa promedio de los tubérculos, fue el más adecuado para la selección en las primeras etapas, corroborándose que los principales componentes del rendimiento son el número de tubérculos y la masa promedio de los tubérculos. Se comprobó que el diseño aumentado modificado es adecuado para medir la heterogeneidad ambiental en las primeras etapas del programa de mejoramiento.

Palabras clave: fitomejoramiento, métodos, selección,
coeficientes de sendero, papa, *Solanum tuberosum*

INTRODUCCIÓN

La necesidad de buscar e incorporar nuevas características de resistencia, adaptabilidad y rendimiento en los diferentes cultivos en el planeta, hace del mejoramiento un arma eficaz y necesaria para lograr la seguridad alimentaria a partir de los recursos genéticos vegetales (1).

En la actualidad, en los diferentes países que se trabaja en el mejoramiento de la papa, se siguen las vías tradicionales como fundamentales (2), y a su vez se trabaja e investiga en nuevas formas que hagan más seguro y dinámico dicho trabajo, como son los diseños experimentales y criterios de selección.

En el caso de la papa que básicamente su reproducción es asexual, muchos individuos con el mismo genotipo (clones) pueden ser producidos y plantados sobre diferentes condiciones ambientales, observándose efectos marcados del ambiente sobre su expresión fenotípica, por lo que la variación fenotípica observada es debido a la variación genética más el efecto del am-

Dra.C. María E. González, Investigador Auxiliar (melena@inca.edu.cu); Dra.C. Ana Estévez, Investigador Titular; Ms.C. J. Castillo, Investigador y Ursula Ortiz, Especialista del Departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.

biente, por lo que se debe trabajar por disminuir el efecto ambiental mediante el uso de diseños experimentales apropiados y ser cuidadosos en la experimentación (3).

Se han estudiado criterios para la selección, que tienen en cuenta un solo carácter y la selección simultánea para varios caracteres, creándose índices de selección en muchos casos basados en diferentes parámetros genéticos (4,5).

Muchos mejoradores han discutido los criterios de selección en la generación de plántulas y plantean que no se debe ser muy riguroso en esta generación, pues la selección en los primeros años clonales en campo es más eficiente y permite una mayor expresión de los caracteres.

El objetivo del trabajo fue la utilización de diferentes métodos para la selección en las etapas tempranas, con el fin de incrementar la eficiencia del programa de mejoramiento en el cultivo de la papa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado (6) durante los meses comprendidos de diciembre a marzo y entre los años 1990 y 1995. Las labores culturales y fitosanitarias se realizaron según los instructivos técnicos para el cultivo (7). La distancia de plantación utilizada fue de 0.90 m entre surcos y 0.25 m entre plantas, con excepción de la primera generación clonal que fue de 0.90 m x 0.50 m.

Se plantaron al azar en campo ocho familias híbridas, para un total de 1 000 tubérculos, representado cada individuo por un tubérculo. A las plantas cosechadas se les evaluaron el rendimiento por planta, el número de tubérculos y la masa promedio.

Se evaluaron siete criterios de selección:

Criterios	Características
1	Selección simple del rendimiento
2	Selección simple del número de tubérculos por planta
3	Selección simple de la masa promedio de los tubérculos
4	Selección simultánea de los caracteres 1+2+3
5	Selección simultánea de los caracteres 2+3
6	Selección simultánea de los caracteres 2+1
7	Selección simultánea de los caracteres 3+1

Los individuos se seleccionaron por los niveles medio de la población y los criterios de selección simultánea se realizaron por medio de la sumatoria de las variables implicadas en cada índice. Se estimaron los diferenciales de selección y las diferencias selectivas, que se expresaron en por ciento. En las tres primeras generaciones se seleccionaron los clones según el criterio 4 (selección simultánea de los caracteres rendimiento por planta, número de tubérculos por planta y la masa promedio de los tubérculos, con una intensidad de selección de 20, 35 y 50 % respectivamente).

Se seleccionaron 200 clones en la primera generación y 70 en la segunda, según el criterio de selección simultánea para el rendimiento, el número de tubérculos y la masa promedio.

Los 70 clones seleccionados en la segunda generación clonal se plantaron en un diseño aumentado modificado para controlar la heterogeneidad del suelo (8); los valores de los clones se ajustaron mediante el método de corrección de fila-columna.

Los controles utilizados fueron las variedades Desirée, Baraka y Red Pontiac, que se plantaron a partir de un diseño cuadrado latino 3 x 3. En cada parcela completa se plantaron ocho clones y una subparcela control en el centro con 30 plantas. Se evaluaron el rendimiento por planta, el número de tubérculos por planta, la masa promedio de los tubérculos, el número de tallos, la altura de los tallos y la incidencia de *A. solani*.

Se calcularon las correlaciones de rango de Spearman entre los datos sin ajustar y ajustados, para el rendimiento por planta, número de tubérculos por planta y la masa promedio de los tubérculos, con el objetivo de conocer la relación existente entre el orden ocupado por el valor sin ajustar de los genotipos y el orden ajustado de estos.

Se estimaron la media, la varianza y el coeficiente de variación de la primera y tercera generaciones para el rendimiento, el número de tubérculos y la masa promedio.

Con los valores de las tres primeras generaciones clonales, se hallaron las correlaciones lineales y los coeficientes de sendero, considerándose el esquema causal donde:

efecto: rendimiento por planta (Y_o)

causas: número de tubérculos por planta (X_1), masa promedio de los tubérculos (X_2), número de tallos por planta (X_3) y altura de los tallos (X_4). Las variables X_3 y X_4 solamente se incluyeron en la tercera generación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se muestran los diferenciales de selección y las diferencias selectivas para los siete criterios de selección utilizados. Se encontraron diferenciales de selección muy parecidos para los criterios 1, 2 y 3, con valores de 86.3, 86.5 y 89.6 % para el rendimiento, el número de tubérculos y la masa promedio, respectivamente.

Tabla I. Diferenciales de selección y diferencias selectivas (%)

Criterios	Rendimiento	Número de tubérculos	Masa promedio
1. Rendimiento(R)	86.3	52.6	20.6
2. Tubérculos (T)	51.4	86.5	-4.50
3. Masa promedio (MP)	29.3	-51.5	89.6
4. T + R+ MP	86.5	48.2	35.3
5. T + MP	76.2	44.4	41.2
6. T + R	81.1	82.5	-13.3
7. MP + R	71.7	- 7.2	67.4

Los valores en negritas son los diferenciales de selección

Las diferencias selectivas presentadas con el criterio 2 para el número de tubérculos (52.6 %) y el criterio 1 para el rendimiento (51.4 %) fueron muy similares, mientras que para el criterio 3 estas diferencias en rendimiento

disminuyeron a 29.3 % y con respecto al número de tubérculos fueron negativas (- 51.5 %). Los dos caracteres simples (criterios 2 y 3) reflejan la relación antagónica de los dos componentes y la relación positiva del número de tubérculos y el rendimiento (9), por lo que al seleccionar de forma simple para el número de tubérculos, se verá afectada la masa promedio y viceversa.

El criterio 4 es similar al 1 en cuanto al diferencial en el rendimiento y se obtuvo un elevado porcentaje de diferencia selectiva para el rendimiento, aunque tendió a compensar los valores del número de tubérculos y la masa promedio, aspecto este de gran importancia pues se necesita obtener variedades que presenten buen rendimiento pero con adecuado número de tubérculos y masa promedio de los tubérculos (10).

El criterio 5 alcanzó diferencias selectivas de 44.4 y 41.2 % para el número de tubérculos y la masa promedio respectivamente; sin embargo, disminuyó el valor del rendimiento a 76.2 %.

Los criterios 6 y 7 aumentaron las diferencias para los caracteres involucrados en el índice, pero con la desventaja de ser negativo el valor del carácter excluido, lo que pone de manifiesto nuevamente la relación antagónica entre el número de tubérculos y la masa promedio.

Muchos caracteres en papa son altamente sensibles a las influencias ambientales, especialmente en las generaciones tempranas (11); por eso, el mejorador debe decidir cuáles atributos son más importantes.

Algunos autores argumentaron que la selección clonal individual puede ser más eficiente si es basada en varios caracteres (12) y en la selección para el rendimiento en generaciones tempranas, se debe tener en cuenta características de importancia agronómica, como son el número de tubérculos y la masa promedio de estos.

En un estudio con un grupo de clones de papa, se recomendó que para el incremento de los rendimientos un índice de selección es efectivo cuando intervienen los caracteres número de tubérculos, tamaño y rendimiento (14).

Según los resultados alcanzados y teniendo en consideración que el número de tubérculos y la masa promedio fueron los caracteres de mayor heredabilidad y conociendo que este parámetro influye en la eficiencia de la selección, se consideró al criterio 4 de selección simultánea para el rendimiento, el número de tubérculos y la masa promedio, como el criterio a tener en cuenta para la selección en las primeras generaciones clonales.

Con respecto al número de individuos seleccionados en las tres primeras generaciones clonales (Tabla II), se aprecia que solamente los cruces Desirée x Omega, Desirée x Cardinal y Desirée x Baraka lograron mantener algún clon seleccionado hasta la tercera generación, donde el progenitor femenino fue la variedad Desirée. También se apreció un gran efecto materno de la variedad Desirée al obtener mejores resultados cuando fue usada como progenitor femenino (15).

Tabla II. Número de plantas y/o clones seleccionados en las tres primeras generaciones clonales

Cruces	Individuos seleccionados		
	Primera generación (20 %)	Segunda generación (35 %)	Tercera generación (50 %)
Desirée x Omega	15	10	4
Desirée x Cardinal	30	14	6
Cardinal x Desirée	0	-	-
Baraka x Desirée	4	1	0
Desirée x Baraka	143	44	25
Spunta x Desirée	2	0	-
Lizen x Desirée	1	1	0
Marlene x Desirée	5	0	-
Total	200	70	35

() Intensidad de selección

La Tabla III muestra el comportamiento de la media, la varianza y el coeficiente de variación de la población para el rendimiento, número de tubérculos y la masa promedio de estos en la primera y tercera generaciones clonales. Se aprecia en los tres caracteres estudiados un incremento de la media poblacional con el transcurso de la generación, lo cual es lógico, ya que la selección se realizó teniendo en cuenta estos tres caracteres.

Tabla III. Comportamiento de la media, la varianza y el coeficiente de variación de la población en la primera y tercera generaciones clonales

	Media		Varianza		Coeficiente de variación	
	G1	G3	G1	G3	G1	G3
Rendimiento (kg)	0.528	0.673	0.050	0.0190	42.2	20.5
Número de tubérculos	7.300	8.500	13.000	5.3000	49.4	27.1
Masa promedio (kg)	0.070	0.078	0.001	0.0003	45.2	22.2

G1 Primera generación G3 Tercera generación

La variabilidad va disminuyendo a través de las generaciones como es de esperarse, ya que se han ido seleccionando los mejores clones.

Resulta de interés el desarrollo de técnicas más eficientes de selección, que permitan un avance significativo sin mayores inconvenientes prácticos. Por ello, se utilizó el análisis de los coeficientes de sendero para conocer las relaciones directas e indirectas de los caracteres evaluados con respecto al rendimiento, pues generalmente éste posee mucha mayor importancia económica que el resto de los caracteres.

En la Tabla IV se aprecian los resultados del análisis de coeficientes de sendero y las correlaciones con el rendimiento en tres generaciones clonales. Existieron correlaciones positivas y significativas del rendimiento con el número de tubérculos, la masa promedio de estos y la altura de los tallos. También se encontraron correlaciones positivas y altamente significativas entre el número de tubérculos y el rendimiento.

Tabla IV. Contribuciones directas (coeficientes de sendero) e indirectas de algunos caracteres con el rendimiento en las tres primeras generaciones clonales

		Número de tubérculos por planta	Masa promedio tubérculos	Altura de los tallos	Número de tallos por planta	Correlación con el rendimiento por planta
Número de tubérculos	G1	0.924	-0.381	-	-	0.543**
	G2	0.963	-0.310	-	-	0.653**
	G3	0.929	-0.413	0.005	-0.006	0.511**
Masa promedio	G1	-0.459	0.767	-	-	0.308**
	G2	-0.392	0.761	-	-	0.369**
	G3	-0.428	0.896	-0.0002	0.003	0.469**
Altura	G3	-0.121	0.457	-0.004	0.003	0.336**
Número de tallos	G3	0.583	-0.165	0.001	-0.019	0.100 ns

G1, G2 y G3 primera, segunda y tercera generación clonal
 ** significativo para $p < 0.01$

Efectos residuales: G1= 0.512, G2= 0.300 y G3= 0.296

Se presentaron efectos directos positivos y altos en las tres generaciones para los caracteres número de tubérculos y masa promedio de estos, aunque predominó el primero. Esto coincide con los que propusieron al número de tubérculos y la masa promedio como indicadores confiables para la selección indirecta del rendimiento (17).

Además, se observó que los coeficientes de correlación que alcanza la altura con el rendimiento se deben fundamentalmente a su influencia indirecta a través de la masa promedio.

En investigaciones realizadas en pruebas de variedades de papa en cuatro localidades del país (18), se encontró que el número de tubérculos y la masa promedio fueron los componentes más importantes del rendimiento, los que se deben tener en cuenta para la selección indirecta cuando se quieren aumentar los rendimientos.

Debido a que en las primeras generaciones se cuenta con un elevado número de clones y poca cantidad de plantas por clon y teniendo en consideración el gran efecto que provoca el ambiente sobre este cultivo, se utilizó un diseño aumentado modificado con el objetivo de ajustar los datos no replicados de los clones y lograr así incrementar la eficiencia en la selección en estas etapas.

Cuando se hacen los ajustes (Tabla V), se aprecian cambios en el orden de los clones en todos los caracteres, lo que puede deberse en gran medida a la heterogeneidad ambiental y son cambios en el rango relativo del material de prueba (19).

Si no se hicieran los ajustes, se eliminarían muchos clones que han sido afectados de manera más marcada por el ambiente. Para el rendimiento no se seleccionarían los clones 47, 31, 43 y 62; el rendimiento es de gran importancia en el cultivo de la papa y es fuertemente afectado por las condiciones ambientales, por lo cual es esencial una valoración estadística de la heterogeneidad ambiental.

Si se hiciera la selección para el número de tubérculos y la masa promedio sin realizarse el ajuste, se eliminarían seis (5, 6, 9, 29, 40 y 53) y cuatro clones (4, 13, 14 y 21) respectivamente, los cuales se salvan con el ajuste.

Tabla V. Orden decreciente de los clones y correlaciones de Spearman (r) entre datos sin ajustar y ajustados

No.	Rendimiento		Número de tubérculos		Masa promedio	
	sin ajuste	con ajuste	sin ajuste	con ajuste	sin ajuste	con ajuste
1	33	33	18	5	33	28
2	38	17	58	18	10	33
3	17	55	36	58	37	21
4	1	1	55	38	28	13
5	58	58	39	37	49	49
6	30	18	38	36	1	10
7	18	30	37	35	19	34
8	12	37	35	28	30	50
9	37	12	10	33	50	17
10	39	39	42	39	12	30
11	50	35	33	42	65	1
12	28	50	17	6	17	37
13	36	38	60	53	55	41
14	37	42	52	40	60	14
15	40	60	41	41	38	38
16	42	47	30	29	58	60
17	49	52	47	17	18	8
18	60	40	4	12	39	4
19	52	31	12	49	34	39
20	41	30	18	30	8	35
21	35	36	11	50	40	34
22	55	43	1	1	44	18
23	12	62	49	11	62	58
24	4	4	50	17	41	55
25	46	49	28	9	35	12

r 0.60 ** 0.74 ** 0.56 **

** significativo para $p < 0.01$

Se pudo apreciar que un gran número de genotipos con valores inferiores fueron salvados mediante el ajuste para la heterogeneidad ambiental y así se garantizó que no se eliminaran genotipos que pudieran ser promisorios. Diferentes investigadores han planteado lo ineficiente de la selección en las primeras etapas en el cultivo de la papa, por no contar con la cantidad de plantas necesarias para su replicación y el efecto tan marcado del ambiente sobre este cultivo (10).

Los diseños aumentados permiten la comparación estadística de líneas no replicadas.

Las correlaciones de Spearman entre los datos sin ajustar y ajustados fueron altamente significativas; sin embargo, sus valores no son tan elevados, lo que indica que el ajuste trajo consigo un cambio acentuado en el rango de los clones, debido a las variaciones ambientales.

Según los resultados encontrados se pudo constatar que el criterio de selección simultánea donde se consideró al rendimiento, el número de tubérculos y la masa promedio de los tubérculos, fue el más adecuado para la selección en la primera etapa del programa de mejoramiento, así como que el diseño aumentado modificado es adecuado para medir la heterogeneidad ambiental, lo que permite el ajuste de los clones a probar y posibilita la valoración del rendimiento y sus componentes en las etapas tempranas de la selección; esto haría más eficiente la selección en los programas de mejoramiento de la papa.

REFERENCIAS

1. FAO. Draft report on the state of the world's. *Plant Genetic Resources*. Roma : FAO, 1996, 35 p.
2. Huaman, Z. Conservación *ex situ* de papa. Recursos genéticos en el CIP. *CIP Circular*, 1994, vol. 20, no. 3, p. 13.
3. González, M. E. Mejoramiento por hibridación de la papa en Cuba. [Tesis de Doctorado], INCA, 1998.
4. Bradshaw, J. E. y MacKay, G. R. Breeding strategies for clonally propagated potatoes. En *Potato Genetics*. Wallingford, CAB International, 1994, p. 467-498.
5. Plooy-Fi, du, *et al.* Study of the inheritance of some agronomic traits in a potato breeding populations. *Journal of the Southern African Society for Agricultural Sciences*, 1995.
6. Hernández, A., *et al.* Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba. Serie Suelos*, 1975, vol. 23, p. 1-25.
7. MINAGRI. Normas técnicas para el cultivo de la papa. La Habana : Ministerio de la Agricultura, 1980, 46 p.
8. Lin, C. S., Poushinky, G. y Jui, P. Simulation study of three adjustment methods for the Modified Augmented Design and comparison with the Balanced Lattice Square Design. *Journal of Agricultural Sciences*, 1983, vol. 100, p. 527-534.
9. Fé, C. de la, Ortiz, R. y Caballero, A. La asociación entre caracteres y el uso de estos en la selección en poblaciones híbridas de papa plantadas en verano. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol. 16, no. 1, p. 73-76.
10. Estévez, A., *et al.* Comportamiento del rendimiento y la calidad culinaria de un grupo de clones y variedades cubanas de papa. *Cultivos Tropicales*, 1996, vol. 17, no. 3, p. 72-76.
11. Caldis, D. O. Genetic improvement of yield and associated physiological changes in the potato. Parkville : Marcel Dekker, 1994, 411 p.
12. Hutten, R. C. B., Shippers, M. G. y Hermsen, J. G. T. Comparative performance of diploid and tetraploid progenies from 2x.2x crosses in potato. *Euphytica*, 1995, vol. 18, no. 2, p. 187-192.
13. Tai, G. C. C. y Young, D. C. Early generation selection for important agronomic characteristics in a potato breeding population. *Am. Pot. Journal*, 1984, vol. 61, p. 419-433.
14. Thonson, P. G. y Mendoza, H. A. Genetic variance estimates in heterogeneous potato populations propagated from true seeds (TPS). *Am. Pot. Journal*, 1984, vol. 61, no. 11, p. 697-702.
15. Estévez, A., *et al.* Obtención y evaluación de progenies de semilla sexual de papa. Parte I. *Cultivos Tropicales*, 1996, vol. 17, no. 1, p. 60-64.
16. Filgueira, F. Breeding potato for the Cerrado regions. *Horticultura Brasileira*, 1995, vol. 13, no. 2, p. 129-132.
17. Gopal, J., Gaur, P. C. y Rona, M. S. Heritability and intra and intergeneration associations between tuber yield and its components in potato. *Plant Breeding*, 1994, vol. 112, no. 1, p. 80-83.
18. Estévez, A. y González, M. E. Correlaciones y coeficientes de sendero en papa. *Cultivos Tropicales*, 1988, vol. 10, no. 3, p. 74-78.
19. Varela, M., González, M. E. y Estévez, A. Uso del diseño aumentado modificado en la selección de líneas no replicadas de papa. *Cultivos Tropicales*, 1994, vol. 15, no. 1, p. 94-96.

Recibido: 21 de octubre de 1999

Aceptado: 26 de noviembre de 1999