

# Respuesta predicha a selección directa e indirecta por longitud de grano en un maíz criollo mejorado

Carlos Alberto Ramírez-Mandujano 

Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio R, Ciudad Universitaria. Fco. J. Múgica s/n. Col. Felicitas del Río Morelia, Michoacán; México (C. P. 58030).

## Resumen

El bajo precio del maíz como grano para consumo general, ha reorientado a algunos productores hacia la producción de elote, por el que se paga un mayor precio. Un aspecto al que se le ha dado poca atención durante el proceso de formación de variedades para ese propósito es la longitud de grano, que influye en la aceptación del consumidor. Como este carácter es poco heredable, la respuesta a selección para incrementarlo tendrá un avance lento. Una alternativa puede ser la selección indirecta, y para determinar su factibilidad se estimó la heredabilidad de este carácter y otras cuatro variables de fácil medición y su correlación genética, se hizo un pronóstico de avance por selección directa e indirecta, a partir de la evaluación de 151 familias de auto hermanos (líneas endogámicas S1) establecido en Villamar, Michoacán. La heredabilidad estimada fue 0.21 y la respuesta predicha por ciclo de selección directa para selección masal visual estratificada y selección combinada de familias de medios hermanos fue de 0.98 y 3.05 % respectivamente, que son valores bajos. La respuesta predicha a selección indirecta basada en el diámetro de la mazorca fue 77% superior a la de la selección directa.

**Palabras clave:** *Zea mays*, heredabilidad, selección masal, selección combinada.

## Abstract

Low price of maize as grain for general consumption, has redirected some producers to the fresh corn (sweet-corn, “elote”) production, for which a higher price is paid. An aspect that has received little attention, is the development of cultivars for kernel length, character influencing the consumer acceptance. Since this character has low heritability, response to selection for increase it will be slow. An alternative may be the indirect selection, and to determine its feasibility, heritability and genetic correlations were estimated for this character and four additional easy-measurement variables, and the predicted response for direct and indirect selection was determined by a field trial of 151 S1 inbred lines established in Villamar, Michoacán. The estimated heritability value was 0.21 and the predicted response by cycle of direct selection for stratified visual mass selection and combined half-sib families selection was 0.98 and 3.05% respectively, which are low values. The predicted response to indirect selection focused on the cob diameter was 77% higher than direct selection.

**Index words:** *Zea mays*, heritability, mass selection, combined selection.

## Introducción

El maíz como grano para consumo general enfrenta actualmente problemas de rentabilidad por el bajo precio del producto y el alto costo de los insumos. Es claro que el productor no invertirá mucho en un cultivo donde no pueda recuperar los gastos y que esto se traduzca en una merma en los rendimientos por unidad de superficie. Lo contrario también es cierto: un cultivo más rentable justifica mayor inversión y con esto una mayor productividad (Charcas *et al.*, 2000a; Charcas *et al.*, 2000b). Esta situación obliga a buscar alternativas más costeables para el producto, y actualmente la opción más explotada es la venta en elote, que puede alcanzar un precio comparable al de las hortalizas (Coutiño *et al.*, 2010). Una mayor longitud de grano incrementa la aceptación del consumidor de elote y de quienes elaboran el “uchepo” (tamal de maíz tierno), por su mayor rendimiento de masa. La población de maíz Pajacuarán, de color amarillo, mejorada por retrocruza limitada, ha destacado por su alto rendimiento, buen tamaño de mazorca y sabor dulce, pero su longitud de grano es relativamente baja (Figura 1).



Figura 1. Mazorca de la población Pajacuarán.

La selección recurrente puede incrementar la longitud de grano, pero el valor de la heredabilidad para este carácter está entre bajo e intermedio (Hallauer y Miranda, 1981; Voichiça, 1999; Ross *et al.*, 2006; Zare *et al.*, 2011). Una posibilidad para incrementar la respuesta a selección para caracteres con baja heredabilidad es la selección indirecta (Searle, 1978), la que requiere de la existencia de una alta correlación genética de la variable de interés con otro carácter de mayor heredabilidad, sobre el cual será aplicada la

 **Autor de correspondencia:** Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio R, Ciudad Universitaria. Fco. J. Múgica s/n. Col. Felicitas del Río. Morelia, Michoacán, México (C. P. 58030). Tel. y Fax 01 (443) 316-7412. Email: carmcarm@prodigy.net.mx, cramirzm@umich.mx

selección (Hallauer y Miranda, 1981), procedimiento que ya ha mostrado su eficiencia cuando se ejecuta intencionalmente (Hill *et al.* 1999), o que ha sido observado como respuesta correlacionada no planeada (Edwards, 2011). La información acerca de la correlación genética entre longitud de grano y otros caracteres es muy escasa. Los antecedentes encontrados son los siguientes: Una población sometida a selección divergente para longitud de mazorca por 27 años consiguió tanto un incremento como un decremento significativo en dicha variable, lo que permitió evaluar la respuesta correlacionada con otros caracteres; la longitud del grano estuvo asociada positivamente con el diámetro de la mazorca y negativamente con la longitud de la misma (Hallauer y Miranda, 1981). Por el contrario, Nastasić *et al.* (2010) encontraron una correlación positiva de longitud de grano con longitud de mazorca y con rendimiento. Malvar *et al.* (1990) determinaron una correlación de cero entre longitud de grano y días a floración femenina. El hecho de que la correlación entre un mismo par de caracteres pueda ser positiva en una población y negativa en otra puede atribuirse al menos en parte a lo que reportan Ross *et al.* (2006), quienes encontraron ligamiento en fase de repulsión entre QTLs de rendimiento y longitud de mazorca, dado que la recombinación durante la meiosis puede cambiar el ligamiento a fase de acoplamiento y como resultado, pasar de una correlación negativa a una positiva.

Como la heredabilidad y las correlaciones genéticas son propiedad de cada carácter y de cada población, se justifica su estimación en poblaciones específicas con el fin de predecir la respuesta a selección (Nyquist, 1991). La Heredabilidad en sentido estricto se define como la parte de la varianza fenotípica total que es varianza aditiva (Fehr, 1987; Hallauer y Miranda, 1981; Márquez, 1995). Dicho de otro modo, en qué proporción el fenotipo refleja al genotipo y puede ser transmitido a la descendencia. El objetivo del presente trabajo fue determinar la heredabilidad de la longitud de grano y su correlación genética con otros caracteres mas heredables y de fácil medición, para hacer un pronóstico de avance por selección directa e indirecta, a partir de una evaluación de líneas endogámicas derivadas de una generación de autofecundación llamadas auto hermanos o S1.

## Materiales y Métodos

Para el presente estudio se utilizaron 218 líneas S1 de la población Pajacuarán, derivadas de la autofecundación de plantas seleccionadas por su alto vigor al momento de la floración, las cuales fueron evaluadas bajo diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones, en la localidad de Villamar, Michoacán. La parcela útil fue de dos surcos de cinco m de longitud separados a 80 cm, con dos plantas cada 40 cm; esto es a densidad de 62,500 plantas/ha. Se aplicó la fórmula de fertilización NPK 100-50-00, aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno al momento de la siembra, y el resto del nitrógeno 45 días después. La fuente de nitrógeno fue sulfato de amonio y la de fósforo superfostato triple de calcio. El ensayo fue establecido el 15 de junio de 2002. Además de la longitud de grano, se midieron las variables longitud y diámetro de mazorca, altura de la mazorca y número de hojas por arriba de la misma en cinco plantas de cada repetición de cada tratamiento. El criterio de selección de las cuatro variables adicionales fue la facilidad de medición, que permite aplicar la

selección masal visual estratificada propuesta por Molina (1983) y su alta heredabilidad para altura de la mazorca y número de hojas por arriba de la misma., Para evaluar la longitud de grano se extrajeron cinco semillas de la parte central de la mazorca y se midieron con vernier marca Scala®, y se calculó su promedio. Para el análisis estadístico de los datos solamente se tomaron 151 líneas, en las que no hubo pérdidas de repeticiones ni de plantas dentro de repeticiones. Se utilizó el procedimiento ANOVA del paquete estadístico SAS, versión 9 (SAS Institute, 2003) y el procedimiento VARCOMP, para obtener los componentes de varianza bajo un modelo totalmente aleatorio.

El modelo estadístico utilizado es:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + f_i*b_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde: Yij = Variable respuesta,  $\mu$  = Media general, fi = Efecto de la familia i, bj = Efecto del bloque j,  $\epsilon_{ijk}$  = Error intraparcelar. La **tabla 1** muestra el análisis de varianza, incluyendo el valor esperado de cuadrados medios bajo el modelo aleatorio.

F. V.	G. L.	C. M.	C. M. E.
Repeticiones	r-1,		
Familias	f-1	M3	$\sigma e^2 + n\sigma f^*r^2 + rn\sigma^2 f$
Fam*Rep	(f-1)(r-1)	M2	$\sigma e^2 + n\sigma f^*r^2$
Error	rh(n-1)	M1	$\sigma e^2$

**Tabla 1.** ANOVA para estimar los componentes de varianza.

F. V. = fuentes de variación, G. L. = grados de libertad, C. M. = cuadrado medio, C. M. E. = cuadrado medio esperado, f = número de familias evaluadas, r = número de repeticiones, n = número de plantas muestreadas por unidad experimental.

A partir de allí el despeje de varianzas es el siguiente:

$$\sigma^2 f = (M3 - M2) / rn = \sigma^2 A + \frac{1}{4} \sigma^2 D = \text{varianza aditiva mas } \frac{1}{4} \text{ de varianza dominante.}$$

$$\sigma^2 f^*r = (M2 - M1) / n = \text{varianza de familias por repeticiones.}$$

$$\sigma^2 e = M1 = \text{varianza del error.}$$

$$\sigma^2 pr^*f = M3 / rn = \text{varianza fenotípica entre familias.}$$

Se hicieron las estimaciones de heredabilidad, considerando que la varianza entre familias S1 equivale al total de la varianza aditiva mas  $\frac{1}{4}$  de la varianza dominante (Hallauer y Miranda, 1981). Entonces, el valor de heredabilidad calculado de esta forma está sobreestimado. Se utilizó la fórmula a nivel de familias ( $h^2f$ ) de acuerdo a *et al.* (2002):

$$h^2f = \sigma^2 f / (CMf / nr)$$

Donde:  $h^2f$  = heredabilidad en sentido estricto para selección de familias,  $\sigma^2 f$  = varianza entre familias, CMf = cuadrado medio de familias, n = número de individuos por parcela y r = número de repeticiones.

Para calcular la respuesta absoluta predicha a la selección se consideraron dos metodologías: selección masal visual estratificada (Molina, 1983) y selección combinada de familias de medios hermanos maternos, también conocida como mazorca por surco modificado (Lonquist, 1964), que son dos de los mas sencillos, rápidos y baratos entre 19 métodos de selección para especies

alógamas. Las fórmulas para esta estimación son, de acuerdo a Peña *et al.* (2002):

$$\text{RSMVE} = \text{ck}1\sigma2A / (\sigma^2f + \sigma^2r^*f + \sigma^2e)^{1/2}$$

$$\text{RSCMH} = \text{ck}2 \frac{1}{4}\sigma2A / (\sigma2pr^*f)^{1/2} + \text{ck}3 \frac{3}{4}\sigma2A / (\sigma2e)^{1/2}$$

Donde: RSMVE = pronóstico absoluto de avance por selección masal visual estratificada, RSCMH = pronóstico absoluto de avance por selección combinada de familias de medios hermanos maternos,  $\sigma^2f$  = varianza entre familias,  $\sigma^2r^*f$  = varianza de la interacción repetición x familia,  $\sigma^2e$  = varianza del error intra-parcelar,  $\sigma2pr^*f$  = varianza fenotípica entre familias, n = número de individuos medidos por parcela, b = número de repeticiones, c = control parental, que en ambos métodos tiene valor de 0.5 porque los individuos seleccionados son polinizados libremente por el resto de las plantas, k = presión de selección estandarizado, que tiene los valores de k1= 2.063, K2 = 1.4 y k3 = 2.063, cuando se selecciona respectivamente al 5% de las plantas, al 20% de las familias y al 5% de las plantas dentro de familias previamente seleccionadas. Los valores relativos de respuesta a selección se obtuvieron dividiendo el pronóstico absoluto por la media del carácter correspondiente y multiplicando por cien para expresarlo en porcentaje.

La correlación fenotípica fue estimada por medio de la correlación de Pearson. Para estimar la correlación genética entre pares de caracteres se combinaron las fórmulas de White y Hodge (1989) y Falconer y Mackay (1996).

$$rGxy = ((\sigma^2f(x+y) - (\sigma^2fx + \sigma^2fy)/2) / (\sigma^2fx * \sigma^2fy))^{1/2}$$

Donde: rGxy = correlación genética entre las variables x e y;  $\sigma^2f(x+y)$  = varianza de familias para la suma de las variables x e y;  $\sigma^2fx$  = varianza de familias para la variable x;  $\sigma^2fy$  = varianza de familias para la variable y. Para esto se trabajó con valores estandarizados. Para calcular la respuesta relativa a la selección indirecta se utilizó la fórmula de Hallauer y Miranda (1988).

#### $h22/h21 * rGxy$

Donde, h22 es el valor de la heredabilidad para el carácter candidato a ser utilizado para aplicar la selección indirecta, h21 es la heredabilidad para el carácter de interés, rGxy es la correlación genética entre ambos caracteres.

## Resultados

Los valores medios para las variables consideradas en este estudio fueron: 10.03 mm para longitud de grano, 55.24 cm para altura de mazorca, 5.16 hojas por arriba de la mazorca, 13.31 cm para longitud de mazorca y 45.97 mm para diámetro de mazorca. Estos valores son inferiores a los de la variedad de donde fueron derivadas las líneas por efecto de depresión endogámica. En la **Tabla 2** se presentan los valores calculados de cuadrados medios y componentes de varianza.

FV	LG	AM	HAM	LM	DM
Familias	6.468ns	1083.358**	1.803**	45.941**	103.425**
	0.138	76.578	0.112	2.631	6.093
Fam*Rep	5.088**	317.574**	0.685	19.627**	42.499**
	0.792	38.032	0.047	2.313	5.741
Error	1.129	127.412	0.45	8.06	13.797
	1.129	127.412	0.45	8.06	13.797

**Tabla 2.** Valores de cuadrado medio (arriba) y componentes de varianza (abajo en negritas) para la población Pajacuarán.

FV = fuentes de variación, LG = longitud de grano, AM = altura de la mazorca, HAM = número de hojas por arriba de la mazorca, LM = longitud de mazorca, DM = diámetro de mazorca, \*\* = significativo al nivel 0.01, ns = no significativo.

En la **tabla 3** se presentan los valores estimados de heredabilidad y respuesta predicha a selección absoluta y en porcentaje.

Carácter	h2f	RSMVE	RSMVE (%)	RSCMH	RSCMH (%)
LG	0.21	0.10 mm	0.98	0.31 mm	3.05
AM	0.71	5.08 cm	9.19	10.09 cm	18.27
HAM	0.62	0.15 hojas	2.86	0.31 hojas	6.08
LM	0.57	0.75 cm	5.65	1.61 cm	12.13
DM	0.59	1.24 mm	2.70	6.40 mm	13.93

**Tabla 3.** Valores estimados para heredabilidad en base a familias y respuesta a selección absoluta y relativa (%).

LG = longitud de grano, AM = altura de la mazorca, HAM = número de hojas por arriba de la mazorca, LM = longitud de mazorca, DM = diámetro de mazorca, h2f = heredabilidad en base a familias, RSMVE = pronóstico de avance por selección masal visual estratificada, RSCMH = pronóstico de avance por selección combinada de familias de medios hermanos maternos.

En la **tabla 4** se muestran los valores de correlaciones fenotípica (de Pearson) y genética, así como la respuesta relativa esperada a la selección indirecta.

Carácter	h2f	r	rgxy	Rcorr
LG	0.21	1	1	1
AM	0.71	0.12	0.06	0.21
HAM	0.62	0.21	0.39	1.16
LM	0.57	0.14	0.19	0.50
DM	0.59	0.38	0.63	1.77

**Tabla 4.** Valores estimados de heredabilidad (h2f), correlación fenotípica (r) y genética (rgxy) entre longitud de grano y el resto de las variables, y respuesta relativa a selección indirecta (Rcorr).

LG = longitud de grano, AM = altura de la mazorca, HAM = número de hojas por arriba de la mazorca, LM = longitud de

mazorca, DM = diámetro de mazorca.

En todos los casos la correlación, tanto fenotípica como genética fue positiva.

## Discusión

Hubo diferencias significativas entre familias a nivel 0.01 de probabilidad, para todas las variables, excepto longitud de grano, lo que refleja baja variación en este carácter e influye en un menor valor de respuesta a selección. La interacción familia por repetición fue significativa al nivel 0.01 para todas las variables, lo que implica que existe interacción genotipo-ambiente. Destaca la superioridad de la selección combinada de familias de medios hermanos sobre la selección masal visual estratificada, que duplica y hasta triplica la respuesta esperada y justifica el mayor costo de implementar dicha metodología.

El valor estimado de heredabilidad para longitud de grano es bajo y coincide con la recopilación de resultados que reportan Hallauer y Miranda (1981), y que resulta en un avance lento por selección y refuerza la necesidad de buscar una alternativa en la selección indirecta. La heredabilidad para altura de mazorca y número de hojas por arriba de la misma también corresponden a lo que generalmente han encontrado otros autores como Castañón y Latournerie (2004). Los valores de heredabilidad para longitud y diámetro de mazorca son superiores a los que comúnmente aparecen en la bibliografía, sin embargo debemos recordar que la varianza de familias, en este caso de líneas S1, incluye la varianza aditiva más una cuarta parte de la varianza dominante y que esto nos arroja un valor sobreestimado de heredabilidad. Muestra de ello son los resultados de Ajala *et al.* (2009), que utilizando al mismo tiempo familias de medios hermanos y líneas S1 determinaron respectivamente valores de heredabilidad de 0.41 y 0.77 para días a floración femenina y 0.52 y 0.63 para altura de planta, y de Stojković *et al.*, (2010), que trabajando también con familias de medios hermanos y líneas S1, obtuvieron respectivamente heredabilidades de 0.49 y 0.99 para altura de mazorca y 0.75 y 0.83 para longitud de mazorca. Por la misma razón, el pronóstico de avance por selección está también sobreestimado, aunque los valores calculados son similares a los que reportan Hallauer y Miranda (1981) para longitud de mazorca, para la población BSSS, de 0.46 cm aplicando selección masal estratificada y también 0.46 cm aplicando selección de familias de medios hermanos, y 8.92 y 5.63 cm para altura de mazorca aplicando los mismos métodos.

En todos los casos la correlación fenotípica y genotípica fue positiva y puede esperarse un incremento en todas las variables por selección basada en longitud de grano. Esto es contrario a los valores negativos de correlación entre longitud de grano y longitud de mazorca reportados por Hallauer y Miranda (1988) y Ross *et al.* (2006). No obstante, los resultados coinciden con los valores positivos de Nastasić *et al.* (2010), lo que confirma que la variabilidad y correlaciones genéticas son propias de cada población. Aunque la respuesta indirecta por un mayor número de hojas por arriba de la mazorca tendrá una efectividad superior en un 16 por ciento respecto a la selección directa, si se aplica selección por un mayor diámetro de mazorca, la selección indirecta será 77 por ciento más efectiva que la selección directa por longitud de grano. Entonces, el diámetro de mazorca es el más adecuado para

implementar la selección indirecta. Finalmente, aunque puede esperarse que la respuesta a selección indirecta disminuya después de algunos ciclos de selección (Villanueva y Kennedy, 1991), el avance que pueda lograrse no deja de ser útil.

## Conclusiones

Hubo diferencias estadísticamente significativas para todas las variables evaluadas, excepto longitud de grano. Los valores de heredabilidad están sobreestimados, pero quedan dentro de los límites que comúnmente aparecen en la literatura. La respuesta predicha a selección combinada de familias de medios hermanos está entre el doble y el triple respecto a la selección masal visual estratificada. El pronóstico de avance por selección directa para longitud del grano es bajo. La selección por diámetro de mazorca tendrá una respuesta correlacionada en la longitud del grano 77 % superior a la selección directa sobre este último carácter.

## Agradecimientos

A la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el financiamiento del presente trabajo.

## Referencias

- Ajala SO, Ago CE, Olaoye G. 2009. Comparison of predicted responses to three types of recurrent selection procedures for the improvement of a maize (*Zea mays* L.) population. *Journal of plant breeding and crop science* 1: 284-292.
- Castañón NG, Latournerie ML. 2004 Comportamiento de familias S1 de maíz en distintos pH del suelo. *Bragantia Campinas* 63: 63-72
- Charcas SH, Olivares SE, Aguirre RJR. 2000a. Producción de maíz elotero en la región de Río Verde, San Luis Potosí, México. In: Zavala GF, Ortega P R, Mejía CJA, Benítez RI, Guillén AH (eds.) *Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética: Notas Científicas. Sociedad Mexicana de Fitogenética, Chapingo, México.* p. 150.
- Charcas H, Aguirre JR, Olivares E. 2000b. Proceso de conformación agrícola de la región de Río Verde, San Luis Potosí, México. *Revista Geográfica. México.* 128: 105-117.
- Coutiño EB, Vidal MVA, Cruz GB, Cruz VC. 2010. Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos eloteros. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 33: 57-61.
- Edwards J. 2011. Changes in plant morphology in response to recurrent selection in the Iowa Stiff Stalk Synthetic maize population. *Crop Science* 51: 2352-2361.
- Falconer DS, Mackay TF. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4a ed. England: Longman, 1996. 464 p.
- Fehr WR. 1987. Principles of cultivar development. Vol. I Theory and Technics. Iowa State University Press. Ames, Io. 520 p.
- Hallauer AR, Miranda JB. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. Ames, Io. USA. 468 p.
- Hill J, Ortiz R, Wagoire WW, Stølen O. 1999. Effectiveness of indirect selection for wheat yield in a stress environment. *Theoretical and applied genetics* 98: 305-309.
- Lonquist JH. 1964. A modification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. *Crop Science* 4: 227-228.

- Malvar RA, Revilla P, Ordas A.** 1990. Additive correlations between days to flowering and agronomic traits in two landraces of maize. *An. Aula Dei* 20: 59-64.
- Márquez SF.** 1995. Métodos de Mejoramiento Genético del Maíz. *Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.* 77 pp.
- Molina GJD.** 1983. Selección masal visual estratificada en maíz. *Publicación Especial. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.* 36 p.
- Moreno MM, Peña LA, Sahagún CJ, Rodríguez PJE, Mora AR.** 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 231-237.
- Nastasić A, Jocković D, Ivanović M, Stojaković M, Bocanski J, Dalović I, Sreckov Z.** 2010. Genetic relationship between yield and yield components of maize. *Genetika* 42: 529 -534.
- Nyquist WE.** 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Rev. Plant Sciences* 10: 235-322.
- Peña LA, Molina GJD, Márquez SF, Sahagún CJ, Ortiz CJ, Cervantes ST.** 2002. Respuestas estimadas y observadas de tres métodos de selección en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 171-178.
- Stojković S, Deletić N, Djurić V, Biberdžić M.** 2010. Genetic and phenotypic variability of yield components in an F3 maize population. *Research Journal of Agricultural Science* 42: 297-301.
- Ross AJ, Hallauer AR, Lee M.** 2006. Genetic analysis of traits correlated with maize ear length. *Maydica* 51: 301-313.
- SAS Institute.** 2003. SAS version 9.1.3 for Windows. *SAS Institute, Inc. Cary, NC.*
- Searle SR.** 1978. The value of indirect selection. *Theoretical and applied genetics* 51: 289-296.
- Villanueva B, Kennedy BW.** 1991. Efficiency of indirect selection at selection equilibrium. *Theoretical and applied genetics* 81: 166-172.
- Voichița Ha.** 1999. Genetic analysis of some yield components and kernel quality in sweet corn. *Romanian Agricultural Research* 11-12: 9-20.
- White TL, Hodge GR.** 1989. Predicting Breeding Values with Applications in Forest Tree Improvement. *Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.* 368 p.
- Zare M, Choukan R, Bihamta MR, Majidi Heravan e, Kamelmanesh MM.** 2011. Gene action for some agronomic traits in maize (*Zea mays* L.). *Crop Breeding Journal* 1: 133-141.