

CAMBIOS EN LA CALIDAD DE FRUTO MADURO DE UNA POBLACIÓN SINTÉTICA DE CALABAZA (*Cucurbita pepo* L.)

I. Meneses-Márquez¹; C. Villanueva-Verduzco²;
J. Sahagún-Castellanos².

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Campo Experimental Cotaxtla. Km 34 Carretera Veracruz-Córdoba,
Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Apdo. Postal 429, C. P. 91700. MÉXICO.
Tel. 01(229)93-48354.

Correo-e: meneses.isaac@inifap.gob.mx (¹Autor responsable).

²Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.
Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO.

RESUMEN

En el sistema milpa (asociación maíz-calabaza), la producción de fruto maduro de buena calidad representa una alternativa que permite incrementar los ingresos económicos de los productores. En este escenario, desde 1997 hasta 2001, durante los ciclos primavera-verano, se llevó a cabo selección combinada de medios hermanos maternos en una población sintética de calabaza (*C. pepo* L.) con el objetivo de mejorar la calidad de fruto maduro con base en la evaluación del color y sabor de la pulpa del fruto. El mejoramiento genético por selección combinada para calidad de fruto maduro permitió incrementar la frecuencia de frutos de alta calidad desde 18 % en la población original hasta 73 % en el quinto ciclo de selección. La aplicación del enfoque de mejoramiento genético participativo, a pesar de los cinco ciclos de selección, permitió conservar la diversidad genética presente en la población original, aunque los frutos con colores de pulpa amarilla intensa, amarilla clara y blanco se encontraron en baja frecuencia en el quinto ciclo de selección. La mayor ganancia genética correspondió al color de pulpa anaranjado intenso (207 %), muy diferente a lo ocurrido con el amarillo intenso (5.5 %). La selección combinada resultó eficiente para mejorar el sabor de pulpa muy dulce, ya que logró concentrar un mayor porcentaje de frutos en esta categoría (25 %) en detrimento de los frutos con sabor insípido. El avance genético fue de 211 y -15 % para el sabor muy dulce e insípido, respectivamente.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Cucurbita pepo* L., fitomejoramiento, selección combinada, sabor de pulpa, color de pulpa.

CHANGES IN MATURE FRUIT QUALITY OF A SYNTHETIC SQUASH POPULATION (*Cucurbita pepo* L.)

ABSTRACT

In the milpa cropping system (intercropping corn and squash), production of high quality mature squash can be an alternative for increasing the farmer's income per unit of area. Considering this, from 1997 to 2001, during each spring-summer cycle, combined selection of maternal half-sib families was carried out in a synthetic squash population. The objective was to improve mature fruit quality evaluated on the basis of fruit flesh color and flavor traits. Frequency of high quality fruits was increased by combined selection; in the fifth selection cycle it reached 73 % in contrast with 18 % found in the original population. Despite five selection cycles, participatory plant breeding approach has maintained the genetic diversity observed in the original population, although the frequency of fruits with intense yellow, light yellow and white flesh was low in the fifth cycle. The greatest genetic gain was for intense orange flesh color (207 %) contrasting with that of fruits with intense yellow flesh (5.5 %). Combined selection improved the very sweet flesh flavor: a larger percentage (25 %) of fruits were grouped in this category while that of fruits with insipid flavor decreased. Genetic gain was 211 and -15 % for very sweet and insipid fruits, respectively.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Cucurbita pepo* L., plant breeding, combined selection, flesh flavor, flesh color.

INTRODUCCIÓN

Las especies cultivadas de calabaza (*Cucurbita pepo* L., *C. moschata* L., *C. argyrosperma* L. y *C. maxima* L.) tienen importancia alimenticia en casi todo el mundo; los frutos inmaduros (verdura) y maduros, y las semillas, se preparan de diversas maneras para su consumo. En regiones de Latinoamérica, las flores y las puntas tiernas de los tallos y guías se consumen como verdura (Lira, 1993). La importancia de la calabaza se debe al contenido de sustancias nutritivas y a las cualidades gustativas del fruto. Además, de acuerdo con las variedades, la pulpa del fruto maduro contiene desde 11 hasta 27 % de sólidos totales y 45 % de azúcares. La semilla es rica en grasas, proteínas y albúminas (Guenkov, 1974).

En México, el mejoramiento de *Cucurbita* se inició en 1955 con la observación y colección de material cultivado que se sembraba con la finalidad de aprovechar sus frutos maduros, pero no de aquellos materiales cuyos frutos se consumían tiernos como verdura. Los procedimientos de mejoramiento genético que se han seguido para las especies cultivadas son: autofecundación y selección, mediante los cuales se ha pretendido aumentar el rendimiento de fruto y de semilla sin considerar la cantidad y calidad de aceite. En otros programas de mejoramiento se utiliza la selección masal y selección familiar para rendimiento de semilla y aspecto de fruto (Pérez *et al.*, 1997).

La información estadística y tecnológica se refiere a la producción comercial de *C. pepo* para verdura; las compañías productoras de semilla hacen el mejoramiento dirigido hacia la obtención de genotipos con esa finalidad (Valadez, 1994). A partir de 1996, en la Universidad Autónoma Chapingo, se inició el programa de mejoramiento genético de calabazas criollas en todas las especies cultivadas en México. En este programa se aplica selección masal y selección combinada de familias de medios hermanos maternos, para mejorar la calidad del fruto maduro (color y sabor de pulpa) y de semilla (Sánchez *et al.*, 2000; Meneses *et al.*, 2002).

Las especies de *Cucurbita* son representativas de la agricultura tradicional y de subsistencia que se practican en México. Por lo general, se encuentran asociadas con maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y quelites (*Chenopodium álbum* L.), y en conjunto, forman parte del "sistema milpa". Es frecuente la disponibilidad de numerosas variedades criollas en regiones donde se cultiva de manera tradicional (Pérez *et al.*, 1997). En este sistema, la producción de fruto maduro de buena calidad permite a los campesinos incrementar sus ingresos por unidad de superficie. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue determinar el avance genético en la calidad del fruto maduro en una población de calabaza bajo selección combinada de familias de medios hermanos maternos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo desde 1997 hasta 2001, en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, durante el ciclo primavera-verano en condiciones de riego. La población inicial se integró con 120 familias de medios hermanos maternos, provenientes de una colecta realizada en 1996 en las regiones de la Sierra Norte de Puebla y el Valle de Chalco-Amecameca, de los estados de Puebla y México, respectivamente.

En cada ciclo, la siembra se realizó bajo el "sistema milpa"; es decir, en asociación maíz-calabaza. Se estableció una familia de calabaza por surco de 24 m de longitud y 1.8 m de separación. Cada familia se integró por 17 matas con tres plantas cada una, separadas a 1.5 m; sin embargo, en cada mata se depositaron cinco semillas para raleo y dejar las tres mejores plantas. Los surcos de maíz tuvieron los mismos distanciamientos, con excepción de las matas, las cuales estuvieron a 20 cm, y se depositaron tres semillas por mata. La distancia entre surcos fue a 0.9 m y se sembró un surco de calabaza por cada uno de maíz, por lo que la distancia entre surcos de la misma especie fue 1.8 m. La cosecha se realizó cinco meses después de la siembra. La densidad de población en calabaza fue 11,256 plantas-ha⁻¹ y en maíz de 80,000 plantas-ha⁻¹.

Del primero al cuarto ciclo de selección se evaluaron 120 familias y en el quinto ciclo de selección sólo 60 familias. Para restituir la población inicial (120 familias), en los primeros cuatro ciclos se aplicó una presión de selección entre familias de 33 % (120 x 0.33=40) y del 6 % dentro de cada familia seleccionada. En el 2000, la presión de selección entre y dentro de familias fue: 17 y 6 %, respectivamente. El lote experimental se utilizó simultáneamente para evaluación y selección de las familias.

Se evaluaron los caracteres de calidad del fruto: grosor de pulpa (GP; cm), se midió con una regla milimétrica, sin incluir el pericarpio (cáscara), hasta donde limita con la placenta; color de pulpa (CP), se realizó un censo en toda la población, en la cual se aplicó una clasificación con base en la siguiente escala ordinaria: 1= anaranjado intenso, 2= anaranjado, 3= amarillo intenso, 4= amarillo, 5= amarillo claro y 6= blanco; sabor de pulpa (SP), se determinó de acuerdo con la escala siguiente: 1= muy dulce, 2= dulce y 3= insípido, mediante la degustación de una porción de pulpa de todos los frutos.

Respuesta a la selección

Se determinó mediante la regresión de las frecuencias de frutos por cada categoría de la escala ordinaria de color y sabor sobre ciclos de selección, con base en el siguiente modelo:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i$$

Donde:

\hat{Y}_i = valor predicho del carácter de interés (variable dependiente)

X = i - ésimo ciclo de selección

$\hat{\beta}_0$ = estimador de la ordenada al origen "Y"

$\hat{\beta}_1$ = estimador del coeficiente de regresión.

De acuerdo con Villanueva (1988), el coeficiente de regresión del modelo ($\hat{\beta}_1$) se interpretó como el avance genético promedio por ciclo de selección (Δ_G) que se expresó en la forma:

$$\text{Donde: } \Delta_G = (\hat{\beta}_1 / \bar{C}_0) \times 100$$

\bar{C}_0 = media del carácter (valor escalar) en la variedad original,

$\hat{\beta}_1$ = estimador del coeficiente de regresión lineal simple.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Color de pulpa

En el primer ciclo de selección los porcentajes de color de pulpa amarilla y blanca fueron superiores a los del resto de los colores agradables: 51 % del total correspondió a este tipo de frutos y sólo 4.6 % a frutos con pulpa amarilla intensa. En el segundo ciclo de selección, 62 % de los frutos fue de color de pulpa anaranjada intensa y anaranjada; situación totalmente opuesta se evidenció en el caso de los frutos con pulpa amarilla clara y blanca (14.8 %). En el tercer ciclo de selección continuó la tendencia favorable para los frutos de pulpa anaranjada intensa; sin embargo, los colores de pulpa de menor aceptación en el mercado (amarilla, amarilla clara y blanca) alcanzaron una tercera parte de la población de frutos, como resultado de menor frecuencia de frutos con color de pulpa anaranjada y amarilla intensa en la población (Cuadro 1). A pesar de no seleccionar frutos blancos, siempre se presentarán estos colores debido a que la calabaza es una especie de polinización cruzada favorecida por la actividad de transporte de polen que realizan las abejas (Robinson y Decker-Walters, 1997) y, más aún, cuando en la población bajo selección se permitió la polinización natural, por lo que las múltiples visitas de las abejas sobre las flores masculinas, frecuentemente resulta en una deposición de polen mezclado en estigmas receptivos (Kirkpatrick y Wilson, 1988). Además, en la familia Cucurbitaceae es común encontrar frecuencias elevadas de color de pulpa poco atractivas para el consumidor; por ejemplo, Sari y Solmaz (2007) al evaluar 64 colectas de *Cucumis melo* encontraron que el 88 % fueron de pulpa verde, 8 % anaranjado y 3 % crema.

CUADRO 1. Frecuencias fenotípicas (%) de seis colores de pulpa de fruto maduro en cinco ciclos de selección combinada de una población de calabaza.

Año	Color de pulpa de fruto						Total
	AnI*	An	AmI	Am	AmC	B	
1997	4.6	13.7	13.7	16.1	38.7	13.0	100.0
1998	24.9	38.0	14.6	7.6	8.0	6.8	100.0
1999	28.9	30.1	7.5	11.5	10.6	11.3	100.0
2000	62.0	22.4	8.4	3.8	3.3	0.2	100.0
2001	33.3	40.0	13.0	7.0	4.3	2.3	100.0
β_1^z	9.46	3.7	-0.76	-2.19	-7.35	-2.8	
Δ_G (%)	207.4	27.0	-5.5	-13.6	-18.9	-21.5	

*Estimador del coeficiente de regresión lineal simple y Δ_G (%): avance genético en porcentaje de la variedad original.

*(AnI): anaranjado intenso, (An): anaranjado, (AmI): amarillo intenso, (Am): amarillo, (AmC): amarillo claro y (B): blanco.

Otro factor relacionado con la tendencia de los resultados encontrados, es que se aplicó mejoramiento genético participativo, lo que evitó una reducción drástica de la variabilidad genética inicial de la población, mediante la selección de todos los colores de pulpa presente (Cleveland *et al.*, 1994; Qualset *et al.*, 1997; Rhoades y Nazarea, 1999), y se favoreció la mejor calidad. Lo anterior guarda relación en el sentido de que aún en el tercer ciclo de selección se encontró representada la diversidad de color de pulpa que desde el inicio mostró la población, e incluso con frecuencia de 32 % para los colores amarillo, amarillo claro y blanco (Cuadro 1).

Durante el tercer ciclo de selección hubo alta incidencia de virosis lo que provocó deformaciones y menor tamaño del fruto. En el cuarto ciclo de selección los colores de pulpa anaranjado intenso y anaranjado representaron 84.4 % de la población, lo que fue en detrimento del color de pulpa blanca, cuya presencia fue nula; este incremento del tercero al cuarto ciclo fue el de mayor magnitud con respecto a los ciclos de selección previos. Las frecuencias obtenidas en el cuarto ciclo de selección fueron producto de seleccionar en el ciclo anterior únicamente frutos sin deformaciones por síntomas de virosis. Al determinar el color de pulpa se detectó que los frutos con mayor problema de deformación tuvieron pulpa amarilla intensa, amarilla, amarilla clara o blanca, por lo que la selección de frutos se realizó hacia aquellos de mejor aspecto fitosanitario, la cual indirectamente favoreció a los frutos de pulpa anaranjada y anaranjada intensa. En el cuarto ciclo se retomó el enfoque participativo, por lo que después de cinco ciclos de selección aún se conserva la variación en color de pulpa de fruto al igual que en la población original. No obstante lo anterior, la calidad del fruto de un cultivo depende de manera significativa de las condiciones de crecimiento en que se desarrolle (Searle y Renquist, 2005).

El análisis de la tendencia de los datos anteriores mostró el avance logrado con la selección para calidad de

fruto. Sin embargo, Chávez (1993) mencionó que la mejor medida de la respuesta promedio por generación se obtiene a partir de la pendiente de la línea de regresión ajustada a las medias de las generaciones, en la suposición de que la respuesta verdadera es constante sobre el promedio comprendido. De esta manera, se obtuvo el coeficiente de regresión de 9.46 y de 3.7 para color de pulpa anaranjado intenso y anaranjado, respectivamente (Figura 1). En las restantes categorías de color de pulpa, a pesar de que se obtuvieron valores negativos, éstos representan avance favorable en el sentido de que se disminuyó la frecuencia de frutos de baja calidad (Figura 2). El avance genético alcanzado con respecto a la variedad original (población) evidenció que el color anaranjado intenso y anaranjado fueron los de mayor ganancia genética (Cuadro 1).

Sabor de pulpa

En el primer ciclo de selección, 69 % de los frutos fueron insípidos, en contraste a lo ocurrido en el segundo

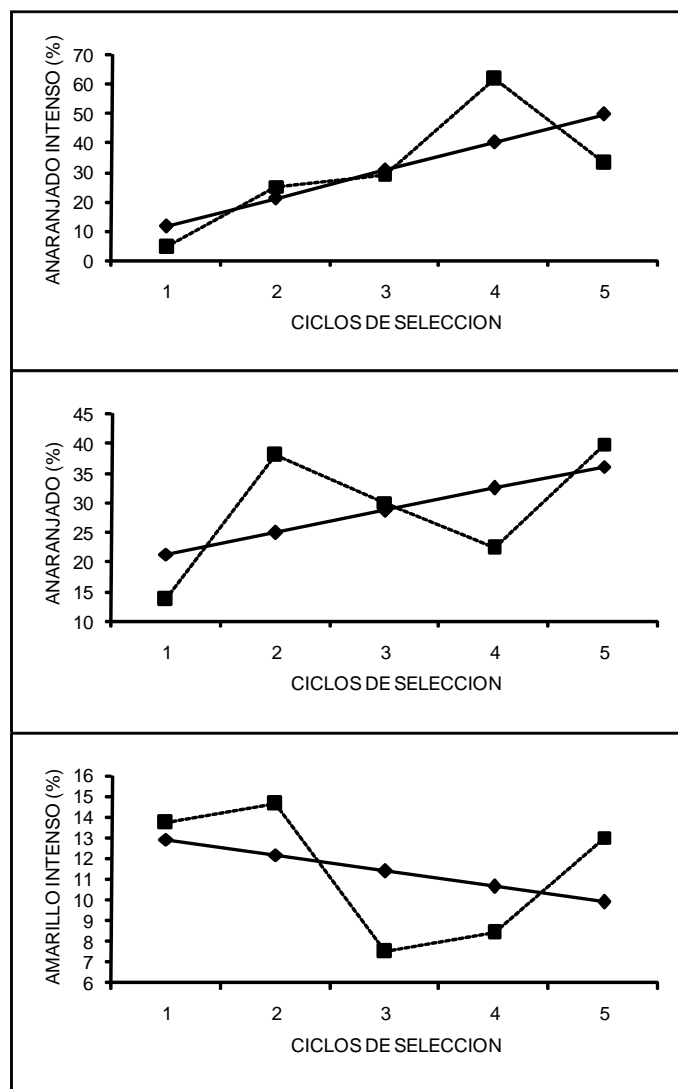


FIGURA 1. Regresión lineal simple sobre ciclos de selección en calabaza para color de pulpa: anaranjado intenso (AnI), anaranjado (An) y amarillo intenso (AmI).

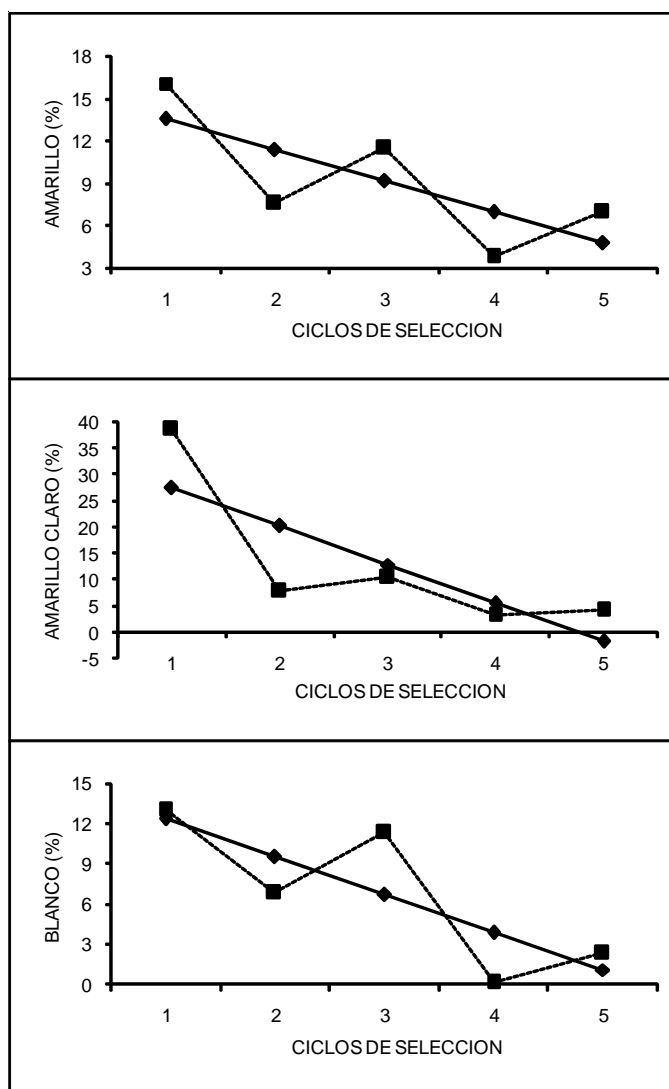


FIGURA 2. Regresión lineal simple sobre ciclos de selección en calabaza para color de pulpa: amarillo (Am), amarillo claro (AmC) y blanco (B).

ciclo, en el cual 61.6 % de frutos tuvieron pulpa dulce y muy dulce; esa misma tendencia se detectó para el tercer ciclo, incluso se incrementó y alcanzó 66.3 % del total de frutos. En el cuarto ciclo de selección se logró el mayor avance, donde el 91 % de los frutos produjeron pulpa dulce y muy dulce; en el quinto ciclo, a pesar de que disminuyó el avance, se alcanzó 69 % (Cuadro 2).

Los incrementos logrados permitieron concentrar mayor porcentaje de frutos con pulpa dulce; inclusive, a través de los ciclos fue la única variante dentro de esta clasificación que siempre aumentó, y la situación fue contraria a lo detectado para frutos insípidos. En el caso de frutos con pulpa muy dulce su tendencia fue irregular, ya que el avance de un ciclo, al siguiente volvió a disminuir. No obstante lo anterior, incrementó en 25 % la frecuencia de frutos con pulpa muy dulce en comparación con la población original (Cuadro 2).

El coeficiente de regresión estimado para frutos con pulpa muy dulce fue 5.5 y para los de sabor insípido de -10.5. Este valor negativo representó el porcentaje por ciclo de selección en que disminuyó la frecuencia de frutos de sabores no aceptados en el mercado (Figura 3). No obstante, con base en el avance genético expresado como porcentaje de la variedad original (población), la categoría de muy dulce logró un avance de 211 %, y en las dos categorías restantes los valores fueron 17.5 y 15.3 % respectivamente, para sabor de pulpa dulce e insípida (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

1. El mejoramiento genético por selección combinada de familias de medios hermanos maternos para calidad de fruto maduro en calabaza permitió incrementar la frecuencia de frutos de alta calidad hasta 73 % en el quinto ciclo de selección. En la población original fue 18 %.

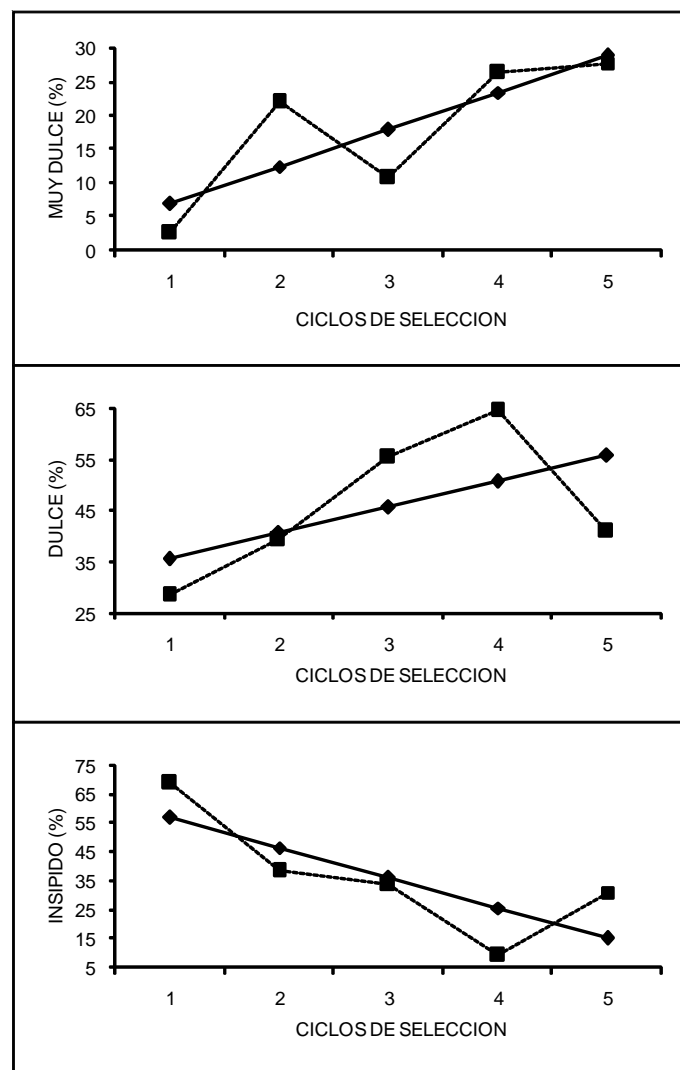


FIGURA 3. Regresión lineal simple sobre ciclos de selección en calabaza para sabor de pulpa: muy dulce (MD), dulce (D) e insípido (I).

CUADRO 2. Frecuencias fenotípicas (%) de tres sabores de pulpa de fruto maduro en una población de calabaza en cinco ciclos de selección combinada.

Año	Sabor de pulpa de fruto		
	Muy dulce	Dulce	Insípido
1997	2.6	28.6	68.8
1998	22.1	39.5	38.4
1999	10.8	55.5	33.6
2000	26.4	64.5	9.1
2001	27.8	41.1	31.1
β_1^z	5.5	5.0	-10.5
Δ_G (%)	211.5	17.5	-15.3

^zEstimador del coeficiente de regresión lineal simple y Δ_G (%): avance genético en porcentaje de la variedad original.

2. La mayor ganancia genética correspondió a color de pulpa anaranjado intenso (207 %), contrario a lo ocurrido con el blanco (-21.5 %).

3. La selección combinada resultó altamente favorable para el sabor de pulpa muy dulce, ya que logró concentrar mayor porcentaje de frutos en esta categoría (25 %) en detrimento de los frutos con sabor insípido. Los avances genéticos fueron de 211 y -15 % para el sabor muy dulce e insípido, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- CHÁVEZ, A. J. L. 1993. Mejoramiento de Plantas 1. 2da. Edición. Ed. Trillas. D. F., México. 136 p.
- CLEVELAND, D. A.; SOLERI, D.; SMITH, S. E. 1994. Do folk crop varieties have a role in sustainable agriculture? Incorporating folk varieties into the development of locally based agriculture may be the best approach. *BioScience* 44(11): 740-751.
- GUENKOV, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. pp. 169-172.
- KIRKPATRICK, K. J.; WILSON, H. D. 1988. Interspecific gene flow in *Cucurbita*: *C. texana* vs *C. pepo*. *American Journal Botanical* 75(4): 519-527.
- LIRA S., R. 1995. Estudios Taxonómicos y Eco geográficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de Importancia Económica. UNAM. Instituto de Biología. IPGRI. D. F., México. 281 p.
- MENESES M., I.; VILLANUEVA V., C.; SAHAGÚN C., J.; VÁZQUEZ R., T. R.; MERRICK, L. C. 2002. Componentes de varianza genética y respuesta a la selección combinada en calabaza *Cucurbita pepo* L. bajo el sistema milpa. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(1): 5-14.
- PÉREZ G., M.; MÁRQUEZ S., F.; PEÑAL, A. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. 380 p.
- QUALSET, C. O.; DAMANIA, A. B.; ZANATTA, A. C. A.; BRUSH, S. B. 1997. Locally based crop plant conservation, pp. 45-75. *In: Plant Genetic Conservation. The in situ Approach*. MAXTED, N.; FORD-LLOYD, B. V.; HAWKES, D. (eds.). Chapman and Hall. Great Britain.
- RHOADES, R. E.; NAZAREA, V. D. 1999. Local management of biodiversity in traditional agroecosystems, pp. 215-236. *In:*

- Biodiversity in Agroecosystems. COLLINS, W. W.; QUALSET, C. O. (eds.). CRC Press LLC. USA.
- ROBINSON, R. W.; DECKER-WALTERS, D. S. 1997. Cucurbits. CAB International. University Press. Cambridge, UK. 226 p.
- SÁNCHEZ H., M. A.; VILLANUEVA V., C.; SAHAGÚN C., J.; MERRICK, L. C. 2000. Variación genética y respuesta a la selección combinada en una variedad criolla de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *stenosperma*). Revista Chapingo Serie Horticultura 6(2): 221-240.
- SARI, N.; SOLMAZ, I. 2007. Fruit characterization of some turkish melon genotypes. Acta Hort. 731: 103-108.
- SEARLE, B. P.; RENQUIST, A. R. 2005. Growth influences on quality of squash fruit. Acta Hort. 694: 405-410.
- VALADEZ L., A. 1994. Producción de Hortalizas. UTEHA-Noriega Editores. D. F., México. 298 p.
- VILLANUEVA V., C. 1988. Respuesta a la selección masal visual estratificada rotativa e *in situ* en la variedad de maíz Zacatecas 58. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad de Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 102 p.