

# RESPUESTA A LA SELECCIÓN PARTICIPATIVA EN VARIEDADES DE CALABAZA DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO

Miguel Ángel Sánchez-Hernández<sup>1</sup>; Clemente Villanueva-Verduzco<sup>2\*</sup>;  
César Sánchez-Hernández<sup>3</sup>; Jaime Sahagún-Castellanos<sup>2</sup>;  
Evert Villanueva-Sánchez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Papaloapan. Av. Ferrocarril s/n, Ciudad Universitaria.  
Loma Bonita, Oaxaca, MÉXICO. C. P. 68400.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco.  
Chapingo, Estado de Mexico, MÉXICO. C. P. 56230.

Correo-e: clemente.villanueva@gmail.com (\*Autor para correspondencia)

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan. Av. Tecnológico s/n,  
Colonia Los Ángeles. Cosamaloapan, Veracruz, MÉXICO. C. P. 95400.

## RESUMEN

Se realizó un estudio en la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, durante 2001, con el objetivo de estimar en calabaza (*Cucurbita pepo* L.) la respuesta a la selección participativa *in situ* en caracteres de planta, calidad de fruto y rendimiento de semilla. Se evaluaron dos variedades de la Sierra Norte de Puebla seleccionadas *in situ*: Mazapa (ciclos de selección 1 a 3), La Libertad (ciclos de selección 1 a 3) y un testigo, a una densidad de 27,639 plantas-ha<sup>-1</sup>, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La mayor respuesta por ciclo de selección, en promedio de localidades, ocurrió en la variedad Mazapa para número de frutos por planta (0.29 frutos; 31.8 %), altura (1.0 cm; 6.1 %) y ancho de fruto (0.5 cm; 2.4 %), grosor de pulpa (0.1 cm; 5.8 %), altura (0.034; 1.6 %) y ancho de semilla (0.001 cm; 0.11 %). La variedad La Libertad destacó en peso de semilla por fruto (12 g-fruto<sup>-1</sup>; 21 %) y en peso de frutos por planta (0.1 kg-fruto<sup>-1</sup>; 6.6 %). El segundo ciclo de selección de la variedad Mazapa sobresalió en peso de fruto (3.77 kg), peso de semilla por planta (98 g), grosor de pulpa (2.6 cm), alto de fruto (23.6 cm), ancho de fruto (20.3 cm) y ancho de semilla (0.934 cm). El tercer ciclo de selección en Mazapa mostró los valores más altos en número de frutos por planta (1.49), peso de fruto por hectárea (123.5 t-ha<sup>-1</sup>) y rendimiento de semilla por hectárea (3.83 t-ha<sup>-1</sup>).

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Cucurbitaceae, mejoramiento genético, fruto maduro, avance genético.

## RESPONSE TO PARTICIPATORY SELECTION IN TWO VARIETIES OF SQUASH FROM SIERRA NORTE DE PUEBLA, MEXICO

### ABSTRACT

A study was conducted at two sites near the Universidad Autónoma Chapingo, State of Mexico, in 2001, in order to estimate the response in squash (*Cucurbita pepo* L.) to *in situ* participatory selection in terms of fruit quality and seed yield. Two native varieties from Sierra Norte de Puebla, selected *in situ*, were evaluated: Mazapa (selection cycles 1 to 3) and Libertad (selection cycles 1 to 3), plus a control, at a density of 27,639 plants-ha<sup>-1</sup>, in a randomized complete block design with four replications. The best response per selection cycle, based on averaging the two locations, occurred in the Mazapa variety for number of fruits per plant (0.29 fruits; 31.8 %), fruit height (1.0 cm; 6.1 %), fruit width (0.5 cm; 2.4 %), flesh thickness (0.1 cm; 5.8 %), seed height (0.034 cm; 1.6 %) and seed width (0.001 cm; 0.11 %). The Libertad variety was better in gain for seed weight per fruit (12 g-fruit<sup>-1</sup>; 21 %) and fruit weight per plant (0.1 kg-fruit<sup>-1</sup>; 6.6 %). The second selection cycle in the Mazapa variety had the best gain in fruit weight (3.77 kg), seed weight per plant (98 g), flesh thickness (2.6 cm), fruit height (23.6 cm), fruit width (20.3 cm), and seed width (0.934 cm). The third selection cycle in Mazapa showed the highest values for number of fruits per plant (1.49), fruit weight per hectare (123.5 t-ha<sup>-1</sup>), and seed yield per hectare (3.83 t-ha<sup>-1</sup>).

ADDITIONAL KEYWORDS: Cucurbitaceae, plant breeding, mature fruit, genetic gain.

## INTRODUCCIÓN

El género *Cucurbita* ( $2n = 2x = 40$ ) incluye cinco especies cultivadas *C. argyrosperma* Huber (calabaza pipiana), *C. moschata* (calabaza de dulce), *C. ficifolia* Bouché (chilacayote), *C. maxima* Duchesne (Pumpkin), y *C. pepo* (calabacita) (Balkaya et al., 2010; Cerón et al., 2010; Blanca et al., 2011). La producción de calabazas se basa en cultivares tradicionales que han sido mantenidos por los agricultores durante siglos en países de Asia, Europa, África y América Latina (Du et al., 2011). De ahí que la producción global de calabazas en el mundo durante el año 2009 alcanzó 21 millones de toneladas (Nanasato et al., 2011).

En México la diversidad genética y taxonómica de calabazas es muy grande, principalmente en forma, tamaño y coloración del fruto, número y tamaño de semillas, calidad, color y grosor de la pulpa del fruto, tolerancia a plagas y enfermedades, y precocidad en producción de fruto, entre otras características (Lira, 1995; Montes et al., 2005; Cerón et al., 2010). Los agricultores tradicionales mexicanos han mantenido sus poblaciones locales de calabaza intercambiando semillas con agricultores de áreas cercanas, a nivel local.

El género *Cucurbita* es considerado uno de los más variables a nivel morfológico en todo el reino vegetal. La selección natural continua ha desempeñado un papel muy importante en la evolución del cultivo a través de un proceso de domesticación. La selección artificial se ha efectuado con el objetivo de mejorar el tamaño de fruto, color, forma y textura de la hoja, tiempo de madurez, adaptación a suelos de baja fertilidad y resistencia a plagas y enfermedades (Aruah et al., 2010). La colecta de calabazas ha permitido determinar el grado de variabilidad dentro de cultivares. Dicha variabilidad se ha utilizado con éxito en programas de mejoramiento genético (Du et al., 2011).

Los mexicanos utilizan los frutos de calabaza inmaduros (tipo 'Round Zucchini' y 'Grey Zucchini') y maduros (asados, en sopas, dulces y pasteles). También utilizan sus flores, hojas, puntas de guías y semillas. Estas últimas se utilizan como botanas y son una fuente importante de aceite y proteínas para consumo humano y animal, y en la industria farmacéutica (Lira, 1995; Montes y Eguiarte, 2002; Blanca et al., 2011; Jacobo et al., 2011).

Las calabazas aportan carbohidratos, vitaminas (A, B2; a-tocopherol, C y E), aminoácidos, flavonoides y minerales ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , P), además de que tienen un bajo contenido energético (17 Kcal por 100 g de pulpa). Considerando la información antes indicada, es entendible que en México se siembren anualmente 5,773 ha de calabazas para producción de fruto maduro, con rendimientos promedio de 16.8 t·ha<sup>-1</sup> (Anónimo, 2011).

Los agricultores tradicionales de calabaza han reconocido y mantenido la diversidad por muchos años, principalmente

## INTRODUCTION

The genus *Cucurbita* ( $2n = 2x = 40$ ) includes five cultivated species: *C. argyrosperma* Huber (cushaw pumpkin), *C. moschata* (winter squash), *C. ficifolia* Bouché (seven year melon), *C. maxima* Duchesne (pumpkin), and *C. pepo* (summer squash) (Balkaya et al., 2010; Cerón et al., 2010; Blanca et al., 2011). Squash production is based on traditional cultivars that have been maintained by farmers for centuries in countries in Asia, Europe, Africa and Latin America (Du et al., 2011). Hence, overall squash production in the world during the year 2009 reached 21 million tons (Nanasato et al., 2011).

Mexico has a great genetic and taxonomic diversity of squashes, especially in terms of fruit shape, size and color, seed number and size, quality, color and thickness of the flesh of the fruit, tolerance to pests and diseases, and earliness in fruit production, among other characteristics (Lira, 1995; Montes et al., 2005; Cerón et al., 2010). Traditional Mexican farmers have maintained their local squash populations by exchanging seeds with farmers in nearby areas.

The genus *Cucurbita* is considered one of the most morphologically variable in the entire plant kingdom. Continuous natural selection has played a very important role in the evolution of the crop even after domestication. Artificial selection has been made with the aim of improving fruit size, color and shape, leaf texture, maturity period, adaptation to poor soil fertility and resistance to pests and diseases (Aruah et al., 2010). Squash collecting has allowed determining the degree of variability within cultivars. This variability has been successfully used in plant breeding programs (Du et al., 2011).

Mexicans use immature squash fruits ('Round Zucchini' and 'Grey Zucchini') and mature fruits (grilled, in soups, sweets and cakes). They also use their flowers, leaves, tendrils and seeds. The latter are used as snacks and are an important source of oil and protein for human and animal consumption, and in the pharmaceutical industry (Lira, 1995; Montes and Eguiarte, 2002; Blanca et al., 2011; Jacobo et al., 2011).

Squashes provide carbohydrates, vitamins (A, B2; a-tocopherol, C and E), amino acids, flavonoids and minerals ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , P), in addition to having a low energy content (17 Kcal per 100 g of flesh). Considering the above information, it is understandable that squash is sown in 5,773 ha<sup>-1</sup> annually in Mexico for mature fruit production, with average yields of 16.8 t·ha<sup>-1</sup> (Anónimo, 2011).

Traditional farmers have recognized and maintained squash diversity for many years, mainly when they continuously grow them by empirically selecting spontaneous segregants, which appear in their local varieties. These farmers, in each crop cycle, select the best fruits to get the seeds that they will

cuando las cultivan de manera continua seleccionando empíricamente segregantes espontáneos, los cuales aparecen en sus variedades locales. Estos agricultores en cada ciclo de cultivo han seleccionado los mejores frutos para obtener las semillas que sembrarán en el siguiente ciclo basados en características de fruto, como son grosor (diámetro), forma, textura externa de fruto, color y sabor de la pulpa, longitud, peso y ancho de frutos y semillas. También seleccionan plantas por hábito de crecimiento, patrones de floración y resistencia a plagas, hongos, virus y malezas (Canul *et al.*, 2005; Ferriol y Picó, 2008).

En calabaza se cree que el mejoramiento vegetal participativo posee algunas ventajas esenciales sobre el mejoramiento convencional, tales como una mejor definición de los criterios de selección que son importantes para una comunidad local, y mejores adaptaciones a condiciones ambientales. La teoría de la selección demuestra que este aprovechamiento es más eficiente que el mejoramiento para amplia adaptación debido a que aprovecha la heredabilidad en sentido amplio dentro de cada condición ambiental específica (Elings *et al.*, 2001; Ceccarelli y Grando, 2007).

En la especie *C. pepo* L. cultivada para fruto maduro se conoce poco acerca de la variación genética de caracteres productivos de planta y son escasos los trabajos para medir la respuesta de las calabazas a la selección participativa para mejoramiento de fruto y rendimiento de semilla. En este sentido, Meneses *et al.*, (2009) estudiaron los cambios en la calidad de fruto maduro de una población sintética de calabaza (*C. pepo* L.) y encontraron que la frecuencia de frutos de alta calidad (color anaranjado intenso de la pulpa y frutos con sabor muy dulce) se incrementó mediante la aplicación de cinco ciclos selección combinada participativa, a la vez que se logró mantener la variación genética de la población original.

El objetivo del presente estudio fue conocer la respuesta a la selección participativa en calabazas para mejoramiento de caracteres de planta, fruto maduro y rendimiento de semilla a través de ciclos de selección participativa *in situ*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se condujeron en el año 2001 en dos sitios, San Martín y San Juan, en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en el Estado de México, con coordenadas geográficas 19° 29' de latitud norte y 98° 53' de longitud oeste, a una altura de 2,240 msnm. Esta región presenta un clima templado, en el cual la temperatura más fría se presenta en el mes de enero (11.8 °C), y la más cálida, en julio (17.9 °C). La precipitación promedio anual es de 636.5 milímetros, con un periodo de lluvias intensas de junio a septiembre (García, 2004).

Se evaluaron dos variedades originales de la Sierra Norte de Puebla con sus correspondientes, tres ciclos de selección participativa *in situ*: Mazapa (ciclos 1 a 3) y La Libertad (ci-

plant in the next cycle based on fruit characteristics such as fruit thickness (diameter), shape and external color, flesh color and taste, and seed and fruit length, weight and width. They also select plants based on growth habit, flowering patterns and resistance to pests, fungi, viruses and weeds (Canul *et al.*, 2005; Ferriol and Picó, 2008).

In squash, participatory plant breeding is believed to have some key advantages over conventional breeding, such as a better definition of the selection criteria that are important to a local community, and better adaptations to environmental conditions. Selection theory shows that this approach is more efficient than breeding for wide adaptation because it takes advantage of the broad-sense heritability within each specific environmental condition (Elings *et al.*, 2001; Ceccarelli and Grando, 2007).

In the species *C. pepo* L. cultivated for mature fruit, little is known about the genetic variation in plant production traits and few studies measure squash response to participatory selection for improved fruit and seed yield. In this regard, Meneses *et al.* (2009) studied the changes in mature fruit quality in a synthetic squash (*C. pepo* L.) population and found that the frequency of high-quality fruits (bright orange flesh and very sweet tasting fruits) was increased by applying five combined participatory selection cycles, while the genetic variation in the original population was maintained.

The aim of this study was to determine the response in squash to participatory selection aimed at improving plant traits, namely mature fruit and seed yield, through *in situ* participatory selection cycles.

## MATERIALS AND METHODS

The experiments were conducted in 2001 at two sites, San Martín and San Juan, within the Experimental Agricultural Field belonging to the Universidad Autónoma Chapingo, in the State of Mexico, with geographic coordinates 19° 29' north latitude and 98° 53' west longitude, at an altitude of 2,240 msnm. This region has a temperate climate, in which the coldest temperature occurs in January (11.8 °C) and the warmest in July (17.9 °C). The average annual rainfall is 636.5 mm, with a period of heavy rains from June to September (García, 2004).

Two native varieties from Sierra Norte de Puebla, with their corresponding three *in situ* participatory selection cycles, were evaluated: Mazapa (cycles 1 to 3) and Libertad (cycles 1 to 3). The experiment evaluating response to selection was established in two locations (San Martín and San Juan), under an experimental randomized block design with four replications. The experimental unit was a 12.96 m<sup>2</sup> plot comprising four furrows 3.6 m long, 0.90 m apart, with clusters of three plants spaced 1.2 meters apart, resulting in 36 plants per experimental unit (27,639 plants·ha<sup>-1</sup>). The plants were fertilized with the formula 120-60-00, applying 80-60-00 at

culos 1 a 3). El experimento de evaluación de la respuesta a la selección se estableció en dos localidades (San Martín y San Juan), bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de una parcela de 12.96 m<sup>2</sup> integrada por cuatro surcos 3.6 m de largo, separados a 0.90 m, con matas de tres plantas separadas a 1.2 metros, para tener 36 plantas por unidad experimental (27,639 plantas-ha<sup>-1</sup>). La fertilización se hizo con la fórmula 120-60-00, aplicando 80-60-00 al momento de la siembra, y el resto de la fertilización nitrogenada durante el crecimiento vegetativo. El control de malezas fue manual.

Un análisis de varianza con y sin los testigos se realizó para cada variedad con sus correspondientes tres ciclos de selección. Se hizo una prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Los análisis estadísticos se realizaron usando el paquete estadístico Statistical Analysis System versión 6.12 (Anónimo, 1996). En ambos casos el modelo estadístico fue

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = valor fenotípico observado del carácter para el i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque

$\mu$  = media general

$\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento (variedad)

$\beta_j$  = efecto del j-ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  = efecto aleatorio del error correspondiente a la observación de la parcela ij

El modelo para analizar los experimentos mediante bloques al azar en promedio de localidades fue

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + \tau_j + L\tau_{ij} + \beta_{(i)k} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = valor fenotípico observado del carácter para el j-ésimo tratamiento del k-ésimo bloque en la i-ésima localidad

$\mu$  = media general

$L_i$  = efecto asociado a la i-ésima

$\tau_j$  = efecto del j-ésimo tratamiento (variedad)

$L\tau_{ij}$  = efecto de la interacción del j-ésimo tratamiento en la i-ésima localidad.

$\beta_{(i)k}$  = efecto del k-ésimo bloque

$\varepsilon_{ijk}$  = efecto aleatorio del error correspondiente a la observación de la parcela jk de la localidad i.

La respuesta a la selección se estimó en cada variedad y sus compuestos de selección mediante regresión lineal simple, donde cada carácter estudiado correspondió a la variable dependiente (Y), y los ciclos de selección fueron los valores de la variable independiente (X), excluyendo al testigo. Debido a que para evaluar los compuestos de selección no se contó con semilla suficiente de las variedades originales

the time of planting and the rest of the nitrogen fertilization during vegetative growth. Weed control was manual.

An analysis of variance with and without controls was performed for each variety with its corresponding three selection cycles. Tukey's range test ( $P \leq 0.05$ ) was carried out. Statistical analyzes were performed using the Statistical Analysis System package, version 6.12 (Anónimo, 1996). In both cases, the statistical model was

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Where:

$Y_{ij}$  = observed phenotypic value of the character for i-th treatment in j-th block

$\mu$  = overall mean

$\tau_i$  = effect of i-th treatment (variety)

$\beta_j$  = effect of j-th block

$\varepsilon_{ij}$  = random effect of the error corresponding to the observation of plot ij

The model to analyze the experiments using randomized blocks, based on the average for the locations, was

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + \tau_j + L\tau_{ij} + \beta_{(i)k} + \varepsilon_{ijk}$$

Where:

$Y_{ijk}$  = observed phenotypic value of the character for j-th treatment in k-th block in i-th location

$\mu$  = overall mean

$L_i$  = effect associated with i-th location

$\tau_j$  = effect of j-th treatment (variety)

$L\tau_{ij}$  = effect of interaction of j-th treatment on i-th location.

$\beta_{(i)k}$  = effect of k-th block in the location i

$\varepsilon_{ijk}$  = random effect of error corresponding to observation of plot jk of location i.

Selection response was estimated in each variety and its selection composites using simple linear regression, where each character studied corresponded to the dependent variable (Y), and the selection cycles were the values of the independent variable (X), excluding the control. Since there was not enough seed of the original Mazapa and Libertad varieties to assess the selection composites, the first selection cycle ( $C_1$ ) was used as such.

Simple linear regression analysis was performed using the following model:

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

Where:

$\hat{Y}_i$  = predicted value of the character of interest (dependent variable)

Mazapa y La Libertad, se usó como tal al primer ciclo de selección ( $C_1$ ).

El análisis de regresión lineal simple se hizo usando 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)

$X_i$  =  $i$ -ésimo ciclo de selección

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

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

El coeficiente de regresión del modelo ( $\hat{\beta}_1$ ) es considerado como el avance genético ( $\Delta_G$ ) promedio por ciclo de selección, y puede expresarse como porcentaje de la variedad original por medio de la siguiente expresión (Villanueva, 1988):

$$\Delta_{G(\%)} = \frac{\hat{\beta}_1}{C_0} \cdot 100$$

Donde:

$\Delta_{G(\%)}$  = avance genético por ciclo de selección

$C_0$  = media del carácter en la variedad original

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

Los caracteres peso promedio de frutos por planta (PF; kg) y peso de semillas por fruto (PSF; g) se registraron en una báscula digital con capacidad para 40 y 10 kg. El grosor de la pulpa del fruto (GP; cm) exceptuando pericarpio, anchura y alto de fruto (AFR y ALF; cm) se midieron con una regla de 30 cm. Ancho y altura de la semilla (ASE and ALS; cm) se midieron de una muestra aleatoria de diez semillas y se obtuvo un promedio individual por semilla. Número de frutos (NF) por planta se obtuvo al momento de la cosecha. Color de pulpa (CP) en todos los frutos de cada ciclo de selección se hizo utilizando la siguiente escala visual: 1 = anaranjado intenso, 2 = anaranjado, 3 = amarillo intenso, 4 = amarillo, 5 = amarillo claro y 6 = blanco (valores pequeños en la escala corresponden a mejores colores de pulpa). Sabor de pulpa (SP), se midió degustando una pequeña porción considerando la siguiente escala: 1 = muy dulce, 2 = dulce, 3 = insípido (valores pequeños en la escala corresponden a mejores sabores de pulpa). Textura exterior de fruto (TEF) se midió con la escala siguiente: 1 = muy costillado, 2 = costillado, 3 = poco costillado, 4 = liso). Color externo de fruto (CEF) se determinó con la escala visual: 1 = verde oscuro, 2 = verde gris, 3 = gris, 4 = amarillo verdoso, 5 = amarillo, 6 = blanco).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Respuesta a la selección

La mayoría de caracteres vegetativos y de rendimiento mos-

$X_i$  =  $i$ -th selection cycle

$\hat{\beta}_0$  = estimator of the intercept

$\hat{\beta}_1$  = estimator of the coefficient of simple linear regression

The estimator of the regression coefficient ( $\hat{\beta}_1$ ) is considered as the average genetic gain ( $\Delta_G$ ) per selection cycle, and can be expressed as a percentage of the original variety by means of the following expression (Villanueva, 1988):

$$\Delta_{G(\%)} = \frac{\hat{\beta}_1}{C_0} \cdot 100$$

Where:

$\Delta_{G(\%)}$  = genetic gain per selection cycle

$C_0$  = mean of the character in the original variety

$\hat{\beta}_1$  = estimator of the coefficient of simple linear regression.

The characters average fruit weight per plant (FWP; kg) and seed weight per fruit (SWF; g) were recorded on a digital scale with capacity for 40 and 10 kg. The thickness of the fruit flesh (FT; cm), excluding the pericarp, and fruit width and height (FW and FH; cm) were measured with a 30-cm ruler. Seed width and height (SW and SH; cm) were measured in a random sample of ten seeds and an individual average per seed was obtained. Number of fruits (NF) per plant was obtained at the time of harvest. Flesh color (FC) in all fruits of each selection cycle was described using the following visual scale: 1 = bright orange, 2 = orange, 3 = bright yellow, 4 = yellow, 5 = light yellow and 6 = white (small values on the scale correspond to better flesh colors). Flesh taste (FTa) was measured by sampling a small portion and then using the following scale: 1 = very sweet, 2 = sweet, 3 = tasteless (small values on the scale correspond to better flesh tastes). External fruit texture (EFT) was measured with the following scale: 1 = very ribbed, 2 = ribbed, 3 = slightly ribbed, 4 = smooth). External fruit color (EFC) was determined using the following visual scale: 1 = dark green, 2 = grayish gray, 3 = gray, 4 = greenish yellow, 5 = yellow, 6 = white).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Selection response

Most vegetative and yield characters showed high variability within each of the two populations studied, which resulted in different responses to selection depending on the variety and character under study.

Based on the average for the two locations, the Libertad variety showed a positive genetic gain per selection cycle for seed weight per fruit of 21 % (12 g) and fruit weight per plant of 6 % (0.1 kg) (Table 1; Figure 1). The Mazapa variety had gains in seed weight per fruit of 4.1 % (3.5 g) and in fruit weight per plant of 1.4 % (0.1 kg) per selection cycle (Figure 2).



traron alta variabilidad dentro de cada una de las dos poblaciones estudiadas, lo que dio como resultado diferentes respuestas a la selección dependiendo de la variedad y el carácter en estudio.

En promedio de localidades, la variedad La Libertad mostró un avance genético positivo por ciclo de selección para peso de semilla por fruto de 21 % (12 g) y peso de frutos por planta de 6.6 % (0.1 kg) (Cuadro 1; Figura 1). La variedad Mazapa presentó ganancias en peso de semilla por fruto de 4.1 % (3.5 g) y en peso de frutos por planta de 1.4 % (0.1 kg) por ciclo de selección (Figura 2).

In number of fruits per plant, the gains per selection cycle were 1 and 31.9 % for the Libertad and Mazapa varieties, respectively (Figure 1). These results are due to the fact that heritability in squash is high for number of fruits per plant ( $h^2 = 66.0\%$ ), fruit weight ( $h^2 = 85.6\%$ ), fruit width ( $h^2 = 64.4\%$ ) and flesh thickness ( $h^2 = 71.2\%$ ), which is why mass selection is considered to be successful in breeding squash (Bezerra *et al.*, 2006).

Meneses *et al.* (2002), in *C. pepo* L. cultivated for mature fruit, found an expected positive response to combined participatory selection of maternal half-siblings for the charac-

**CUADRO 1. Avance genético por ciclo de selección y acumulado para doce caracteres en las variedades de calabaza (*C. pepo* L.) La Libertad y Mazapa de la Sierra Norte de Puebla. Información en promedio de localidades. Chapingo, México, 2001.**

**TABLE 1. Genetic gain per selection cycle and accumulated for twelve characters in the Libertad and Mazapa squash (*C. pepo* L.) varieties from Sierra Norte de Puebla. Information averaged from two locations. Chapingo, Mexico, 2001.**

Variedad / Variety		NF	PF / FWP	PSF / SWF	ALF / FH	ANF / FW	ALS / SH	ANS / SW	TEF / EFT	CEF / EFC	GP / FT	CP / FC	SP / FTa
La Libertad	$\bar{C}_0$	1.42	1.5	57.0	16.6	15.9	1.864	0.835	1.9	2.5	1.9	2.65	2.2
	$\hat{\beta}_1$	0.02	0.1	12.0	0.3	0.2	0.003	-0.002	0.1	-0.2	0.2	0.03	0.1
	$\Delta_{G(\%)}$	1.06	6.6	21.0	1.7	1.1	0.187	-0.299	3.3	-7.1	1.0	0.94	4.2
	$\Delta_{GA(\%)}$	3.17	17.0	63.2	5.1	3.4	0.563	-0.898	9.9	-21.2	28.5	2.83	12.4
	$\Delta_{GAU}$	0.05	0.3	36.0	0.8	0.5	0.010	-0.007	0.2	-0.5	0.6	0.08	0.3
Mazapa	$\bar{C}_0$	0.91	2.9	86.0	16.6	19.0	2.105	0.896	1.9	2.4	2.3	2.65	2.2
	$\hat{\beta}_1$	0.29	0.1	3.5	1.0	0.5	0.034	0.001	0.1	-0.2	0.1	-0.18	-0.1
	$\Delta_{G(\%)}$	31.87	1.4	4.1	6.1	2.4	1.620	0.111	4.6	-6.4	5.8	-6.60	-5.2
	$\Delta_{GA(\%)}$	95.60	4.1	12.2	18.2	7.3	4.850	0.335	13.7	-19.2	17.5	-19.81	-15.7
	$\Delta_{GAU}$	0.87	0.1	10.5	3.1	1.4	0.102	0.003	0.3	-0.5	0.4	-0.53	-0.35

$\bar{C}_0$ : media de la variedad original;  $\hat{\beta}_1$ : coeficiente de regresión lineal;  $\Delta_{G(\%)}$ : avance genético;  $\Delta_{GA(\%)}$ : avance genético acumulado,  $\Delta_{GAU}$ : avance genético acumulado en unidades del carácter correspondiente; NF: número de frutos por planta; PF: peso de frutos por planta (kg); PSF: peso de semilla por fruto (g); ALF: altura de fruto (cm); ANF: anchura de fruto (cm); ALS: alto de semilla (cm); ANS: ancho de semilla (cm); TEF: textura exterior de fruto (1 = muy costillado, 2 = costillado, 3 = poco costillado, 4 = liso); CEF: color exterior de fruto (1 = verde oscuro, 2 = verde gris, 3 = Gris, 4 = amarillo verdoso, 5 = amarillo, 6 = blanco); GP: grosor de pulpa (cm), CP: color de pulpa (1 = anaranjado intenso, 2 = anaranjado, 3 = amarillo intenso, 4 = amarillo, 5 = amarillo claro, 6 = blanco), SP: sabor de pulpa (1 = muy dulce, 2 = dulce, 3 = insípido).

$\bar{C}_0$ : mean of original variety;  $\hat{\beta}_1$ : coefficient of linear regression;  $\Delta_{G(\%)}$ : genetic gain;  $\Delta_{GA(\%)}$ : accumulated genetic gain,  $\Delta_{GAU}$ : accumulated genetic gain in units of the corresponding character; NF: number of fruits per plant; FWP: fruit weight per plant (kg); SWF: seed weight per fruit (g); FH: fruit height (cm); FW: fruit width (cm); SH: seed height (cm); SW: seed width (cm); EFT: external fruit texture (1 = very ribbed, 2 = ribbed, 3 = slightly ribbed, 4 = smooth); EFC: external fruit color (1 = dark green, 2 = grayish green, 3 = gray, 4 = greenish yellow, 5 = yellow, 6 = white); FT: flesh thickness (cm), FC: flesh color (1 = bright orange, 2 = orange, 3 = bright yellow, 4 = yellow, 5 = light yellow, 6 = white), FTa: flesh taste (1 = very sweet, 2 = sweet, 3 = tasteless).

En número de frutos por planta las ganancias por ciclo de selección fueron de 1 y 31.9 % para las variedades La libertad y Mazapa, respectivamente (Figura 1). Estos resultados se explican porque en calabaza la heredabilidad es alta para número de frutos por planta ( $h^2 = 66.0\%$ ), peso de frutos ( $h^2 = 85.6\%$ ), anchura de fruto ( $h^2 = 64.4\%$ ) y grosor de la pulpa ( $h^2 = 71.2\%$ ), por lo que se considera que la selección masal puede ser exitosa en el mejoramiento genético de calabaza (Bezerra *et al.*, 2006).

Meneses *et al.* (2002), en calabaza *C. pepo* L. cultivada para fruto maduro, encontró una respuesta esperada positiva a la selección combinada participativa de medios hermanos

ters fresh seed weight per fruit ( $SWF_{1997} = 158\%$ ;  $SWF_{1998} = 82\%$ ), fruit weight ( $FWP_{1997} = 44.5\%$ ;  $FWP_{1998} = 7.3\%$ ) and flesh thickness ( $FT_{1997} = 24\%$ ;  $FT_{1998} = 35\%$ ). The positive response to participatory selection applied for different characters is indicative of the existence of additive genetic variation in the populations under selection. According to Du *et al.* (2011), squashes have a high genetic diversity that usually manifests itself in different ways such as fruit shape, fruit weight and leaf size, among other characters, which can be exploited through selective breeding methods.

The Mazapa variety showed greater gains per cycle selection than Libertad in the characters fruit height (1.0 cm; 6.1 %)

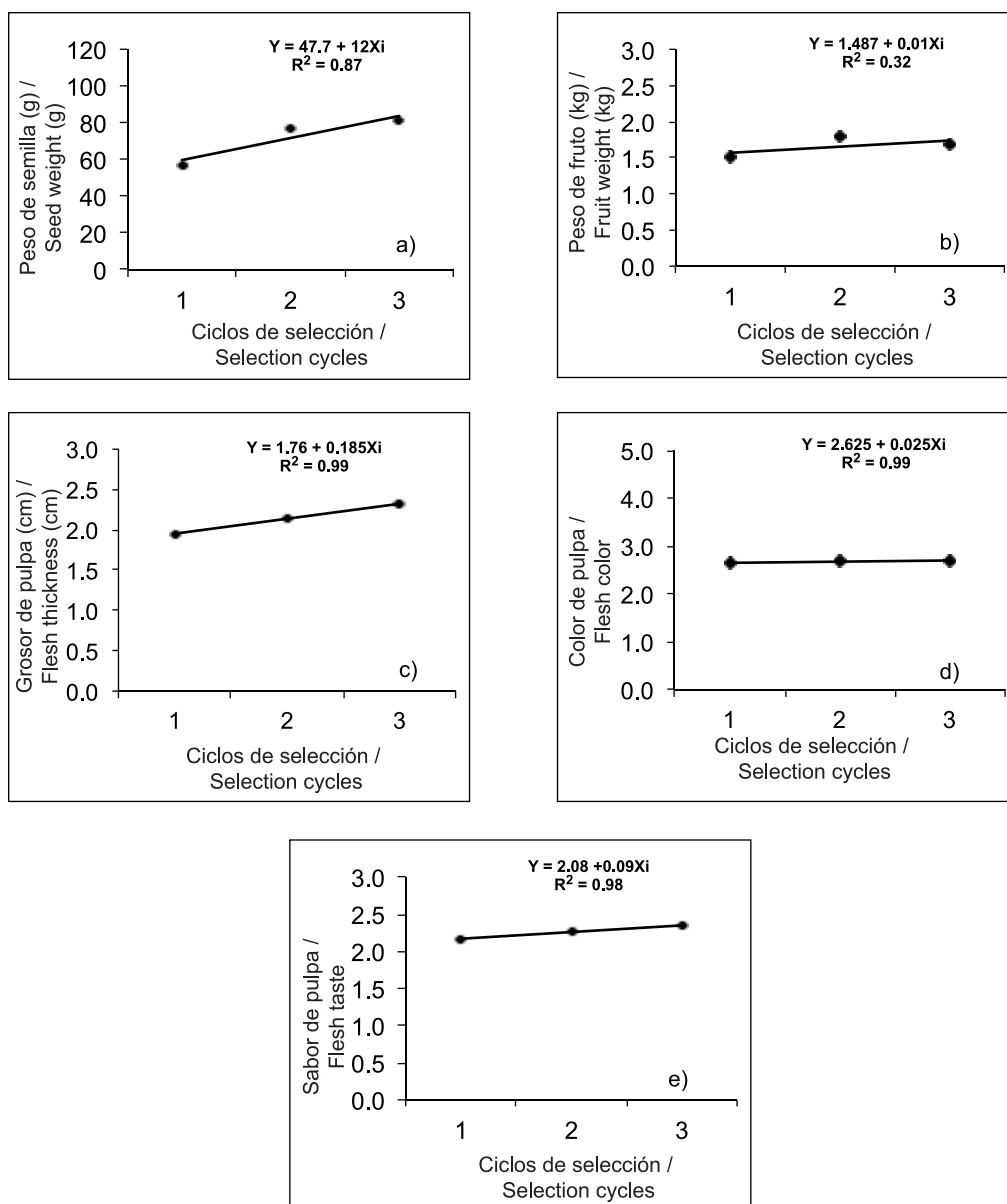


FIGURA 1. Regresión lineal simple sobre ciclos de selección en la variedad de calabaza La Libertad (*C. pepo* L.) para a) peso de semilla por fruto (g), b) peso de fruto (kg), c) grosor de pulpa (cm), d) color de pulpa (1 = anaranjado intenso, 2 = anaranjado, 3 = amarillo intenso, 4 = amarillo, 5 = amarillo claro, 6 = blanco), y e) sabor de pulpa (1 = muy dulce, 2 = dulce, 3 = insípido). Promedio de localidades. Chapingo, México, 2001.

FIGURE 1. Simple linear regression on selection cycles in the Libertad variety of squash (*C. pepo* L.) for a) seed weight per fruit (g), b) fruit weight (kg), c) flesh thickness (cm), d) flesh color (1 = bright orange, 2 = orange, 3 = bright yellow, 4 = yellow, 5 = light yellow, 6 = white), and e) flesh taste (1 = very sweet, 2 = sweet, 3 = tasteless). Average of locations. Chapingo, Mexico, 2001.

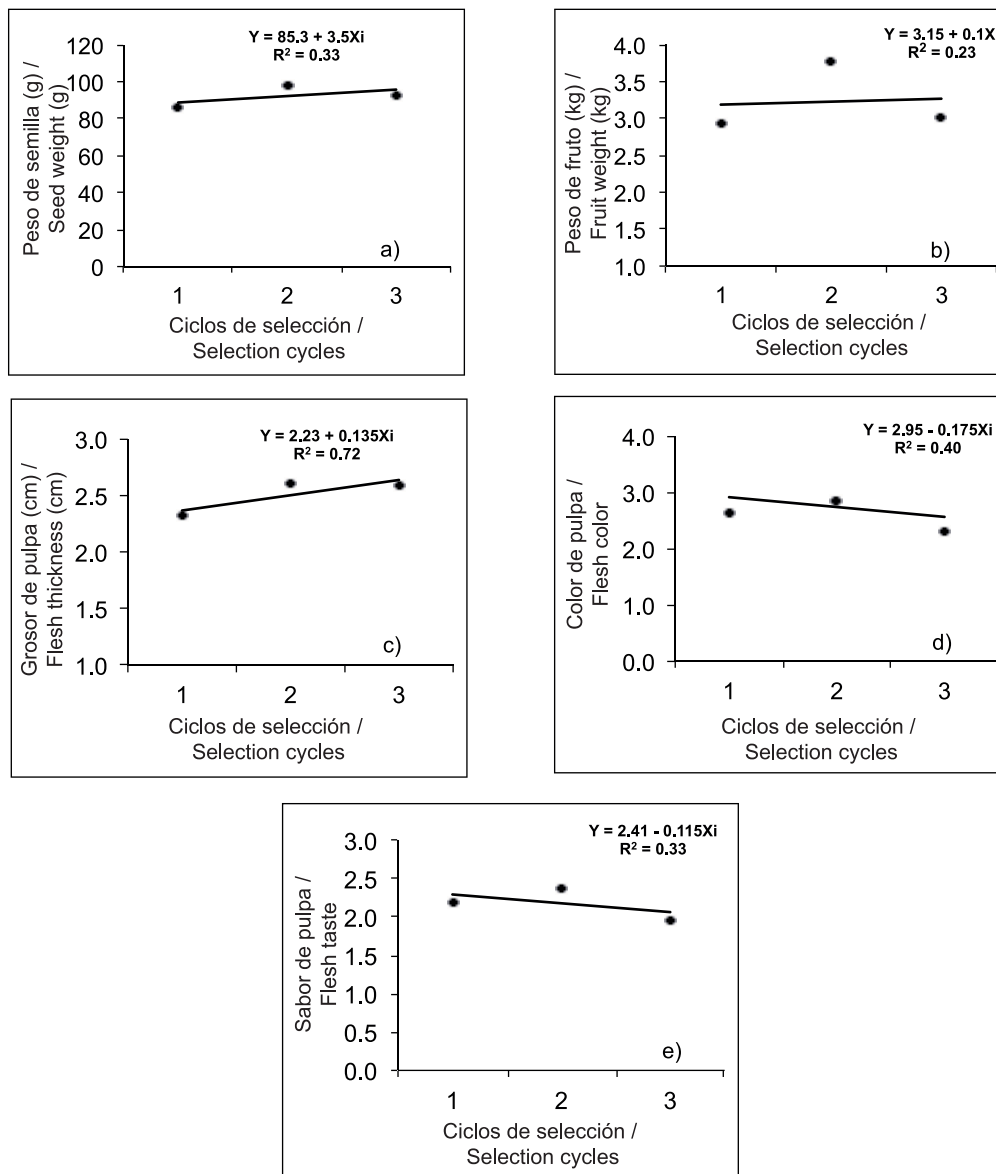


FIGURA 2. Regresión lineal simple sobre ciclos de selección en la variedad Mazapa de calabaza (*C. pepo* L.) para a) peso de semilla por fruto (g), b) peso de fruto (kg), c) grosor de pulpa (cm), d) color de pulpa (1 = anaranjado intenso, 2 = anaranjado, 3 = amarillo intenso, 4 = amarillo, 5 = amarillo claro, 6 = blanco), y e) sabor de pulpa (1 = muy dulce, 2 = dulce, 3 = insípido). Promedio de localidades. Chapingo, México, 2001.

FIGURE 2. Simple linear regression on selection cycles in the Mazapa variety of squash (*C. pepo* L.) for a) seed weight per fruit (g), b) fruit weight (kg), c) flesh thickness (cm), d) flesh color (1 = bright orange, 2 = orange, 3 = bright yellow, 4 = yellow, 5 = light yellow, 6 = white), and e) flesh taste (1 = very sweet, 2 = sweet, 3 = tasteless). Average of locations. Chapingo, Mexico, 2001.



maternos para los caracteres peso fresco de semilla por fruto ( $PSF_{1997} = 158 \%$ ;  $PSF_{1998} = 82 \%$ ), peso de fruto ( $PF_{1997} = 44.5 \%$ ;  $PF_{1998} = 7.3 \%$ ) y grosor de la pulpa ( $GP_{1997} = 24 \%$ ;  $GP_{1998} = 35 \%$ ). La respuesta positiva a la selección participativa aplicada para diferentes caracteres es indicativa de la existencia de variación genética aditiva en las poblaciones bajo selección. De acuerdo con Du *et al.* (2011), las calabazas presentan una alta diversidad genética que usualmente se manifiesta en diferentes formas, tales como forma del fruto, peso de fruto y tamaño de hoja, entre otros caracteres, la cual puede ser aprovechada mediante métodos de mejoramiento por selección.

La variedad Mazapa presentó mayores ganancias por ciclo de selección que La Libertad en los caracteres altura de fruto (1.0 cm; 6.1 %) y ancho de fruto (0.5 cm; 2.4 %) (Cuadro 1). Nerson y Paris (2001) indican que *C. pepo* es una especie muy diversa para los caracteres forma y tamaño de fruto. La domesticación de esta especie comenzó hace miles de años en Norteamérica a partir de frutos nativos, pequeños redondos y usualmente con sabores de pulpa amargos. El uso que en un inicio las poblaciones humanas le dieron a estos frutos parece haber sido el consumo de sus semillas. Entonces, los primeros intentos para hacer selección se enfocaron directamente hacia el incremento de los frutos y a obtener un mayor tamaño de las semillas.

El grosor de la pulpa en la variedad Mazapa mostró una respuesta a la selección acumulada aceptable (0.135 cm; 5.8 %) con relación a la obtenida por Estrada *et al.* (2010), quienes en tres ciclos de selección fenotípica recurrente en calabaza de dulce (*C. moschata* Duch.) reportaron un avance genético de 6.6 % por ciclo de selección, con una ganancia acumulada de 20 %.

Altura de la semilla (0.034 cm; 1.62 %) y ancho de la semilla (0.001 cm; 0.11 %) tuvieron mejor respuesta a la selección en la variedad Mazapa que en La Libertad, cuyas respectivas respuestas fueron de 0.18 y -0.29 %, para los caracteres altura y ancho de la semilla. Tales resultados son cercanos a los reportados por Sánchez *et al.* (2000), quienes en calabaza pipiana (*C. argyrosperma* Huber) estimaron mediante regresión lineal simple ganancias genéticas para ancho de semilla de 2.5 % por ciclo de selección, mientras que la longitud de la semilla se mantuvo sin cambios. Abdullah *et al.* (2003) indican que en calabaza el peso de semilla por fruto (16.35 g; coeficiente de variación,  $CV = 49.5 \%$ ), peso de 100 semillas (7.04 g;  $CV = 27.8 \%$ ) y número de semillas por fruto (144.8 semillas;  $CV = 35.3 \%$ ) mostraron variabilidad moderada.

Márquez (1988) menciona que la respuesta esperada a la selección está en concordancia con la varianza genética aditiva, si las condiciones ambientales no cambian. Son de esperarse grandes respuestas a la selección en caracteres de alta varianza genética aditiva. En *C. pepo* el tamaño y forma del fruto influyen sobre el tamaño y forma de los lóculos, mismos que pueden generar limitaciones al tamaño y forma

and fruit width (0.5 cm; 2.4 %) (Table 1). Nerson and Paris (2001) indicate that *C. pepo* is a very diverse species in terms of the characters fruit shape and size. Domestication of this species began thousands of years ago in North America from small, round, native fruits, which usually had bitter-tasting flesh. The first use to which humans gave these fruits seems to have been the consumption of their seeds. Thus, the first attempts at selection were directed toward increasing fruit and seed size.

Flesh thickness in the Mazapa variety showed an acceptable response to cumulative selection (0.135 cm; 5.8 %) compared to that obtained by Estrada *et al.* (2010), who in three recurrent phenotypic selection cycles in winter squash (*C. moschata* Duch.) reported a genetic gain of 6.6 % per selection cycle, with a cumulative gain of 20 %.

Seed height (0.034 cm; 1.62 %) and seed width (0.001 cm; 0.11 %) had a better response to selection in the Mazapa than the Libertad variety, whose respective responses were 0.18 and -0.29 % for the characters seed height and width. These results are close to those reported by Sánchez *et al.* (2000), who in cushaw pumpkinn (*C. argyrosperma* Huber) estimated, by simple linear regression, genetic gains for seed width of 2.5 % per selection cycle, while seed length remained unchanged. Abdullah *et al.* (2003) indicate that in pumpkin, seed weight per fruit (16.35 g; coefficient of variation,  $CV = 49.5 \%$ ), weight of 100 seeds (7.04 g;  $CV = 27.8 \%$ ) and number of seeds per fruit (144.8 seeds;  $CV = 35.3 \%$ ) showed moderate variability.

Márquez (1988) mentions that the expected response to selection is consistent with the additive genetic variance, if environmental conditions remain unchanged. It is normal to expect great responses to selection in characters of high additive genetic variance. In *C. pepo*, fruit size and shape have an influence on the size and shape of the loculi, which themselves can place limits on seed size and shape. Thus, in *C. pepo* L., fruit shape not only affects the culinary uses given to these fruits, but also seed shape. In round fruits there is less restriction for large seeds and more restriction for wide seeds (Paris and Nerson, 2003).

Flesh color (-6.6 %) and taste (-5.2 %) were better in the Mazapa variety. Note that in this study the negative values of  $\beta_1$  for flesh color and taste should be interpreted as desirable because in the measurement scale used the small color values correspond to better flesh colors (between bright orange and orange), and in regard to taste the lowest values represent very sweet and sweet tastes.

On the other hand, the Libertad variety had a negative response (favorable) in flesh taste (-4.2 %) and external fruit color (-7.1 %), but positive (unfavorable) for flesh color (0.94 %) (Table 1 and Figure 1)..

Losses in flesh color and taste in the Libertad variety in relation to the first selection cycle can be explained by the fact

de la semilla. De esta manera, en *C. pepo* L. la forma de los frutos no solo incide en los usos culinarios que se le da a dichos frutos, sino también en la forma de la semilla. En frutos redondos hay menos restricción para semillas largas y más restricción para semillas anchas (Paris y Nerson, 2003).

Color (-6.6 %) y sabor de la pulpa (-5.2 %) fueron mejores en la variedad Mazapa. Nótese que en este estudio los valores negativos de  $\beta_1$  para color y sabor de pulpa deben ser interpretados como deseables debido a que en la escala de medición utilizada los valores pequeños de color corresponden a mejores colores de pulpa (entre anaranjado intenso y anaranjado), y en cuanto a sabor los valores menores representan sabores de pulpa dulces y muy dulces.

Por otra parte, la variedad La Libertad tuvo respuesta negativa (favorable) en sabor de pulpa (-4.2 %) y color exterior de cáscara (-7.1 %), pero positiva (desfavorable) para color de pulpa (0.94 %) (Cuadro 1 y Figura 1).

Las pérdidas en color y sabor de pulpa en la variedad la Libertad con respecto al primer ciclo de selección pueden explicarse porque en el primer ciclo se aplicó una alta presión de selección con el objetivo de mejorar sólo color y sabor de la pulpa y peso de semillas por fruto. En los subsiguientes ciclos, la selección se enfocó mayormente a incrementar el rendimiento de semillas y de frutos. Sánchez et al. (2000) obtuvieron en calabaza pipiana (*C. argyrosperma* Huber) una respuesta positiva a la selección empírica para color de pulpa (años 1997 y 1998). No obstante, el sabor de pulpa en 1997 presentó una baja expresión, atribuida a que la calabaza pipiana fue domesticada y se utiliza por los agricultores principalmente para producción de semilla, por lo que el color y sabor de la pulpa no son criterios de selección importantes. No es así en *C. pepo*, cuyo aprovechamiento tradicional también incluye el fruto maduro. Detalles de la respuesta a la selección para rendimiento de semillas por planta, peso de fruto por planta, grosor, color y sabor de la pulpa en las variedades La Libertad y Mazapa se presentan en las Figuras 1 y 2.

Después de tres ciclos de selección masal participativa *in situ*, las variedades Mazapa y La Libertad produjeron un promedio de 75 % de frutos con colores de pulpa entre anaranjado intenso y amarillo intenso, y más de 60 % de frutos con sabores muy dulces y dulces (Cuadro 2). Tales resultados justifican por sí mismos la selección masal participativa aplicada en dichas variedades de calabaza para producir fruto maduro, porque tanto color como sabor de pulpa se incrementaron a través de ciclos de selección. En concordancia con esta información, Meneses et al. (2009), en una población sintética de calabaza (*C. pepo* L.), encontraron que el mejoramiento genético por selección combinada de familias de medios hermanos maternos permitió incrementar la frecuencia de frutos con alta calidad (73 %) en cinco ciclos de selección, con ganancias en color de pulpa hacia anaranjado intenso, mientras que el color de pulpa blanco registró pérdidas de 21.5 %.

that in the first cycle a high selection pressure was applied to improve only flesh color, flesh taste and seed weight per fruit. In subsequent cycles, selection was mostly focused on increasing seed and fruit yield. Sánchez et al. (2000) obtained in cushaw pumpkin (*C. argyrosperma* Huber) a positive response to empirical selection for flesh color (years 1997 and 1998). However, flesh taste in 1997 had a low expression, attributable to the fact that the cushaw pumpkin was domesticated and is used by farmers mainly for seed production, so flesh color and taste are not important selection criteria. This is not the case in *C. pepo*, whose traditional use also includes the mature fruit. Details of the selection response for seed yield per plant, fruit weight per plant, and flesh thickness, color and taste in the Mazapa and Libertad varieties are presented in Figures 1 and 2.

After three *in situ* participatory mass selection cycles, the Mazapa and Libertad varieties produced an average of 75 % fruits with flesh colors between bright orange and bright yellow, and more than 60 % fruits with very sweet and sweet tastes (Table 2). These results themselves justify the participatory mass selection applied in these squash varieties to produce mature fruit, because both flesh color and taste improved through selection cycles. Consistent with this information, Meneses et al. (2009), in a synthetic population of squash (*C. pepo* L.), found that breeding by combined selection of maternal half-sibling families increased the frequency of high-quality fruit (73 %) in five selection cycles, with gains in flesh color to bright orange, while the white flesh color recorded losses of 21.5 %.

Abdullah et al. (2003) indicated that fruit quality is an important criterion in pumpkin production, so maintaining fruit quality while increasing yield is one of the primary goals of breeders. Singh et al. (1997) reported that improving a population by selection could improve its characteristics to varying degrees, depending on the amount of genetic variation in each population, selection intensity and the heritability of these characters. The results for the characters studied, such as seed yield and fruit production, indicate that these characters may be improved through selection.

Both the Libertad and Mazapa varieties had a tendency to increase fruit weight and seed weight per fruit, thus having an acceptable response to selection. Figures 1 and 2 show the simple linear regression for the different characters under study, in which the genetic gain was calculated. Furthermore, the selection process was effective for improving the number of fruits per plant, fruit weight, seed weight per fruit and flesh thickness with values of 16.5, 4.0, 12.5 and 3.4 % per selection cycle, averaging the two varieties, respectively. Flesh color and taste showed a small increase, though it should be remembered that in this study the negative values are the most desirable (Table 3).

CUADRO 2. Frecuencia de frutos por color y sabor de pulpa en las variedades de calabaza (*C. pepo* L.) La Libertad y Mazapa por localidad y en promedio de localidades. Chapingo, México, 2001.

TABLE 2. Fruit frequency by flesh color and taste in the squash (*C. pepo* L.) varieties Libertad and Mazapa by location and the average for the two locations. Chapingo, Mexico, 2001.

Variedad / Variety	Localidad / Location	Ciclo / Cycle	Anaranjado intenso / Bright orange	Anaranjado / Orange	Color Pulpa (%) / Flesh color (%)				Sabor de pulpa (%) / Flesh taste (%)			
					Amarillo intenso / Bright yellow	Amarillo / Yellow	Amarillo claro / Light yellow	Blanco / White	Muy dulce / Very sweet	Dulce / Sweet	Insipido / Tasteless	
La Libertad	San Juan	1	15.0	55.0	15.0	10.0	5.0	0.0	20.0	55.0	25.0	
		2	10.0	70.0	15.0	5.0	0.0		0.0	15.0	60.0	25.0
		3	10.0	70.0	5.0	5.0	10.0	0.0	20.0	40.0	40.0	
	San Martin	1	30.0	20.0	10.0	10.0	25.0	5.0	5.0	60.0	35.0	
		2	5.0	25.0	25.0	15.0	25.0	5.0	20.0	30.0	50.0	
		3	5.0	45.0	15.0	10.0	25.0	0.0	5.0	50.0	45.0	
	Promedio / Average	1	22.5	37.5	12.5	10.0	15.0	2.5	12.5	57.5	30.0	
		2	7.5	47.5	20.0	10.0	12.5	2.5	17.5	45.0	37.5	
		3	7.5	57.5	10.0	7.5	17.5	0.0	12.5	45.0	42.5	
Mazapa	San Juan	1	20.0	50.0	5.0	10.0	5.0	10.0	30.0	40.0	30.0	
		2	25.0	20.0	30.0	5.0	15.0	5.0	10.0	60.0	30.0	
		3	25.0	45.0	5.0	20.0	5.0	0.0	35.0	50.0	15.0	
	San Martin	1	15.0	40.0	15.0	5.0	15.0	10.0	15.0	30.0	55.0	
		2	20.0	30.0	20.0	10.0	10.0	10.0	5.0	35.0	60.0	
		3	30.0	45.0	5.0	10.0	10.0	0.0	30.0	25.0	45.0	
	Promedio / Average	1	17.5	45.0	10.0	7.5	10.0	10.0	22.5	35.0	42.5	
		2	22.5	25.0	25.0	7.5	12.5	7.5	7.5	47.5	45.0	
		3	27.5	45.0	5.0	15.0	7.5	0.0	32.5	37.5	30.0	

Abdullah *et al.* (2003) indicaron que la calidad del fruto es un criterio importante en la producción de calabazas, por lo que mantener la calidad del fruto y al mismo tiempo incrementar el rendimiento es una de las metas primarias de los mejoradores. Singh *et al.* (1997) reportaron que el mejoramiento de una población por selección podría mejorar sus características en diferente grado, de acuerdo con la cantidad de variación genética existente en cada población, intensidad de selección y la heredabilidad de dichos caracteres. Los resultados obtenidos para los caracteres estudiados como son rendimiento de semilla y producción de fruto indican que estos caracteres podrían ser mejorados a través de selección.

Tanto la variedad La Libertad como Mazapa tuvieron una tendencia a incrementar el peso de fruto y el peso de semillas por fruto, teniendo una respuesta a la selección aceptable. Las Figuras 1 y 2 muestran la regresión lineal simple para los diferentes caracteres en estudio en los cuales se calculó el avance genético. Por otro lado, el proceso de selección fue efectivo para mejorar el número de frutos por planta, peso de fruto, peso de semilla por fruto y grosor de la pulpa con valores de 16.5, 4.0, 12.5 y 3.4 % por ciclo de selección en promedio de las dos variedades, respectivamente. El color y sabor de la pulpa presentaron un incremento pequeño, considerando que en este estudio los valores negativos son los más deseables (Cuadro 3).

### Comparación múltiple de medias

En promedio de localidades el carácter peso de semillas por fruto presentó el mayor rendimiento en el segundo (98 g de semilla por fruto) y tercer ciclo de selección (93 g) en la variedad Mazapa y el testigo (95 g). Estos resultados fueron significativamente diferentes, respecto de la variedad la Libertad que tuvo menores rendimientos de semilla por fruto (Cuadro 4). El rendimiento de semilla fue de 3.83 t·ha<sup>-1</sup> para el tercer compuesto de selección en la variedad Mazapa y de 3.03 t·ha<sup>-1</sup> para el segundo compuesto de selección en la misma variedad. Esto está en concordancia con su mayor rendimiento en peso de frutos por hectárea en dichos com-

### Multiple comparison of means

Averaging the two locations, the character seed weight per fruit had the highest yield in the second (98 g of seed per fruit) and third selection cycle (93 g) in the Mazapa variety and the control (95 g). These results were significantly different for the Libertad variety, which had lower seed yields per fruit (Table 4). Seed yield was 3.83 t·ha<sup>-1</sup> for the third selection composite in the Mazapa variety and 3.03 t·ha<sup>-1</sup> for the second selection composite in the same variety. This is consistent with its greater yield in fruit weight per hectare in these composites. Thus, fruit weight was 3.77 kg greater in the second composite of the Mazapa variety with 116.7 t·ha<sup>-1</sup> in fruit yield, similar in seed yield per hectare to the third selection composite (123.5 t·ha<sup>-1</sup>; Table 4). Meneses *et al.* (2002), in squash (*C. pepo* L.) grown in the milpa system, estimated seed weight per fruit of 97.4 g (year 1997) and 73.9 g (1998). For fruit weight, these authors estimated 2.92 kg (1997) and 2.16 kg per fruit (1998), results in line with those obtained in this study. Aliu *et al.* (2011), in twelve populations of *C. pepo* L., reported an average value for fruit weight of 1,733.4 g. The fruit weight among populations ranged from 1,055.4 to 3,910.3 g. These results reveal the genetic variability of the squash crop.

The number of fruits per plant varied among selection composites, from 0.91 to 1.49 fruits per plant. The 1.49 value occurred in the third selection cycle for the Mazapa variety (Table 4). Sánchez *et al.* (2006), in cushaw pumpkin (*C. argyrosperma* Huber), reported 1.3 to 1.4 fruits per plant, information very close to that obtained in the present study. Olinik *et al.* (2011) indicate that productivity is a direct function of the number of fruits per plant, so varieties that present a greater number of fruits per plant tend to be the most productive.

Significant differences were found between varieties for the character flesh thickness, with values from 1.95 cm (Libertad variety, cycle one) to 2.60 cm (Mazapa variety, cycle two). These results agree with those reported by Meneses

CUADRO 3. Respuesta a la selección masal por ciclo (%) para seis caracteres en dos variedades de calabaza (*C. pepo* L.) de la Sierra Norte de Puebla. Chapingo, México, 2001.

TABLE 3. Response to mass selection per cycle (%) for six characters in two varieties of squash (*C. pepo* L.) from Sierra Norte de Puebla. Chapingo, Mexico, 2001.

Variedad / Variety	NF	PF / FWP	PSF / SWF	GP / FT	CP / FC	SP / FTa
Mazapa	31.87	1.40	4.10	5.80	-6.60	-5.20
Libertad	1.06	6.60	21.00	1.00	0.94	4.20
Promedio / Average	16.46	4.00	12.55	3.40	-2.83	-0.50

NF: número de frutos por planta, PF: peso de frutos por planta (kg); PSF: peso de semillas por fruto (g), GP: grosor de pulpa (cm), CP: color de pulpa (1 = anaranjado intenso, 2 = anaranjado, 3 = amarillo intenso, 4 = amarillo, 5 = amarillo claro, 6 = blanco), SP: sabor de pulpa (1 = muy dulce, 2 = dulce, 3 = insípido).

NF: number of fruits per plant, FWP: fruit weight per plant (kg); SWF: seed weight per fruit (g), FT: flesh thickness (cm), FC: flesh color (1 = bright orange, 2 = orange, 3 = bright yellow, 4 = yellow, 5 = light yellow, 6 = white), FTa: flesh taste (1 = very sweet, 2 = sweet, 3 = tasteless).

CUADRO 4. Comparación de medias para siete compuestos de selección masal participativa en las variedades de calabaza (*C. pepo* L.) La Libertad y Mazapa de la Sierra Norte de Puebla, en promedio de localidades. Chapingo, México, 2001.

TABLE 4. Comparison of means for seven composites of participatory mass selection in the squash (*C. pepo* L.) varieties Libertad and Mazapa from Sierra Norte de Puebla, based on the average for the two locations. Chapingo, Mexico, 2001.

Variedad / Variety	NF	PF /FWP	PFha / FWha	PSF /SWF	RSha /SYha	ALF /FH	ANF /FW	ALS /SH	ANS /SW	TEF /EFT	CEF /EFC	GP /FT	CP /FC	SP /FTa
Libertad C <sub>1</sub>	1.42 a <sup>z</sup>	1.50 ef	58.9 bc	57 cdef	2.24 c	16.6 c	15.9 bcd	1.864 bcd	0.835 bc	1.97 ab	2.47 a	1.95 b	2.65 ab	2.17 ab
Libertad C <sub>2</sub>	1.01 bc	1.80 e	50.3 c	77 cde	2.15 cd	15.8 c	16.3 bc	1.890 bc	0.832 bc	2.20 a	1.97 bcd	2.12 ab	2.80 ab	2.20 ab
Libertad C <sub>3</sub>	1.45 a	1.67 ef	66.9 bc	81 bcd	3.25 ab	17.2 c	16.3 bc	1.871 bcd	0.830 c	2.10 ab	2.12 bc	2.32 ab	2.70 ab	2.35 a
Mazapa C <sub>1</sub>	0.91 bcd	2.92 bc	73.4 bc	86 abc	2.16 cd	16.6 c	19.0 ab	2.105 ab	0.896 a	1.97 ab	2.35 ab	2.32 ab	2.65 ab	2.20 ab
Mazapa C <sub>2</sub>	1.12 bc	3.77 a	116.7 a	98 a	3.03 ab	23.6 b	20.3 a	2.217 a	0.934 a	1.72 b	2.07 bc	2.60 a	2.85 ab	2.37 a
Mazapa C <sub>3</sub>	1.49 a	3.00 b	123.5 a	93 ab	3.83 a	18.7 c	19.9 a	2.173 a	0.898 a	2.15 a	2.05 bc	2.59 a	2.30 b	1.97 b
Testigo / Control	1.09 bc	2.66 cd	80.1 b	95 a	2.86 b	29.0 a	14.9 bcd	1.997 bc	0.845 bc	2.00 ab	2.67 a	2.41 ab	3.10 a	2.37 a
DMSH / HSD	0.13	0.24	18.00	14.00	0.57	3.45	2.77	0.195	0.078	0.35	0.45	0.59	0.73	0.42

<sup>a</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ); NF: número de frutos por planta; PF: peso de fruto por planta (kg); PFha: peso de frutos por hectárea ( $\text{t ha}^{-1}$ ); PSF: peso de semillas por fruto (g); RSha: rendimiento de semilla por hectárea ( $\text{t ha}^{-1}$ ); ALF: altura de fruto (cm); ANF: anchura de fruto (cm); ALS: alto de semilla (cm); ANS: ancho de semilla (cm); TEF: textura externa de fruto (1 = Muy costillado, 2 = Costillado, 3 = Poco costillado, 4 = Liso); CEF: color exterior de fruto (1 = verde oscuro, 2 = verde gris, 3 = gris, 4 = amarillo verdoso, 5 = amarillo, 6 = blanco); GP: grosor de pulpa (cm); CP: color de pulpa (1 = anaranjado intenso, 2 = anaranjado, 3 = amarillo intenso, 4 = amarillo claro, 5 = amarillo, 6 = blanco); SP: sabor de pulpa (1 = muy dulce, 2 = dulce, 3 = insípido), DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

<sup>a</sup>Means with the same letter within columns are not different (Tukey,  $P \leq 0.05$ ); NF: number of fruits per plant; PF: fruit weight per plant (kg); FW: fruit weight per hectare ( $\text{t ha}^{-1}$ ); SWF: seed weight per fruit (g); SYha: seed yield per hectare ( $\text{t ha}^{-1}$ ); FH: fruit height (cm); FW: fruit width (cm); SH: seed height (cm); SW: seed width (cm); SF: external fruit texture (1 = very ribbed, 2 = ribbed, 3 = slightly ribbed, 4 = smooth); EFC: external fruit color (1 = dark green, 2 = grayish green, 3 = yellow, 4 = greenish yellow, 5 = yellow, 6 = white); FT: flesh thickness (cm); FC: flesh color (1 = bright orange, 2 = orange, 3 = bright yellow, 4 = yellow, 5 = light yellow, 6 = white); F/a: flesh taste (1 = very sweet, 2 = sweet, 3 = tasteless), HSD: honestly significant difference.



puestos. De esta manera, el peso de fruto fue mayor (3.77) kg en el compuesto dos de la variedad Mazapa con (116.7 t·ha<sup>-1</sup> en rendimiento de fruto), similar en rendimiento de semilla por hectárea al tercer compuesto de selección (123.5 t·ha<sup>-1</sup>; Cuadro 4). Meneses *et al.* (2002), en calabaza (*C. pepo* L.) cultivada en el sistema milpa, estimaron un peso de semilla por fruto de 97.4 g (año 1997) y 73.9 g (año 1998). Para peso de fruto estos autores estimaron 2.92 kg por fruto (año 1997) y 2.16 kg (año 1998), resultados acordes con lo obtenido en este estudio. Aliu *et al.* (2011), en doce poblaciones de calabaza *C. pepo* L., reportaron un valor promedio para peso de fruto de 1,733.4 g. El peso de fruto entre poblaciones varió de 1,055.4 a 3,910.3 g. Estos resultados revelan la variabilidad genética del cultivo de calabaza.

El número de frutos por planta varió entre compuestos de selección de 0.91 a 1.49 frutos por planta. El valor de 1.49 presentado ocurrió en el tercer ciclo de selección para la variedad Mazapa (Cuadro 4). Sánchez *et al.* (2006), en calabaza pipiana (*C. argyrosperma* Huber), reportaron de 1.3 a 1.4 frutos por planta, información muy cercana a la obtenida en el presente estudio. Olinik *et al.* (2011) indican que la productividad es una función directa del número de frutos por planta, por lo que las variedades que presenten un mayor número de frutos por planta suelen ser las más productivas.

Se encontraron diferencias significativas entre variedades para el carácter grosor de pulpa, con valores de 1.95 cm (variedad La Libertad, ciclo uno) a 2.60 cm, (variedad Mazapa, ciclo dos). Estos resultados concuerdan con los reportados por Meneses *et al.* (2002), quienes en *C. pepo* L. estimaron un grosor de pulpa promedio de 1.89 cm (año 1997) y 2.33 cm (año 1988). Jacobo *et al.* (2011), en calabaza *C. moschata* Duch, obtuvieron un promedio en grosor de pulpa de 2.06 cm. Du *et al.* (2011) contabilizaron para *C. moschata* un promedio en grosor de pulpa de 2.53 cm.

Uno de los objetivos principales para mejorar las variedades de calabaza en estudio, de acuerdo con los agricultores de la Sierra Norte de Puebla, es el uso de los frutos maduros para elaborar los dulces típicos mexicanos cristalizados a partir de la pulpa del fruto, debido a que los agricultores siempre han mejorado la producción de fruto como hortaliza, y mediante selección participativa la variedad produjo baja calidad de frutos maduros, con colores blancos, sabores insípidos y frutos con poco grosor de pulpa y pocas semillas por fruto.

De lo anterior se desprende que la selección participativa aplicada en calabaza otorgó avances satisfactorios, ya que los caracteres de calidad para fruto maduro como color anaranjado intenso y sabores de pulpa muy dulces se vieron favorecidos, y de manera general, los caracteres color y sabor de pulpa (Cuadro 2; Figuras 1 y 2). Adicionalmente se trabajó el incremento en grosor de pulpa, tamaño de semilla y la producción de más semillas por fruto. Estos resultados demuestran indirectamente que la selección participativa *in situ* practicada en calabazas de la Sierra Norte de Puebla in-

*et al.* (2002), who in *C. pepo* L. estimated average flesh thickness of 1.89 cm (1997) and 2.33 cm (1988). Jacobo *et al.* (2011), in *C. moschata* Duch, obtained an average flesh thickness of 2.06 cm. Du *et al.* (2011) found in *C. moschata* an average flesh thickness of 2.53 cm.

One of the main objectives in improving the squash varieties under study, according to the farmers in Sierra Norte de Puebla, is to have better mature fruits to make the typical Mexican candy crystallized from the flesh of the fruit, because farmers have always improved fruit and vegetable production, and through participatory selection the variety produced low-quality fruits, with white colors, bland tastes, little flesh thickness and few seeds per fruit.

It is clear from the foregoing that the participatory selection applied in squash gave satisfactory gains, because the quality characters for mature fruit, such as a bright orange color and a very sweet flesh taste, were favored, as were, in general, the characters pulp color and taste (Table 2; Figures 1 and 2). Also, it increased pulp thickness, seed size, and number of more seeds per fruit. These results indirectly demonstrate that *in situ* participatory selection practiced in squashes from Sierra Norte de Puebla increases the frequency of genes with desirable additive effects for mature fruit quality.

There were statistically significant differences in flesh color and taste. The Mazapa variety had the best values (Table 4), since the lowest values are desirable according to the scale used. Flesh color went from white and light yellow to bright orange, orange and bright yellow. Flesh taste went from tasteless to sweet and very sweet (Table 2). Exterior fruit color was mostly greyish green and gray. External fruit texture showed significant differences, with ribbed fruits. In this regard, Meneses *et al.* (2002) argued that mass selection in *C. pepo* L. improved flesh color, going from yellow to bright yellow and orange, flesh taste, which went from medium sweet to sweet, external fruit color, which was greyish green and gray, and external fruit texture, which was ribbed.

Overall, the best results in this experiment occurred in the Mazapa variety, in its second and third selection cycle composites; therefore, *in situ* participatory mass selection was effective for obtaining important genetic gains per selection cycle for most of the characters under study (Table 4).

## CONCLUSIONS

Participatory selection practiced *in situ* in two local varieties of squash (*Cucurbita pepo* L.) from Sierra Norte de Puebla, Mexico, was efficient in varying degrees for simultaneously improving fruit and seed yield and the flesh quality of the fruit.

The best response per selection cycle, based on averaging the two locations, was observed in the Mazapa variety for

crementó la frecuencia de genes con efectos aditivos deseables para calidad de fruto maduro.

Existieron diferencias estadísticas significativas en color y sabor de pulpa. La variedad Mazapa tuvo los mejores valores (Cuadro 4), dado que los valores más bajos son deseables de acuerdo con la escala utilizada. El color de la pulpa pasó de blanco y amarillo claro a anaranjado intenso, anaranjado y amarillo intenso. El sabor de la pulpa pasó de insípido a sabores dulce y muy dulce (Cuadro 2). El color exterior del fruto en su mayoría fue verde gris y gris. La textura externa del fruto presentó diferencias significativas, con frutos costillados. Al respecto, Meneses *et al.* (2002) sostuvieron que en *C. pepo* L. la selección masal mejoró el color de la pulpa, pasando de amarillo a amarillo intenso y anaranjado; el sabor de la pulpa, que pasó de medio dulce a dulce; el color exterior de fruto, que fue verde gris y gris, y la textura externa de fruto, que fue costillada.

De manera integral, en este ensayo los mejores resultados se dieron en la variedad Mazapa, en sus compuestos de segundo y tercer ciclo de selección, por lo que la selección masal participativa *in situ* fue efectiva para obtener ganancias genéticas importantes por ciclo de selección para la mayoría de los caracteres en estudio (Cuadro 4).

## CONCLUSIONES

La selección participativa practicada *in situ* en dos variedades locales de calabaza (*Cucurbita pepo* L.) de la Sierra Norte de Puebla, México, fue eficiente en diferente grado para mejorar simultáneamente caracteres de rendimiento de fruto y semilla y la calidad de la pulpa del fruto.

La mayor respuesta por ciclo de selección, en promedio de localidades, se observó en la variedad Mazapa para número de frutos por planta, altura de fruto, ancho de fruto, grosor de pulpa, alto de semilla y ancho de semilla.

La variedad La Libertad mostró buena ganancia en peso de semilla por fruto y peso de fruto por planta.

El compuesto de segundo ciclo de selección en la variedad Mazapa promedió la mayor ganancia en peso de fruto por planta, peso de semilla por planta, grosor de pulpa, altura de fruto, ancho de fruto y ancho de semilla, y produjo frutos de sabores dulce y muy dulces con colores de pulpa amarillo intenso, anaranjado o anaranjado intenso.

El tercer ciclo de selección de la variedad Mazapa presentó valores altos en número de frutos por planta, peso de frutos por hectárea y rendimiento de semilla por hectárea.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a "The McKnight Foundation's Collaborative Crop Research Program" de los Estados Unidos de Norteamérica por el financiamiento otorgado al "Milpa Project".

number of fruits per plant, fruit height, fruit width, flesh thickness, seed height and seed width.

The Libertad variety showed good gain in seed weight per fruit and fruit weight per plant.

The second selection cycle composite in the Mazapa variety averaged the highest gain in fruit weight per plant, seed weight per plant, flesh thickness, fruit height, fruit width and seed width, and produced sweet and very sweet tasting fruits with bright yellow, orange or bright orange flesh colors.

The third selection cycle in the Mazapa variety showed high values in number of fruits per plant, fruit weight per hectare and seed yield per hectare.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the U.S.-based McKnight Foundation's Collaborative Crop Research for funds granted to the "Milpa Project".

*End of English Version*

## LITERATURA CITADA

- ABDULLAH, A. A.; HEGAZI, H. H.; ALMOUSA, I. A. 2003. Evaluation of Locally-grown Pumpkin Genotypes in the Central Region of Saudi Arabia. *Journal of King Saud University-Science* 15: 13-24.
- ALIU, S.; HAZIRI, A.; FETAHU, S.; ALIAGA, N.; RUSINOVCI, I.; HAZIRI, I.; ARAPI, V. 2011. Morphological and nutritive variation in a collection of *Cucurbita pepo* L. growing in Kosova. *Notulae Scientia Biologicae* 3(2): 119-122. <http://www.notulaebiologicae.ro/index.php/nsb/article/view/6066/5536>
- ANONYMOUS. 1996. SAS User's Guide. Statistics. Release 6.12 ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1028 p.
- ANONYMOUS. 2011. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Subsistema de Información Agrícola. México, D.F. Cierre de la producción agrícola por cultivo. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350) (Consultado 25 de Septiembre de 2011).
- ARUAH, C. B.; UGURU, M. I.; OYIGA, B. C. 2010. Variations among some Nigerian *Cucurbita* landraces. *African Journal of Plant Science* 4(10): 374-386. <http://www.academicjournals.org/AJPS/AJPS/PDF/Pdf2010/Oct/Aruah%20et%20al.pdf>
- BALKAYA, A.; ÖBBAKIR, M.; KURTAR, E. S. 2010. The phenotypic diversity and fruit characterization of winter squash (*Cucurbita maxima*) populations from the Black Sea Region of Turkey. *African Journal of Biotechnology* 9(2): 152-162. <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/77781/68204>
- BLANCA, J.; CAÑIZARES, J.; ROIG, C.; ZIARSOLO, P.; NUEZ, E.; PICÓ, B. 2011. Transcriptome characterization and

- high throughput SSRs and SNPs discovery in *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). BMC Genomics 12(104): 1-15. doi: 10.1186/1471-2164-12-104
- BEZERRA N., F. V.; LEAL, N. R.; COSTA, F. R.; GONÇALVES, G. M.; AMARAL, J. A. T.; VASCONCELLOS, H. O.; MELLO, M. M. 2006. Análise biométrica de linhagens de abóbora. Horticultura Brasileira 24(3): 378-380. [http://www.horticulturabrasileira.com.br/images/stories/24\\_3/200624322.pdf](http://www.horticulturabrasileira.com.br/images/stories/24_3/200624322.pdf)
- CANUL K., J.; RAMÍREZ V., P.; CASTILLO G., F.; CHÁVEZ S., J. L. 2005. Diversidad morfológica de calabaza cultivada en el centro-oriente de Yucatán, México. Revista Fitotecnia Mexicana 28(4): 339-349. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/28-4/6a.pdf>
- CECCARELLI, S.; GRANDO, S. 2007. Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. Euphytica 155(3): 349-360. doi: 10.1007/s10681-006-9336-8
- CERÓN G., L.; LEGARIA S., J. P.; VILLANUEVA V., C.; SAHAGÚN C., J. 2010. Diversidad genética en cuatro especies mexicanas de calabaza (*Cucurbita* spp.). Revista Fitotecnia Mexicana 33(3): 189-196. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/33-3/1a.pdf>
- DU, X.; SUN, Y.; LI, X.; ZHOU, J.; LI, X. 2011. Genetic divergence among inbred lines in *Cucurbita moschata* from China. Scientia Horticulturae 127(3): 207-213. doi: 10.1016/j.scienta.2010.10.018
- ELINGS, A.; ALMEKINDERS, C. J. M.; STAM, P. 2001. Introduction: Why focus the thinking on participatory plant breeding?. Euphytica 122(3): 423-424. doi: 10.1023/A:1017923423714
- ESTRADA S., E. I.; VALLEJO C., F. A.; BAENA G., D.; ORTIZ G., S.; ZAMBRANO B., E. 2010. Unapal-Llanogrande, nuevo cultivar de zapallo adaptado a las condiciones del valle geográfico del río Cauca, Colombia. Acta agronómica 59(2): 135-143. [http://digital.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/viewFile/16272/17186](http://digital.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/viewFile/16272/17186)
- FERRIOL, M.; PICÓ, B. 2008. Pumpkin and winter squash, pp. 317-349. In: Handbook of Plant Breeding: Vegetables I (Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae). PROHENS J.; NUEZ F (eds.). Springer. New York, USA. doi: 10.1007/978-0-387-30443-4\_10
- GARCÍA, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. 246 p.
- JACOBO-VALENZUELA, N.; ZAZUETA-MORALES, J. J.; GALLEGOS-INFANTE, J. A.; AGUILAR-GUTIÉRREZ, F.; CAMACHO-HERNÁNDEZ, I. L.; ROCHA-GUZMAN, N. E.; GONZÁLEZ-LAREDO, R. F. 2011. Chemical and physicochemical characterization of winter squash (*Cucurbita moschata* D.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 39(1): 34-40. <http://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/5848/5577>
- LIRA S., R. 1995. Estudios Taxonómicos y Ecogeográficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de Importancia Económica. Instituto de Biología, UNAM. México. 237 p.
- MÁRQUEZ S., F. 1988. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo I. AGT EDITOR. México, D.F. 665 p.
- MENESES-MÁRQUEZ, I.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; VÁZQUEZ-ROJAS, T. R.; MERRICK, C. L. 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): 5-23. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf?id=MzA0>
- MENESES-MÁRQUEZ, I.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J. 2009. Cambios en la calidad de fruto maduro en una población sintética de calabaza (*Cucurbita pepo* L.). Revista Chapingo. Serie Horticultura 15(3): 269-274. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf?id=MTEwOA==>
- MONTES-HERNÁNDEZ, S.; EGUIARTE, L. E. 2002. 2002. Genetic structure and indirect estimates of gene flow in three taxa of *Cucurbita* (Cucurbitaceae) in Western Mexico. American Journal of Botany 89(7): 1156-1163. doi: 10.3732/ajb.89.7.1156
- MONTES-HERNÁNDEZ, S.; MERRICK, L. C.; EGUIARTE, L. E. 2005. 2005. Maintenance of squash (*Cucurbita* spp.) landrace diversity by farmers' activities in Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution 52(6): 697-707. doi: 10.1007/s10722-003-6018-4 Cambio de autor: MONTES H., S.; MERRICK C., L.; EGUIARTE E., L. por MONTES-HERNÁNDEZ, S.; MERRICK, L. C.; EGUIARTE, L. E.
- NANASATO, Y.; KONAGAYA, K.; OKUZAKI, A.; TSUDA, M.; Tabei, Y. 2011. Agrobacterium-mediated transformation of kabocha squash (*Cucurbita moschata* Duch) induced by wounding with aluminum borate whiskers. Plant Cell Reports 30(8): 1455-1464. doi: 10.1007/s00299-011-1054-6
- NERSON, H.; PARIS, H. S. 2001. Relationship between fruit shape and seed yield in *Cucurbita pepo*. Cucurbits Genetics Cooperative 24: 82-86. <http://cuke.hort.ncsu.edu/cgc/cgc24/cgc24-23.pdf>
- OLINIK J., R.; OLIVEIRA J., A.; KEPP M., A.; REGHIN M., Y. 2011. Produtividade de híbridos de abobrinha italiana cultivados sob diferentes coberturas de solo. Horticultura Brasileira 29(1): 130-134. [http://www.horticulturabrasileira.com.br/images/stories/29\\_1/201129122.pdf](http://www.horticulturabrasileira.com.br/images/stories/29_1/201129122.pdf)
- PARIS, H. S.; NERSON, H. 2003. Seed dimensions in the subspecies and cultivar-groups of *Cucurbita pepo*. Genetic Resources and Crop Evolution 50(6): 615-625. doi: 10.1023/A:1024464831595
- SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, M. A.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; CHANNING M., L. 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. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf?id=MzYw>
- SÁNCHEZ H., M. A.; MEJÍA C., A.; VILLANUEVA V., C.; SAHAGÚN C., J.; MUÑOZ O., A.; MOLINA G., J. D. 2006. Estimación de parámetros genéticos en calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber). Revista Fitotecnia Mexicana 29(2): 127-136. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-2/5a.pdf>
- SINGH, M.; CECCARELLI, S.; GRANDO, S. 1997. Precision of the genotypic correlation estimated from variety trials conducted in incomplete block designs. Theoretical and Applied Genetics 95(7): 1044-1048. doi: 10.1007/s001220050660
- VILLANUEVA V., C. 1988. Respuesta a la selección masal visual estratificada rotativa e *in situ* en la variedad de maíz Zacatecas 58. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 102 p.