

SELECCIÓN TEMPRANA EN FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS MATERNOS DE TOMATE DE CÁSCARA DE LA RAZA PUEBLA

Aureliano Peña-Lomeli^{1*}; Hugo Guerrero-Ramos²; Juan Enrique Rodríguez-Pérez¹;
Jaime Sahagún-Castellanos¹; Natanael Magaña-Lira³

¹Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. /Fax. 595 952 1642. Correo-e: aplomeli@correo.chapingo.mx (*Autor para correspondencia)

²Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. km 13.5 Carretera Los Reyes-Texcoco, Coatlinchán, Estado de México. C. P. 56250.

RESUMEN

Se practicó selección indirecta en 100 familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara con base en caracteres de identificación temprana. El objetivo fue identificar familias con comportamiento superior con base en dos o más variables de expresión temprana y alto rendimiento, bajo el supuesto de que su alta correlación genética permitirá realizar una selección adecuada de familias sobresalientes. Cuarenta días después del trasplante se evaluaron altura de la primera bifurcación (APB) y número de frutos amarrados (NFA). A los 76 días del trasplante se registraron el rendimiento (RC) y número de frutos por planta (FP). Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas en APB y NFA. La selección del 10 % de familias al utilizar los cuatro caracteres en forma separada fue complicada. Un análisis de agrupamiento conformó cuatro conjuntos de familias, cuyas características fueron corroboradas mediante un análisis discriminante. A partir de esta descripción fue posible seleccionar las mejores familias, las cuales tuvieron baja APB y NFA y, simultáneamente, mayor RC y FP. La selección temprana, apoyada con análisis multivariado, permitió seleccionar grupos de familias con características afines y su uso posibilitó la identificación de familias sobresalientes.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Selección indirecta, análisis multivariado, *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.

EARLY SELECTION IN MATERNAL HALF-SIB FAMILIES OF HUSK TOMATO OF PUEBLA RACE

ABSTRACT

Indirect selection was performed on 100 maternal half-sib families of husk tomato based on early identification characters. The aim was to identify families with higher performance based on two or more early expression traits and high yield, under the assumption that their high genetic correlation will allow appropriate selection of superior families. At 40 days after transplanting, first bifurcation height (FBH) and fruit set number (FSN) were recorded. At 76 days after transplanting, yield (YP) and fruit number per plant (FP) were also recorded. Analysis of variance showed significant differences in FBH and FSN. Selection of the upper 10 % of families using the four traits separately was difficult. Cluster analysis formed four sets of families, whose characteristics were corroborated by discriminant analysis. This description enabled selecting the best families, which showed low FBH and FSN, and higher YP and FP. Early selection, supported by multivariate analysis, allowed selecting family groups with similar characteristics and identifying superior families.

ADDITIONAL KEYWORDS: Indirect selection, multivariate analysis, *Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horm.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en México se siembran 48,475 ha de tomate de cáscara por año, lo que ubica a esta especie en el quinto lugar en superficie cultivada con hortalizas, con una producción de 719,848 t. Entre otros factores, la falta de variedades mejoradas ha causado que el rendimiento promedio nacional se ubique en 15.58 t·ha⁻¹ (Anónimo, 2011), cuando el potencial del cultivo es de 40 t·ha⁻¹ (Peña y Santiaguillo, 1999). Por lo anterior, es necesario no sólo utilizar variedades mejoradas en lugar de las criollas que actualmente se usan, sino también diseñar estrategias de mejoramiento, como la selección indirecta, que hagan más eficiente el proceso de obtención de mejores variedades a través de los métodos de Selección Masal, Familiar de Medios Hermanos y Combinada de Medios Hermanos, que son los más apropiados y eficientes en tomate de cáscara (Peña *et al.*, 2002).

La consideración de las respuestas correlacionadas sugiere que, algunas veces, podría ser posible lograr mayores progresos mediante la selección de un carácter correlacionado que con la selección para el carácter mismo deseado. En otras palabras, si se desea mejorar un carácter específico X, se podría seleccionar a través de otro carácter Y, y lograr una mejora a través de la respuesta correlacionada con el carácter X. Esto es lo que se conoce como selección indirecta; es decir, la selección aplicada a un carácter diferente del que se desea mejorar, denominado carácter secundario (Falconer, 1986).

En la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara, Peña *et al.* (2008) encontraron correlaciones genéticas aditivas elevadas entre los caracteres altura de la primera bifurcación (APB), número de frutos amarrados (NFA), rendimiento por planta en el primer corte (RC) y número de frutos por planta (FP) con el rendimiento final (RF), donde la heredabilidad en los primeros cuatro caracteres (caracteres secundarios) es mayor que en el carácter principal (RF). Esto sugiere la posibilidad de realizar selección indirecta (Mode y Robinson, 1959; Hallauer y Miranda, 1981; Falconer, 1986) con base en mayor NFA, RC, FP y menor APB.

Por lo anterior, en el presente estudio se seleccionaron familias de medios hermanos maternos (Peña y Márquez, 1990) con base en los cuatro caracteres de alta correlación genética (NFA, RC, FP y APB) con el rendimiento final, tomando como criterio principal el rendimiento y el número de frutos por planta en el primer corte (Moreno *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 2008). Además, se apoyó la selección con análisis multivariado, para identificar familias con comportamiento superior en cuanto a dos o más variables de expresión temprana y alto rendimiento, con el propósito de realizar selección indirecta. Así, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficacia de la selección indirecta con base en caracteres de expresión temprana, bajo la hipótesis de que su alta correlación genética con el rendimiento final permitirá obtener mayor respuesta a la selección.

INTRODUCTION

Currently, 48,475 ha are sown with husk tomato in Mexico every year, which places this species in fifth place in area cultivated with vegetables, with a production of 719,848 t. Among other factors, the lack of improved varieties has caused the national average yield to stand at 15.58 t·ha⁻¹ (Anonimo, 2011), when the crop's potential is 40 t·ha⁻¹ (Peña and Santiaguillo, 1999). Therefore, it is necessary not only to use improved varieties instead of the currently used landraces, but also to design improvement strategies, such as indirect selection, which increase efficiency in the process of obtaining better varieties through Mass Selection, Half-Sibling Family and Combined Half-Sibling methods, which are the most appropriate and efficient in husk tomato (Peña *et al.*, 2002).

Considering correlated responses suggests that, sometimes, it might be possible to make greater progress by selecting a correlated character than by selecting the desired character itself. In other words, if one wants to improve a specific character X, it could be selected through another character Y, and achieve improvement through the response correlated with the character X. This is what is known as indirect selection, i.e., selection applied to a character different from that which one wishes to improve, called a secondary character (Falconer, 1986).

In the CHF1-Chapingo husk tomato variety, Peña *et al.* (2008) found high additive genetic correlations between the characters first bifurcation height (FBH), fruit set number (FSN), yield per plant in the first cut (YP) and fruit number per plant (FP) with final yield (FY), where the heritability in the first four characters (secondary characters) is higher than in the main character (FY). This suggests the possibility of indirect selection (Mode and Robinson, 1959; Hallauer and Miranda, 1981; Falconer, 1986) based on higher FSN, YP, FP and lower FBH.

Therefore, in this study, maternal half-sib families were selected (Peña and Márquez, 1990) based on the four characters of high genetic correlation (FSN, YP, FP and FBH) with final yield, taking as the main criterion the yield and the number of fruits per plant in the first cut (Moreno *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 2008). In addition, the selection was supported by multivariate analysis to identify families with superior performance in two or more early expression variables and high yield, with the purpose of making indirect selection. Thus, the objective of this study was to evaluate the effectiveness of indirect selection based on characters of early expression, under the hypothesis that their high genetic correlation with final yield will obtain greater response to selection.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in the San Martín lot of the Universidad Autónoma Chapingo's experimental field, during the 2004 spring-summer cycle. In total, 100

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el lote San Martín del Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, durante el ciclo primavera-verano de 2004. Se evaluaron 100 familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara de la raza Puebla, obtenidas de un lote de selección masal realizado en el Campo Experimental Tecámac del Colegio de Postgraduados durante el ciclo primavera-verano de 2003. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental se constituyó por un surco de 1.2 m de ancho y 6.3 m de largo con 22 plantas distanciadas cada 0.3 m, las cuales representaron una familia de medios hermanos maternos.

A los 40 días del trasplante se registró la altura de la primera bifurcación (APB), en centímetros, desde la base del tallo, así como el número de frutos amarrados (NFA), considerado como el número de flores que desarrollaron cáliz y tiraron la corola. El primer y único corte se realizó 76 días después del trasplante y se registró el rendimiento de fruto (RC), expresado en gramos por planta, y número de frutos por planta (FP), calculado partir del cociente entre el rendimiento por planta y el peso promedio del fruto correspondiente. El peso promedio del fruto (PPF) en gramos, se obtuvo a partir de una muestra de 10 frutos por familia.

Las familias se seleccionaron inicialmente con base en el análisis de varianza univariado y de la comparación de medias (Tukey) para cada uno de los caracteres evaluados. Se hizo un análisis de agrupamiento, con datos estandarizados, se emplearon los cuadrados de distancias euclidianas y la construcción del dendrograma se realizó con la técnica de mínima varianza de Ward. El número de grupos se determinó con el criterio cúbico de agregación y la pseudoestadística t^2 de Hotelling (Johnson, 2000). Por último, se aplicó un análisis discriminante para corroborar las agrupaciones generadas. El conjunto de familias seleccionadas fue finalmente el grupo con mejores características que se identificaron mediante el análisis multivariado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza detectó diferencias significativas en los caracteres altura a la primera bifurcación (APB) y número de frutos amarrados (NFA), con coeficientes de variación aceptables de acuerdo con resultados reportados por Peña *et al.* (2004 y 2008). Sin embargo, el rendimiento y número de frutos en el primer corte (RC y FP) no tuvieron diferencias significativas debido a la magnitud de los coeficientes de variación, lo que indica heterogeneidad alta dentro de las familias de medios hermanos maternos evaluadas (Cuadro 1).

Selección por análisis univariado

Las mejores familias fueron seleccionadas con una presión de 10 % (Peña y Márquez, 1990) para cada una de

maternal half-sib families of the husk tomato of the Puebla race, obtained by mass selection performed in the Tecámac experimental field of the Colegio de Postgraduados during the 2003 spring-summer cycle, were evaluated. A randomized complete block experimental design with four replications was used. The experimental unit was formed by a furrow measuring 1.2 m wide by 6.3 m long with 22 plants spaced every 0.3 m, which represented a maternal half-sib family.

At 40 days after transplanting, first bifurcation height (FBH), in centimeters from the base of the stem, and fruit set number (FSN), considered as the number of flowers that developed calyx and shed the corolla, were recorded. The first and only cut was performed 76 days after transplanting, when fruit yield (YP), expressed in grams per plant, and number of fruits per plant (FP), calculated from the ratio between the yield per plant and the average weight of the corresponding fruit, were recorded. The average fruit weight (AFW) was obtained, in grams, from a sample of 10 fruits per family.

Families were initially selected based on univariate analysis of variance and comparison of means (Tukey) for each of the traits evaluated. Cluster analysis was performed with standardized data, squared Euclidean distances were used and dendrogram construction was performed using Ward's minimum variance technique. The number of clusters was determined using the cubic clustering criterion and Hotelling's t^2 statistic (Johnson, 2000). Finally, discriminant analysis was applied to corroborate the clusters generated. The set of families selected was finally the group with better traits that were identified by multivariate analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance detected significant differences in the characters first bifurcation height (FBH) and fruit set number (FSN), with acceptable coefficients of variation according to results reported by Peña *et al.* (2004 and 2008). However, the yield and number of fruits in the first cut (YP and FP, respectively) had no significant differences due to the magnitude of the coefficients of variation, indicating high heterogeneity within the maternal half-sib families evaluated (Table 1).

Selection by univariate analysis

The best families were selected with 10 % pressure (Peña and Márquez, 1990) for each of the variables evaluated (Table 2). None was outstanding in the four variables. Only three of the 10 selected families (families 12, 3 and 1) satisfy the condition of lower FBH and higher YP and FP; only family 36 is outstanding in FSN, YP and FP. However, 8 of 10 families (3, 43, 98, 1, 36, 100, 8 and 12) stand out in the characters YP and FP. In this sense, selection with univariate analysis, considering the four variables, becomes complicated because the traits evaluated are governed by a large number of genes and are strongly influenced by the

CUADRO 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para los caracteres evaluados.**TABLE 1. Mean squares of the analysis of variance for the traits evaluated.**

FV / SV	GL / DF	CUADRADOS MEDIOS / MEAN SQUARES			
		APB / FBH	NFA / FSN	RC / YP	FP / FP
Familia / Family	98	13.76**	10.86**	52746.39	17.3
Bloque / Block	3	62.47**	123.55**	106332.9	41.21
Error	294	5.0	5.2	48836.0	15.2
Total	395				
CV		22.3	33.6	66.16	66.7
Media / Mean		10.01	6.7	333.9	5.8

** Significativo con $P \leq 0.01$; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; APB: Altura de la primera bifurcación; NFA: Número de frutos amarrados; RC: Rendimiento por planta; FP: Frutos por planta.

** Significant at $P \leq 0.01$; SV: Source of variation; DF: Degrees of freedom; CV: Coefficient of variation; FBH: First bifurcation height; FSN: Fruit set number; YP: Yield per plant; FP: Fruits per plant.

las variables evaluadas (Cuadro 2). Ninguna fue sobresaliente en las cuatro variables. Sólo tres familias de las 10 seleccionadas (familias 12, 3 y 1) cumplen con la condición de menor APB y mayor RC y FP; sólo la familia 36 es sobresaliente en NFA, RC y FP. Sin embargo, 8 de 10 familias (3, 43, 98, 1, 36, 100, 8 y 12) sobresalen en los caracteres RC y FP. En este sentido, la selección con análisis univariado, al considerar las cuatro variables, se torna complicada debido a que los caracteres evaluados están gobernados por un alto número de genes y son influidos fuertemente por el ambiente. No obstante, en el contexto de la selección temprana en tomate de cáscara se deben preferir a RC y FP como criterios principales de selección (Peña *et al.*, 2008), por lo que las mejores familias con una presión de

environment. However, in the context of early selection in husk tomato, YP and FP should be chosen as primary selection criteria (Pena *et al.*, 2008), so the best families with a selection pressure of 10 % with respect to yield are 3, 43, 98, 1, 36, 100, 8, 30, 49, and 12.

Selection with multivariate analysis

The dendrogram generated by cluster analysis is presented in Figure 1. The cubic clustering criterion and Hotelling's t^2 statistic (data not presented) precisely indicated that the number of groups to be considered is four, with a height cutoff value of 0.053 semipartial r^2 .

Using the four groups generated as classification criteria, discriminant analysis indicated that with only two

CUADRO 2. Características de las familias seleccionadas con base en una presión de selección del 10 %, al considerar caracteres de forma independiente.**TABLE 2. Characteristics of families selected based on a selection pressure of 10 %, considering characters independently.**

APB / FBH		NFA / FSN		RC / YP		FP	
Fam	Valor / Value	Fam	Valor / Value	Fam	Valor / Value	Fam	Valor / Value
45	4.3	16	10.9	3	830.6	1	13.1
12	5.6	27	10.1	43	652.5	3	12.0
3	6.0	33	9.8	98	638.0	8	10.8
47	6.6	93	9.7	1	606.9	36	10.3
75	6.7	39	9.7	36	576.6	98	10.1
67	6.8	62	9.3	100	565.8	43	10.0
4	7.1	34	9.1	8	538.5	2	9.9
46	7.1	24	8.9	30	538.2	100	9.6
7	7.4	36	8.9	49	501.4	12	9.4
1	7.5	26	8.6	12	473.4	45	8.8

El mejor / The best 10 %

Media / Mean **10.01** 6.7 333.9 5.8

DMSH / HSD 6.88 7.02 680.25 12.0

Fam: Familia; APB: Altura de la primera bifurcación; NFA: Número de frutos amarrados; RC: Rendimiento por planta; FP: Frutos por planta; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Fam: Family; FBH: First bifurcation height; FSN: Fruit set number; YP: Yield per plant; FP: Fruits per plant; HSD: Honestly significant difference.

selección del 10 % con respecto al rendimiento son 3, 43, 98, 1, 36, 100, 8, 30, 49, y 12.

Selección con análisis multivariado

El dendrograma generado por el análisis de agrupamiento se presenta en la Figura 1. El criterio cúbico de agrupación y la pseudoestadística t^2 de Hotelling (información no presentada) precisaron que el número de grupos a considerar es cuatro, con una altura de corte de 0.053 r^2 semiparcial.

Al emplear los cuatro grupos generados como criterios de clasificación, el análisis discriminante indicó que con sólo dos variables discriminantes, con valores propios de 2.9 y 1.6, y variación descrita de 64 y 35 %, respectivamente (ambas estadísticamente diferentes de cero), se logró captar 99 % de la variabilidad de los caracteres evaluados en las familias bajo estudio. Esto indica que es posible realizar selección indirecta en forma adecuada sin pérdida de información apreciable.

Las correlaciones lineales entre las dos variables discriminantes generadas y las variables originales (Cuadro 3) determinaron que la primera de ellas (VD1) se asoció en forma positiva con el rendimiento (RC) y el número de frutos por planta (FP), lo que indica que valores elevados de VD1 corresponden a familias con rendimiento y número de frutos mayor y viceversa. Por su parte, la variable discriminante 2 (VD2) tuvo asociación positiva con la altura a la primera bifurcación (APB) y el número de frutos amarrados (NFA); así, valores elevados de VD2 corresponden a familias con altura a la primera bifurcación y número de frutos amarrados mayor, y viceversa. Estas asociaciones concuerdan con las asociaciones genéticas encontradas entre estos caracteres por Peña *et al.* (2004) y Peña *et al.* (2008), lo que demuestra que la selección indirecta es posible. La función de las variables discriminantes es útil para determinar en qué grupo se puede ubicar un nuevo genotipo no considerado en el presente estudio, con base en los valores de las variables utilizadas en el análisis.

Las distancias de Mahalanobis entre centroides de grupos (información no mostrada) indicaron que todas son

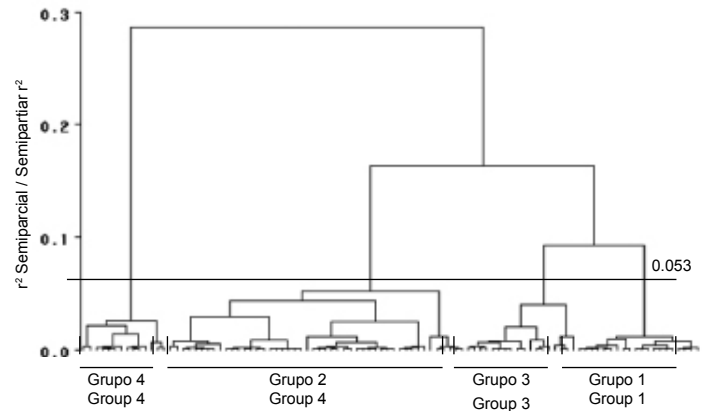


FIGURA 1. Dendrograma jerárquico de los cuatro grupos de familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara a una altura de corte de 0.53 r^2 semiparcial.

FIGURE 1. Hierarchical dendrogram of the four groups of maternal half-sib families of husk tomato at a height cutoff value of 0.53 semipartial r^2 .

discriminant variables, with eigenvalues of 2.9 and 1.6, and described variation of 64 and 35 %, respectively (both statistically different from zero), 99 % of the variability of the traits in the families studied could be captured. This indicates that indirect selection can be performed properly without appreciable loss of information.

The linear correlations between the two discriminant variables generated and the original variables (Table 3) determined that the first one (DV1) was positively associated with yield (YP) and the number of fruits per plant (FP), which indicates that high DV1 values correspond to families with higher yield and fruit number and vice versa. For its part, discriminant variable 2 (DV2) was positively associated with first bifurcation height (FBH) and fruit set number (FSN); thus, elevated DV2 values correspond to families with higher first bifurcation height and fruit set number, and vice versa. These associations are consistent with the genetic associations found between these characters by Peña *et al.* (2004) and Peña *et al.* (2008), which demonstrates that indirect selection is possible. The function of discriminant variables is useful for determining in which group a new genotype not considered in this study may be

CUADRO 3. Vectores propios y funciones de variables discriminantes de cuatro grupos de familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara bajo selección.

TABLE 3. Eigenvectors and functions of discriminant variables of four groups of maternal half-sib families of husk tomato under selection.

Variable original Original variable	Vector propio / Eigenvector		Función discriminante Discriminant function	
	VD1	VD2	VD1	VD2
APB / FBH	-0.133	0.937	5.962	5.421
NFA / FSN	-0.125	0.986	7.638	5.609
RC / YP	0.993	-0.106	0.021	0.028
FP / FP	0.999	-0.031	6.636	6.255

VD1 y VD2, Variable discriminante 1 y 2, respectivamente; APB: Altura de la primera bifurcación; NFA: Número de frutos amarrados; RC1: Rendimiento por planta; FP: Frutos por planta.

DV1 y DV2, Discriminant variable 1 y 2, respectively; FBH: First bifurcation height; FSN: Fruit set number; YP: Yield per plant; FP: Fruits per plant.

CUADRO 4. Conformación de grupos de familias de medios hermanos de tomate de cáscara, frecuencia y proporción de cada grupo con respecto a la población total.

TABLE 4. Composition of groups of half-sib families of husk tomato, frequency and proportion of each group with respect to the total population.

Grupo / Group	Familias / Families	Frecuencia / Frequency
G1	18, 76, 20, 26, 25, 40, 31, 48, 64, 56, 19, 55, 17, 27, 33, 22, 82, 62, 24, 34, 94, 79 y 42	0.23
G2	15, 69, 78, 70, 71, 92, 38, 87, 66, 88, 84, 97, 65, 68, 57, 85, 86, 91, 60, 32, 89, 77, 72, 59, 61, 58, 21, 54, 99, 47, 80, 95, 23, 90, 83, 73, 75, 51, 67, 12, 28, 53, 11 y 45.	0.44
G3	37, 74, 41, 29, 50, 44, 93, 36, 43, 52, 96, 13, 35, 63, 14, 39, 16 y 81.	0.18
G4	5, 7, 9, 49, 46, 4, 98, 100, 2, 10, 8, 1, 3, 30 y 6.	0.15

G1: Grupo 1; G2: Grupo 2; G3: Grupo 3; G4: Grupo 4. / G1: Group 1; G2: Group 2; G3: Group 3; G4: Group 4.

diferentes de cero ($P \leq 0.05$). Es decir, el haber elegido a cuatro como el número de grupos en el análisis de agrupamiento es correcto. Por otra parte, la distribución de familias obtenida fue de alta confiabilidad, ya que con una prueba de resustitución (Johnson, 2003) los individuos dentro de cada clase fueron ubicados en porcentajes mayores de 90 % y en dos de ellos se obtuvo el 100 %; así, la distribución de familias fue de la siguiente manera (Cuadro 4): grupo 1 (G1) con 23 familias, grupo 2 (G2) con 44, grupo 3 (G3) con 18 y grupo 4 (G4) con 15.

Descripción de los grupos

La representación gráfica de las variables discriminantes de las 100 familias bajo selección aparece en la Figura 2, en donde los cuadrantes I y IV son los de mayor interés debido a que contienen familias con alto RC y FP, donde se ubican los grupos G4 y G3. Las familias del G1 y del G2 no son consideradas objeto de selección por tener bajo RC y FP.

El análisis de varianza, realizado con base en los grupos obtenidos como variables categóricas, mostró diferencias significativas en los cuatro caracteres evaluados, lo que corrobora la pertinencia de los agrupamientos generados. Los coeficientes de variación fueron elevados, lo que indica una elevada heterogeneidad de las familias dentro de cada grupo (Cuadro 5).

De acuerdo con las comparaciones de medias de los caracteres evaluados con respecto a los grupos (Cuadro 6), el G3, con 18 familias, tuvo alto rendimiento, elevado número de frutos, mayor amarre de frutos y altura de la primera bifurcación elevada. Este tipo de planta no es del todo indeseable, ya que se puede considerar a este grupo de familias para la selección de alto rendimiento y fruto de tamaño mediano.

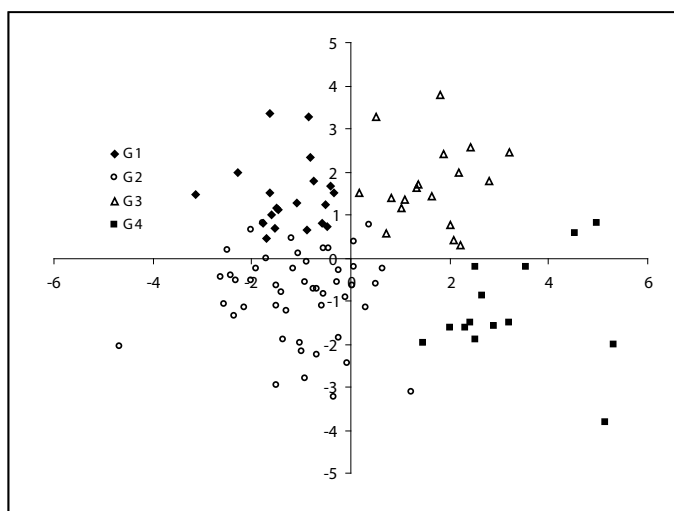


FIGURA 2. Representación gráfica de variables discriminantes de cuatro grupos de familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara. VD1: Variable discriminante 1; VD2: Variable discriminante 2; APB: Altura de la primera bifurcación; NFA: Número de frutos amarrados; RC: Rendimiento por planta; FP: Frutos por planta.

FIGURE 2. Graphical representation of discriminant variables of four groups of maternal half-sib families of husk tomato. DV1: Discriminant variable 1; DV2: Discriminant variable 2; FBH: First bifurcation height; FSN: Fruit set number; YP: Yield per plant; FP: fruits per plant.

located, based on the values of the variables used in the analysis.

Mahalanobis distances between group centroids (data not shown) indicated that all are different from zero ($P \leq 0.05$). That is, selecting four as the number of groups in the cluster analysis is correct. Moreover, high reliability was achieved for the distribution of families obtained, since

CUADRO 5. Análisis de varianza de caracteres evaluados en cuatro grupos de familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara bajo selección temprana.

TABLE 5. Analysis of variance of traits evaluated in four groups of maternal half-sib families of husk tomato under early selection.

Fuente de Variación / Source of variation	GL / DF	CUADRADOS MEDIOS / MEAN SQUARES			
		APB / FBH	NFA / FSN	RC / YP	FP
Grupo / Group	3	632.41**	1309.41**	4404352.9**	1760.64**
Fam (Grupo) / Fam (Group)	92	80.72**	37.77**	98851.3**	28.85**
Error	3230	12.25	16.94	16801.6	5.2
Total	3325				
Media / Mean		10.35	6.99	299.25	5.2
CV		33.7	57.9	43.31	43.54

** Significativo con $P \leq 0.01$; Fam (Grupo): Familias dentro de grupos; CV: Coeficiente de variación; GL: Grados de libertad; APB: Altura de la primera bifurcación; NFA: Número de frutos amarrados; RC: Rendimiento por planta; FP: Frutos por planta.

** Significant at $P \leq 0.01$; Fam (Group): Families within groups; CV: Coefficient of variation; DF: Degrees of freedom; FBH: First bifurcation height; FSN: Fruit set number; YP: Yield per plant; FP: Fruits per plant.

CUADRO 6. Comparación de medias de caracteres evaluados en cuatro grupos de familias de medios hermanos maternos de tomate de cáscara bajo selección temprana.

TABLE 6. Comparison of means of traits evaluated in four groups of maternal half-sib families of husk tomato under early selection.

Variable	APB / FBH	NFA / FSN	RC / YP	FP
Grupo 1 / Group 1	10.78 ab ^z	8.41 a	256.2 c	4.46 c
Grupo 2 / Group 2	9.92 bc	6.18 b	266.5 c	4.57 c
Grupo 3 / Group 3	11.75 a	8.01 a	374.7 b	6.89 b
Grupo 4 / Group 4	8.82 c	5.69 b	497.3 a	8.65 a
DMSH / HSD	1.45	0.99	51.02	0.87

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una $P \leq 0.05$; APB: Altura de la primera bifurcación; NFA: Número de frutos amarrados; RC: Rendimiento por planta; FP: Frutos por planta; DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

^zMeans with the same letter within columns are equal according to Tukey's test, at $P \leq 0.05$; FBH: First bifurcation height; FSN: Fruit set number; YP: Yield per plant; FP: Fruits per plant; HSD = Honestly significant difference.

Al grupo 4 (G4) corresponden 15 familias con la menor altura de la primera bifurcación y el mayor rendimiento y número de frutos; sin embargo, tuvo el menor número de frutos amarrados. Este grupo de familias puede dirigirse a un programa de mejoramiento para alto rendimiento y fruto grande. El grupo de familias de mayor rendimiento (G4) no tuvo un elevado número de frutos amarrados debido a que los parámetros establecidos para la medición del amarre son para la variedad CHF1-Chapingo (Peña *et al.*, 2008). Debido a que la raza Puebla es más tardía y tiene frutos de mayor tamaño, tiene menor amarre de fruto a los 40 días del trasplante (Peña *et al.*, 2004), y la probabilidad de que el mayor amarre se presentase unos días después podría explicar que finalmente sea el grupo con mayor número de frutos. De hecho, este grupo coincide con bajo valor de NFA y elevado FP (Peña *et al.*, 2004), lo que indica que después de haber amarrado pocos frutos en una primera etapa, el cultivo tuvo la capacidad de desarrollar su potencial productivo, lo que le permitió incrementar su rendimiento final.

El peso promedio de fruto fue superior en los diferentes grupos a lo reportado por Peña *et al.* (2004) para

with a resubstitution test (Johnson, 2003) individuals within each class were located in percentages greater than 90 % and in two of them 100 % was obtained; thus, the distribution of families was as follows (Table 4): group 1 (G1) with 23 families, group 2 (G2) with 44, group 3 (G3) with 18 and group 4 (G4) with 15.

Description of the groups

The graphical representation of the discriminant variables of the 100 families under selection appears in Figure 2, where quadrants I and IV are of greater interest because they contain families with high YP and FP, where groups G1 and G2 are located. Families of G1 and G2 are not considered suitable for selection due to having low YP and FP.

The analysis of variance, carried out based on the clusters obtained as categorical variables, showed significant differences in the four traits evaluated, corroborating the appropriateness of the clusters generated. The coefficients of variation were high, indicating a high heterogeneity of families within each group (Table 5).

According to comparisons of means of the characters evaluated with respect to the groups (Table 6), G3, with 18

la variedad Verde Puebla. El G2 presentó el menor peso (54.3 g), superado por los grupos cuatro (57.3 g), uno (57.6 g) y dos (58.4 g). Esto explica el comportamiento del rendimiento y la importancia del análisis multivariado, ya que permitió seleccionar familias con alto rendimiento y fruto grande (G4) y descartar familias con fruto grande (G1 y G2) pero con poca capacidad de carga. Así, se pueden identificar aquellas plantas con pocos frutos pero de mayor tamaño, debido a la baja competencia por fotoasimilados, y diferenciarlas de las que realmente tienen alto potencial genético. También explica por qué no se repiten las mejores familias en las diferentes variables en el análisis univariado.

De acuerdo con esto, la selección de familias en la raza Puebla debe hacerse con bajo valor de APB y elevado valor de rendimiento (tanto peso como número de frutos) en el corte uno. El grupo cuatro (G4) se confirma como el más sobresaliente, y el G3 como de buenas características (Cuadro 6).

Es preciso señalar la distribución de las diez familias seleccionadas en el análisis univariado por su mayor rendimiento. Siete de ellas (familias 49, 98, 100, 8, 1, 3 y 30) se ubicaron en el G4, que se mencionó como el mejor y más sobresaliente por su valor más alto de RC y FP, y su bajo valor de APB. Dos familias (36 y 43) se ubicaron en el G3. Sólo la familia 12 quedó fuera de los dos grupos sobresalientes y se ubicó en el G2.

La selección con análisis multivariado demostró ser efectiva en la selección con base en diferentes caracteres, pues se obtuvo un grupo de familias con bajo valor de APB y alto rendimiento. Se recomienda hacer un compuesto de recombinación integrado con las familias del G4 generado en el análisis de agrupamientos y evaluarlo en las mismas regiones en que se cultivan variedades de la raza Puebla (Santiaguillo *et al.*, 2012).

Por otra parte, la selección indirecta permite seleccionar familias sobresalientes antes de su senescencia. Esto representa una ventaja, ya que se pueden hacer polinizaciones controladas entre plantas selectas de familias superiores para hacer selección *per se*. También permite la multiplicación vegetativa de las mejores plantas para usarlas como progenitores en la formación de híbridos intervarietales planta a planta (Arreola, 2005).

Finalmente, si se desea conservar la característica de fruto grande en los materiales de alto rendimiento de la raza Puebla, se debe seleccionar con base en un bajo valor de APB y NFA, y elevado en rendimiento, número de frutos y peso de fruto en el primer corte.

CONCLUSIONES

La selección temprana complementada con análisis multivariado, en comparación con el análisis univariado, permite seleccionar grupos de familias con diferentes características sobresalientes, lo que puede ayudar a selec-

families, had high yield, high number of fruits, greater fruit set and high first bifurcation height. This type of plant is not entirely undesirable, since this group of families can be considered for selection of high yield and medium-sized fruit.

Group 4 (G4) comprises 15 families with the lowest first bifurcation height and the highest yield and number of fruits, but it had the lowest fruit set number. This group of families can be used for a breeding program for high yield and large fruit. This group of families with the highest yield (G4) did not have a high fruit set number because the parameters established for measuring this character are for the CHF1-Chapingo variety (Peña *et al.*, 2008). Because the Puebla race is later and has larger fruits, it has less fruit setting at 40 days after transplanting (Peña *et al.*, 2004), and the probability that the greatest setting occurs a few days later could explain why this group ultimately has the highest number of fruits. In fact, this group coincides with a low FSN value and high FP (Peña *et al.*, 2004), indicating that after setting few fruits in the first stage, the crop was able to develop its productive potential, enabling it to increase its final yield.

Average fruit weight was higher in the different groups than that reported by Peña *et al.* (2004) for the Verde Puebla variety. G2 had the lowest weight (54.3 g), surpassed by groups four (57.3 g), one (57.6 g) and two (58.4 g). This explains yield behavior and the importance of multivariate analysis because it allowed selecting families with high yield and large fruit (G4) and ruling out families with large fruit (G1 and G2) but with little load capacity. Thus, we can identify those plants with few but larger fruits, due to low competition for photoassimilates, and differentiate them from those that actually have high genetic potential. It also explains why the best families are not repeated in the different variables in the univariate analysis.

Accordingly, the selection of families in the Puebla race should be done with low FBH value and high yield value (both weight and number of fruits) in the first cut. Group four (G4) is confirmed as the most outstanding, and G3 as having good characteristics (Table 6).

It is important to note the distribution of the ten families selected in univariate analysis for their greater yield. Seven of them (families 49, 98, 100, 8, 1, 3 and 30) were located in G4, which was mentioned as the best for its highest value of YP and FP, and its low FBH value. Two families (36 and 43) were located in G3. Only family 12 was left out of the two outstanding groups and located in G2.

Selection with multivariate analysis proved to be effective in the selection based on different characters, as a group of families with low FBH value and high yield was obtained. It is recommended that bulk seed be integrated with the G4 families generated in cluster analysis and evaluated in the same regions where Puebla race varieties are grown (Santiaguillo *et al.*, 2012).

cionar plantas élite para, posteriormente, recombinarlas, cruzarlas o clonarlas.

La selección de familias realizada cuando se consideran todos los caracteres de interés en forma conjunta, evita la confusión que se genera al realizarse con base en variables independientes, lo cual se reflejó en la ubicación de selecciones del análisis univariado en diferentes grupos generados por el análisis multivariado.

Las familias del grupo cuatro presentaron bajo valor de APB y NFA y elevado rendimiento al primer corte, por lo que se recomienda hacer la selección para la raza Puebla con estas características.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 2011. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- ARREOLA S., M. A. 2005. Heterosis intervarietal entre clones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 70 p.
- FALCONER, D. S. 1986. Introducción a la Genética Cuantitativa. F. Márquez S. (Trad.). Editorial CECSA 2ª edición. México, D.F. 383 p.
- HALLAUER, A. R.; MIRANDA, F. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. First edition. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 468 p.
- JOHNSON, D. E. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Edit. Internacional Thomson Editores. 566 p.
- MODE, C. J.; ROBINSON, H. F. 1959. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics* 15(4): 518-537.
- MORENO M., M.; PEÑA L., A.; SAHAGÚN C., J.; RODRÍGUEZ P., J. E.; MORAA., R. 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3): 231-237.
- PEÑA L., A.; MÁRQUEZ S., F. 1990. Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo* 71/72: 84-88.
- PEÑA L., A.; SANTIAGUILLO H., J. F. 1999. Variabilidad Genética de Tomate de Cáscara en México. Boletín técnico no. 2. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 26 p.
- PEÑA L., A.; MEJÍA C., A.; RODRÍGUEZ P., M. E.; CARBALLO C., A.; RODRÍGUEZ P. J. E.; MORENO M., M. 2004. Parámetros genéticos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad Verde Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 27 (1): 1-7.
- PEÑA L., A.; MOLINA G., J. D.; MÁRQUEZ S., F.; SAHAGÚN C., J.; ORTIZ C., J.; CERVANTES S., T. 2002. Respuestas estimadas y observadas de tres métodos de selección en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(2): 171-178.

Moreover, indirect selection allows selecting outstanding families before senescence. This is an advantage, since controlled pollinations can be made between selected plants of superior families for making selection *per se*. It also allows the vegetative propagation of the best plants for use as parents in the plant to plant formation of intervarietal hybrids (Arreola, 2005).

Finally, if one wants to retain the characteristic of large fruit in the high-yield materials of the Puebla race, it should be selected based on a low value of FBH and FSN, and high in yield, fruit number and fruit weight in the first cut.

CONCLUSIONS

Early selection complemented by multivariate analysis, compared with univariate analysis, enables selecting groups of families with different outstanding characteristics, which can help to select elite plants for later recombining, crossing or cloning them.

The selection of families made when all the traits of interest are considered together avoids the confusion generated when it is made based on independent variables, which was reflected in the location of univariate analysis selections in different groups generated by multivariate analysis.

Group 4 families had low FBH and FSN values and high first-cut yield, so it is recommended to make the selection for the Puebla race with these traits.

End of English Version

- PEÑA L., A.; MOLINA G., J. D.; SAHAGÚN C., J.; ORTÍZ C., J.; MÁRQUEZ S., F.; CERVANTES S., T.; SANTIAGUILLO H., J. F. 2008. Parámetros genéticos de la variedad CHF1 Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(1): 5-11.
- SANTIAGUILLO H., J. F.; VARGAS P., O.; GRIMALDO J., O.; MAGAÑA L., N.; CARO V., F. J.; PEÑA L., A.; SÁNCHEZ M., J. 2012. Diagnóstico del Tomate de Cáscara. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 46 p.