SELECCIÓN DE VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL TEJOCOTE (*Crataegus* spp.)

J. López-Santiago[1]; R. Nieto-Ángel[1¶]; A. F. Barrientos-Priego[1]; E. Rodríguez-Pérez[1]; M. T. Colinas-Leon[1]; M. W. Borys[2]; F. González-Andrés[3]

[1]Posgrado de Horticultura, Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e: rnietoa@hotmail.com ([¶]Autor responsable).
[2]Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, 21 Sur 1103, Col. Santiago, Puebla, Puebla. C. P. 72160. MÉXICO.
[3]Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria, Universidad de León. León. ESPAÑA.

RESUMEN

Considerando a la caracterización en plantas como el conjunto de características para diferenciarlas taxonómicamente, en el presente estudio se estableció como objetivo la selección de variables morfológicas confiables y discriminantes, mediante el análisis de varianza, coeficiente de variación, correlación lineal, selección por pasos y análisis de componentes principales. Para dicha selección se eligieron caracteres de hoja, flor y amarre de frutos del tejocote (*Crataegus* spp.), de la colección de accesiones establecidas en el banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo. Los métodos estadísticos que más contribuyeron en la selección de dichas características morfológicas de estos órganos fueron: el coeficiente de variación, el análisis de componentes principales y su análisis de correlación, obteniéndose 35 caracteres que más contribuyeron en la caracterización morfológica y definición de los descriptores, de un total de 76 variables. Las variables discriminantes fueron: hojas de brotes reproductivos: perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de alargamiento, diámetro feret, índice de compactación, ángulo basal y número de venas; hojas de brotes vegetativos cortos: perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de alargamiento, diámetro feret, índice de compactación, ángulo apical, basal y número de venas; hojas de brotes vegetativos largos: perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de alargamiento, diámetro feret, índice de compactación, ángulo apical y basal; estomas en hojas reproductivas: frecuencia estomática y longitud del estoma; y de flor,: longitud del pedicelo, longitud del receptáculo floral, perímetro y diámetro feret de los pétalos, longitud del estilo, perímetro, longitud del eje mayor y diámetro feret del estambre.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Rosaceae, recurso fitogenético, análisis de componentes principales, análisis multivariado.

SELECCIÓN DE VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL TEJOCOTE (*Crataegus* spp.)

ABSTRACT

Considering that the characterization in plants like a set of characteristics to differentiation they taxonomicment, in the present research was established as objective the selection of reliable and discriminant morphological variables, by means of the analysis of variance, coefficient of variation, lineal correlation, stepwise selection analysis and principal components analysis. The characteristics election were from leaf, flower and fruit set of hawthorn (*Crataegus* spp.), of the collection of accessions established in the genebank of the Universidad Autónoma Chapingo. The statistical methods that contributed more in the selection of these morphologic characteristics and definition of descriptors were: the coefficient of variation, the principal components analysis and their analysis of correlation, in addition to the criterion of the researcher, obtaining 35 characters that contributed more in the morphologic characterization, of a total of 76 variables. The discriminant variables were: leaves of reproductive shoots: perimeter, length of the major and smaller axis, elongation index, feret diameter, compaction index, basal angle and number of veins; leaves of short vegetative shoots: perimeter, length of the major and smaller axis, elongation index, feret diameter, compaction index, apical and basal

Recibido:
Aceptado:

angle, number of veins; leaves of long vegetative shoots: perimeter, length of the major and smaller axis, elongation index, feret diameter, compaction index, apical and basal angle; stomata in reproductive leaves: stomata frequency and length of stomata; and of flower: pedicel length, length of the floral receptacle, perimeter and feret diameter of the petals, length of the style, perimeter, length of the major axis and feret diameter of anther filaments.

ADDITIONAL KEY WORDS: Rosaceae, plant genetic resources, principal component analysis, multivariate analysis.

INTRODUCCIÓN

De la amplia variabilidad de plantas en México, un buen número corresponden a los frutales, siendo el tejocote (*Crataegus* spp.) uno de los frutales que tradicionalmente más se consumen; pertenece a la familia de las Rosáceas, género *Crataegus* y agrupa alrededor de 150 especies, de las cuales 95 de ellas se encuentran en el Continente Americano y de éstas, alrededor de 15 en México (*C. greggiana* var. *greggiana, C. greggiana* var. *pepo, C. serratissima, C. sulfurea, C. grandifolia*, *C. baroussana, C. cuprina, C. johnstonii, C. tracyi* var. *Madrensis, C. aurescens, C. gracilior, C. stipulosa, C. rosei* ssp. *rosei, C. rosei* ssp. *parryana, C. rosei* ssp. *rosei* var. *rosei, C. mexicana, C. nelsoni* y *C. uniflora*) (Engleston, 1909; Phipps, 1997).

El tejocote se encuentra ampliamente distribuido a lo largo y ancho de la República Mexicana en altitudes que van de los 400 hasta 3,000 m. De éstas, en general se clasifican en tipos criollos y cultivados; los primeros se localizan entre los 14 y 32º de latitud norte, y los segundos entre los 19 y 20º de latitud norte (Nieto-Ángel y Borys, 1991).

Las evidencias muestran que el género *Crataegus* se originó en la Era Terciaria, y al parecer, se desarrollaron dos líneas paralelas de evolución; una en Asia y la otra en el Norte de América. Sin duda las especies de *Crataegus* en Europa son derivadas del centro de origen Chino. El grupo de especies de *Crataegus* que predominan en México son el *C. pubescens* y *C. mexicana*, y aunque se tienen dudas del origen del tejocote, se cree que éstas se originaron de *C. scabrifolia* que tiene su hábitat en el Este del Continente Asiático, sin embrago, no se descarta a México como posible centro de origen (Phipps, 1983).

Existen evidencias de que los frutos del *Crataegus* ya eran aprovechados y consumidos por los humanos desde 7,000 años a. de C. en Turquía y Siria. Del año 372-287 a. de C., en Grecia, el filósofo Theophrastus dio la primera descripción del género, dándole el nombre de *Krataigos* (fuerte, resistente) (Hort, 1916); los españoles al llegar al "nuevo continente" lo nombraron "manzanita" por la semejanza de sus frutos a las manzanas, nombre que subsiste en Chiapas y Oaxaca actualmente (Borys, 1989).

El término tejocote es el más comúnmente utilizado, aunque éste puede variar dependiendo de la región y étnia; sin embargo, dichos nombres no determinan ni distinguen la unidad taxonómica. El nombre de tejocote proviene del Náhuatl y tiene sus raíces en *Tetl* (piedra) y *Xocotl* (fruto), similar al nombre que le dieron al manzano en el que este mismo grupo étnico lo llamaron *texococuahutl* (Nieto-Ángel y Borys, 1993).

La importancia del tejocote (*Crataegus* spp.) es por su uso alimenticio; como portainjerto del mismo tejocote, manzano, peral, membrillero y níspero; ecológico; ornamental; forrajero; medicinal e industrial. En 1981 se inició en la Universidad Autónoma Chapingo una colecta de genotipos de tejocote en algunas regiones de México, entre las que se encuentran: estado de Chiapas, Estado de México y Puebla, por la gran diversidad existente en estos sitios, y se han establecido en un banco de germoplasma *ex situ* en el Campo Agrícola Experimental de la misma Universidad (Nieto-Ángel y Borys, 1991; 1999).

Un descriptor de una especie o genotipo es un carácter fácil de medir, y que hace referencia a la forma, estructura o funcionamiento de una accesión. Los más utilizados en plantas son: de pasaporte, morfológico, fisiológico y respuesta al ambiente. Los descriptores morfológicos permiten una discriminación fácil y rápida, que generalmente corresponden a caracteres altamente heredables, pueden observarse a simple vista; además, pueden incluir un número limitado de caracteres deseables para el investigador según la accesión (Anónimo, 1995; Franco e Hidalgo, 2003). Los descriptores indican en forma práctica y fácil a cada accesión, ofreciendo con esto una descripción población (Querol, 1988).

Los caracteres que más contribuyen en la caracterización del género *Crategus* son principalmente hojas, flores y frutos. Para hoja los caracteres son: color, longitud, consistencia, grado de curvatura, pubescencia; en flores: pubescencia hipantial, lóbulo en el cáliz, tamaño de pétalo, color de antera, número de estilos y carpelos; frutos: forma, tamaño, color y rudimento de cáliz, y la relación largo/ancho (Phipps, 1997). En los estudios de caracterización de Phipps (1997) en el que evaluó 171 especímenes, del *Crataegus*, generó 513 OTUs y mediante la evaluación morfométrica con 50 caracteres en fruto y 44 caracteres en flor, y mediante el análisis de componentes principales de datos, ha contribuido a la taxonomía y descripción de evolución del género.

Cuando todavía no existen los descriptores en alguna especie, el primer paso es elegir los caracteres que más discriminen o diferencien entre grupos, para lo cual existen métodos y criterios para seleccionarlos, tales como el análisis de varianza, coeficiente de variación, selección de

variables por pasos propuesto por Johnson (1998), coeficiente de correlación y análisis de componentes principales. Cuando el número de variables es mayor de 15 se recomienda usar este procedimiento, cuyo nivel de significación para que una variable entre en el conjunto discriminador, se fije en un á entre 0.25 y 0.50, y que el nivel para que la variable permanezca en el conjunto se fije en á=0.15 (Johnson, 1998).

El análisis de componentes principales tiene como objetivo reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos derivados también de un conjunto numeroso de variables con diferentes grados de correlación, conservando la mayor parte de la variabilidad presente en dichos datos (Jolliffe, 1973). En general existen diversos criterios de selección de variables, algunos de ellos son: caracteres con eigenvalores mayores que 1 (Eastment y Krzanowski, 1982), o componentes cuyo valor propio sea ≥ 1 (Kaiser, 1960; citado por Franco e Hidalgo, 2003); otro criterio es retener un número de componentes, tal que la varianza total concentre el 80 % (Eastment y Krzanowski, 1982), aunque es posible aceptar que los componentes concentren solo el 70 % de la variabilidad total acumulada (Franco e Hidalgo, 2003); Catell en 1966 (citado por Pla, 1986) sugirió un criterio gráfico, que consiste en representar el número de componentes y su valor propio en la abscisa, y el porcentaje de la variabilidad correspondiente en la ordenada, lo cual permite observar el decrecimiento de los primeros componentes.

Actualmente en la Unión para la Protección y Obtenciones de Variedades (UPOV) no se cuenta con Guía Técnica del tejocote. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo la selección de variables morfológicas de hoja, flor y amarre de frutos altamente discriminantes del tejocote, para la caracterización y contribución de los descriptores del género *Crataegus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica del banco de germoplasma de tejocote. El banco de germoplasma de tejocote se encuentra ubicado en Lomas de San Juan, del Campo Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, localizado a los 19º 29' de latitud norte y a 98º 53' de longitud oeste y a una altitud de 2,250 m (García, 1988).

El clima de la zona es C(Wo) (w)b (i"), que corresponde a un templado moderadamente lluvioso, el más seco de los subhúmedos, con lluvias en verano; con temperaturas medias del mes más cálido de 17.5 ºC en el mes de mayo y de 11.6 ºC del mes más frío, en enero; con temperatura media anual de 17.8 ºC, una precipitación media anual de 644.8 mm, con un promedio de 96 días de lluvia, incidiendo la máxima lluvia durante el mes de julio y la mínima en el mes de enero; la evaporación potencial varía de los 900 a los 2,300 mm al año (García, 1988).

Material vegetal. Se consideraron 100 accesiones (Acc.) del banco de germoplasma (Cuadro 1), provenientes de los estados de México, Puebla, Chiapas y un genotipo de España. Para cada accesión se tomaron tres tipos de hojas, provenientes de brotes reproductivos, brotes vegetativos cortos (menores de siete centímetros) y largos (mayores de siete centímetros), estructuras florales y amarre de frutos.

Las accesiones fueron colectadas mediante varetas en los estados de México, Puebla y Chiapas y fueron injertadas sobre portainjertos del mismo tejocote en los años 1985 y 1986. Los árboles de tejocote están establecidos en el banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo, a una distancia de 3 m entre árboles y de 4 m entre hileras. Las accesiones del 1 al 66 constan de 3 a 7 repeticiones; las accesiones del 67 al 100 lo constituyen un solo árbol.

Colecta de flores. De cada una de las accesiones se colectaron 50 flores completas con pedicelo, de las cuales sólo se utilizaron 10 por accesión; se separaron los pétalos, estambres, estilos y receptáculo floral.

Colecta de hojas. De cada accesión se colectaron 20 hojas ubicadas en la quinta o sexta posición a partir de la base de los brotes vegetativos cortos (< 7 cm) y largos (> 7 cm), así como de brotes reproductivos.

Preparación de las hojas para la evaluación de estomas. Se seleccionaron de cinco a ocho hojas de los brotes reproductivos de cada accesión y se colocó silicón en la superficie de la hoja en una superficie de aproximadamente 1 cm^2, posteriormente se le adicionó de dos a cuatro gotas de activador, mismo que se mezcló con una espátula, dejándolo secar de 3 a 5 minutos; posteriormente se levantó el silicón, obteniéndose de esta forma un negativo en el que se le aplicó barniz transparente de uñas para obtener el positivo; se dejó 2 minutos para secado de la muestra y posteriormente se desprendió para que estos positivos se colocaran en un portaobjetos con la superficie hacia arriba y cubriéndolo con un cubreobjetos.

Digitalización de las muestras para la evaluación de estomas. Con un microscopio óptico integrado a la computadora y con el programa *GlabIT Pro*, se capturaron las imágenes digitales de los estomas con un objetivo de 40x (área de 201.9220 mm^2). Cada accesión de tejocote estuvo integrada de cinco positivos de silicón, tomando de cada positivo 10 campos, dando un total de 50 campos por accesión y considerando las 100 accesiones de la investigación se obtuvieron un total de 5,000 imágenes digitales.

Digitalización de flores y hojas. Con el Programa *PhotoImpact* se digitalizaron las imágenes y con ayuda de una regla integrada se capturaron las imágenes digitales de

CUADRO 1. Nomenclatura utilizada para la caracterización de estructuras vegetativas y reproductivas de tejocote del banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo.

ACC.	Código	Origen	Descripción	ACC.	Código	Origen	Descripción
1	CH-20B	Chiapas	20B de Chiapas	51	CH-49	Chiapas	49 de Chiapas
2	CH-26	Chiapas	26 de Chiapas	52	CH-52	Chiapas	52 de Chiapas
3	CH-10	Chiapas	10 de Chiapas	53	CM	España	*Crataegus monogyna* (España)
4	CH-9	Chiapas	9 de Chiapas	54	P54	Puebla	54 de Puebla
5	CH-25	Chiapas	25 de Chiapas	55	P55	Puebla	55 de Puebla
6	CH-20	Chiapas	20 de Chiapas	56	P56	Puebla	56 de Puebla
7	CH-30B	Chiapas	30B de Chiapas	57	EM57	México	57 del Estado de México
8	CH-17	Chiapas	17 de Chiapas	58	EM58	México	58 del Estado de México
9	CH-23	Chiapas	23 de Chiapas	59	CH59	Chiapas	59 de Chiapas
10	CH-16	Chiapas	16 de Chiapas	60	P60	Puebla	60 del Estado de Puebla
11	P11	Puebla	11 de Puebla	61	EM61	Puebla	61 del Estado de Puebla
12	CH-30	Chiapas	30 de Chiapas	62	EM62	México	62 del Estado de México
13	CH-22	Chiapas	22 de Chiapas	63	EM63	México	63 del Estado de México
14	CH-32	Chiapas	32 de Chiapas	64	EM64	Puebla	64 de Puebla
15	CH-37	Chiapas	37 de Chiapas	65	EM65	México	65 del Estado de México
16	CH-36	Chiapas	36 de Chiapas	66	EM66	México	66 del Estado de México
17	CH-27	Chiapas	27 de Chiapas	67	CH67	Chiapas	67 de Chiapas
18	CH-30 C	Chiapas	30C de Chiapas	68	CH68	Chiapas	68 de Chiapas
19	CH-39	Chiapas	39 de Chiapas	69	CH69	Chiapas	69 de Chiapas
20	CH-40	Chiapas	40 de Chiapas	70	CH70	Chiapas	70 de Chiapas
21	CH-31	Chiapas	31 de Chiapas	71	CH71	Chiapas	71 de Chiapas
22	CH-38	Chiapas	38 de Chiapas	72	CH72	Chiapas	72 de Chiapas
23	CHPA	Chiapas	Chiapas, portainjerto A	73	CH73	Chiapas	73 de Chiapas
24	CP5	Puebla	5 Calpan, Puebla	74	CH74	Chiapas	74 de Chiapas
25	CP28	Puebla	28 Calpan, Puebla	75	CH75	Chiapas	75 de Chiapas
26	CP4	Puebla	4 Calpan, Puebla	76	CH76	Chiapas	76 de Chiapas
27	CH-31B	Chiapas	31B de Chiapas	77	CH77	Chiapas	77 de Chiapas
28	SPT	México	San Pablo, Texcoco	78	CH78	Chiapas	78 de Chiapas
29	BAT B	Puebla	Batán B	79	CH79	Chiapas	79 de Chiapas
30	CP4B	Puebla	4B Calpan, Puebla	80	CH80	Chiapas	80 de Chiapas
31	CP1	Puebla	1 Calpan, Puebla	81	CH81	Chiapas	81 de Chiapas
32	BAT A	Puebla	Batán A	82	CH82	Chiapas	82 de Chiapas
33	HPC13	Puebla	13 Huejotzingo, Cultivado	83	CH83	Chiapas	83 de Chiapas
34	SNTPB	México	San Nicolás Tlamincas. Portainjerto B	84	CH84	Chiapas	84 de Chiapas
35	CH-43	Chiapas	43 de Chiapas	85	CH85	Chiapas	85 de Chiapas
36	SPI-2	México	2 de San Pablo Ixayoc	86	P86	Puebla	86 de Puebla

Continuación Cuadro 1...

37	EM37	México	37 del Estado de México	87	P87	Puebla	87 de Puebla
38	SNT-C	México	San Nicolás Tlamincas. Cultivado	88	CH88	Chiapas	88 de Chiapas
39	SNT-P	México	San Nicolás Tlamincas. Portainjerto	89	CH89	Chiapas	89 de Chiapas
40	SPI-1	México	1 de San Pablo Ixayoc	90	MICHP90	Michoacan	28 de Michoacan
41	SNTC48	México	48 de San Nicolás Tlamincas.	91	P91	Puebla	91 de Puebla
42	CH10P	Chiapas	10 de Chiapas. Portainjerto	92	P92	Puebla	92 de Puebla
43	CHPB	Chiapas	Chiapas, Portainjerto B	93	P93	Puebla	93 de Puebla
44	CH-42	Chiapas	42 de Chiapas	94	P94	Puebla	94 de Puebla
45	HPC14A	Puebla	14A de Huejotzingo, Puebla. Cultivado	95	P95	Puebla	95 de Puebla
46	CP-B	Puebla	B de Calpan, Puebla	96	P96	Puebla	96 de Puebla
47	HP14B	Puebla	14B de Huejotzingo, Puebla	97	EM97	México	97 del Estado de México
48	HPC15	Puebla	15 de Huejotzingo, Puebla. Cultivado	98	P98	Puebla	98 de Puebla
49	PT	México	Pecoso de Tlamincas	99	CH99	Chiapas	99 de Chiapas
50	PT-12	México	12 Pecoso de Tlamincas	100	HPC100	Puebla	100 de Huejotzingo, Puebla; cultivado

ACC.: accesiones del banco de germoplama de la Universidad Autónoma Chapingo.

la flor y sus estructuras de los tres tipos de hojas, evaluando 15 imágenes por el haz y 5 por envés.

Evaluación de variables de producción. Se consideraron cuatro árboles homogéneos por accesión y de cada árbol se seleccionaron dos ramas de un año, una en posición norte y la otra en posición sur, y se marcaron con plástico de color visible. Para las accesiones que sólo tienen un árbol se marcaron cuatro ramas para el lado norte y cuatro para el lado sur.

Variables evaluadas. En el Cuadro 2 se tienen las variables evaluadas: frecuencia estomática (mm^2); longitud del estoma (ìm); distancia entre estomas más próximos (ìm); área de pétalos, receptáculo floral y estambres (cm^2); longitud del eje mayor y menor de la hoja, pétalos, receptáculo floral y estambres (cm); índice de alargamiento de la hoja, pétalos, receptáculo floral y estambres (división del eje menor entre la longitud del eje mayor, cuyos valores se encuentran entre 0 y 1); índice de redondez de la hoja, pétalos, receptáculo floral y estambres (relación entre el perímetro y el área de la hoja, los valores varían entre 0 y 1); diámetro feret de hojas, pétalos, receptáculo floral y estambres [de la ecuación: $DF = \sqrt{\frac{4 \times área}{\pi}}$]; índice de compactación de la hoja, pétalos, receptáculo floral y estambres [de la ecuación: $IC = \sqrt{\frac{(4 \times área) \times longitud \cdot eje \cdot mayor}{\pi}}$]; ángulo apical de la hoja; ángulo basal de la hoja; longitud del pecíolo de la hoja (cm); número de dientes sobresalientes; número de venas; longitud del receptáculo floral más la longitud del pedicelo de la flor (cm); longitud del pedicelo de la flor (cm); longitud del receptáculo floral (cm); longitud del estilo de la flor (cm); número de pétalos de la flor; número de estilos de la flor; longitud de la flor (cm); número de estambres; número de brácteas; número de inflorescencias por rama; número de flores por inflorescencia; amarre de frutos (tamaño “canica” %); y permanencia de frutos en madurez fisiológica (%).

Respecto a los caracteres de las hojas y flores, después de tener la muestra ya digitalizada en imagen, se procedió a la medición de los caracteres utilizando el programa *Image Tool* V3.0 (Wilcox *et al*., 2002) con los comandos *distance*, *angle* y *object analysis*.

Análisis estadístico

Prueba de normalidad y análisis de varianza. Para todas las variables en evaluación se utilizó el procedimiento UNIVARIATE NORMAL PLOT de SAS para conocer la normalidad de los datos, y mediante el diseño completamente al azar se calculó la varianza entre accesiones, además del coeficiente de variación.

CUADRO 2. Variables evaluadas para la caracterización de estomas de hojas de brotes reproductivos, hojas de brotes vegetativos cortos, hojas de brotes vegetativos largos, flores y sus estructuras y amarre de fruto de tejocote.

EP	Variables	ABV	EP	Variables	ABV
Hojas de brotes reproductivos		EHR	**Receptáculo floral más pedicelo más cáliz**		RFPC
	Frecuencia estomática (estomas·mm^{-2})	FE		Área (cm)	AF
	Longitud del estoma (mm)	LE		Perímetro (cm)	P
	Distancia entre estomas más próximos (mm)	DEP		Longitud del eje mayor (cm)	LEM
	Área foliar (cm^2)	AF		Longitud del eje menor (cm)	LEME
	Perímetro (cm)	P		Índice de alargamiento	IA
	Longitud del eje mayor (cm)	LEM		Índice de redondez	IR
	Longitud del eje menor (cm)	LEME		Diámetro feret	DF
	Índice de alargamiento	IA		Índice de compactación	IC
	Índice de redondez	IR		Longitud de receptáculo más pedicelo (cm)	LRP
	Diámetro feret	DF		Longitud del pedicelo (cm)	LP
	Índice de compactación	IC		Longitud del receptáculo (cm)	LR
	Ángulo apical (grados)	AP	**Pétalos de la flor**		P
	Ángulo basal (grados)	AB		Área (cm)	AF
	Longitud del pecíolo (cm)	LP		Perímetro (cm)	P
Hojas de brotes vegetativos cortos		HBVC		Longitud del eje mayor (cm)	LEM
	Área foliar (cm^2)	AF		Longitud del eje menor (cm)	LEME
	Perímetro (cm)	P		Índice de alargamiento	IA
	Longitud del eje mayor (cm)	LEM		Índice de redondez	IR
	Longitud del eje menor (cm)	LEME		Diámetro feret	DF
	Índice de alargamiento (cm)	IA		Índice de Compactación	IC
	Índice de redondez	IR	**Estructuras de flor**		FC
	Diámetro feret	DF		Número de pétalos por flor (cm)	NP
	Índice de compactación	IC		Longitud del estilo (cm)	LE
	Ángulo apical (grados)	AP		Número de estilos	NE
	Ángulo basal (grados)	AB		Longitud de la flor (cm)	LF
	Longitud del pecíolo (cm)	LP		Número de estambres	NE
Hojas de brotes vegetativos largos		HBVL		Número de brácteas	NB
	Área foliar (cm^2)	AF	**Estambres**		ET
	Perímetro (cm)	P		Área (cm)	AF
	Longitud del eje mayor (cm)	LEM		Perímetro (cm)	P
	Longitud del eje menor (cm)	LEME		Longitud del eje mayor (cm)	LEM
	Índice de alargamiento	IA		Longitud del eje menor (cm)	LEME
	Índice de redondez	IR		Índice de alargamiento	IA-ET
	Diámetro feret	DF		Índice de redondez	IR
	Índice de compactación	IC		Diámetro feret	DF
	Ángulo apical (grados)	AP		Índice de Compactación	IC
	Ángulo basal (grados)	AB	**Floración**		FR
	Longitud del pecíolo (cm)	LP		Número de inflorescencias	NI
Hojas de brotes reproductivos		HBR		Número de flores por inflorescencia	NFI
	Número de dientes sobresalientes	NDS	**Amarre de fruto**		A
	Número de venas	NV		Amarre de frutos en tamaño canica (%)	AFTC
Hojas de brotes vegetativos cortos		HBVC		Permanencia de frutos en madurez fisiológica (%)	PFMF
	Número de venas	NV			

EP: estructura de la planta; ABV: Abreviación

Selección de variables. La selección de variables fue realizada de acuerdo con lo propuesto por Johnson (1998) por el método de selección por pasos; en el que se parte de un análisis de varianza individual del total de variables respuesta. De este análisis se eligieron las variables cuya *F* calculada corresponda al mayor valor, asociado a una mayor variación dentro de las accesiones. Posteriormente se incluye la segunda variable con el mayor valor de *F* dentro de un análisis de covarianza utilizando a la primera variable elegida como covariable. Si la prueba de *F* resulta significativa con un nivel de á preestablecido, la nueva variable es considerada útil para la discriminación; en caso contrario fue incluida. Este proceso se realizó con el procedimiento STEPDISC de SAS, utilizando como covariables a los caracteres preestablecidos, eliminando aquellos que no presentaron significancia estadística. Solo las variables con nivel de significancia de 0.40 se consideraron dentro del conjunto discriminador (*sle*=0.40), eliminándose aquellas con niveles de significancia del 0.15 (*sls*=0.15).

Análisis de componentes principales. Se realizó el análisis de componentes principales (ACP) utilizando el procedimiento PRINCOMP del programa SAS. Este procedimiento permitió realizar un ACP sobre los datos en originales (Johnson, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de normalidad y análisis de varianza. De las 76 variables estudiadas y de acuerdo a las pruebas de normalidad, los resultados indican que todas las variables presentaron una distribución normal con un alto número de genotipos (100) y de repeticiones para el análisis.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para todas las variables estudiadas, lo que indica que existe variabilidad entre las accesiones presentes en el banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 3).

Fueron 43 las variables que presentaron un coeficiente de variación menor a 15 % (Cuadro 3), lo cual indica una alta uniformidad en las variables evaluadas de cada accesión, mismas que fueron: hojas de brotes reproductivos, vegetativos largos y cortos, y de pétalos de la flor; éstos con los parámetros de perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de alargamiento, índice de redondez, diámetro feret, índice de compactación, además del ángulo apical y basal para los tres tipos de hojas, a excepción del ángulo basal para hojas de brotes vegetativos cortos, número de nervaduras para hojas de brotes reproductivos y vegetativos cortos, para el receptáculo floral los parámetros, perímetro, longitud del eje menor, diámetro feret, índice de compactación, longitud del receptáculo floral, número de pétalos de la flor, longitud del estilo, número de estambres por flor y longitud del estoma.

Los coeficientes de variación considerados como adecuados dentro del 15 a 20 %, fueron 10 las variables que presentaron estos valores, siendo ésta las correspondientes a la longitud del pecíolo y número de estomas en hojas reproductivas; para hojas de brotes vegetativos cortos, el ángulo basal, área, perímetro, longitud del eje mayor, índice de alargamiento, longitud del pedicelo más receptáculo floral, para estambres diámetro feret e índice de compactación del receptáculo floral.

Los coeficientes de variación (CV) superiores al 20 % fueron 17 variables, seis variables superiores al 40 % las cuales estuvieron constituidas por el número de dientes sobresalientes de hojas de brotes reproductivos, número de brácteas de la flor, longitud del eje menor de estambres, número de inflorescencias en ramas de un año, amarre de frutos en tamaño “canica” y amarre de frutos en madurez fisiológica (Cuadro 3). Esto indica que las variables presentaron una alta variabilidad dentro de cada accesión; además, estos coeficientes no son aceptados desde el punto de vista estadístico, ya que se considera que estas variables pudieron estar muy influenciadas por el ambiente. Las variables número de dientes sobresalientes, número de brácteas en flor, amarre de frutos en tamaño “canica” y amarre de frutos en madurez fisiológica; sus altos CV se debieron básicamente a la presencia de muchos ceros; lo anterior se sustenta a que si μ, la media verdadera, es un valor próximo a cero, entonces el coeficiente de variación tenderá a tomar valores muy altos aún en experimentos bien conducidos.

Todas las variables que presentaron valores superiores a 20 % y próximos a este valor pueden utilizarse en el proceso de selección; a su vez, las variables con CV superiores al 30 % definitivamente fueron descartadas.

Selección de variables morfológicas. La selección de variables con mayor influencia en la caracterización morfológica se llevó a cabo utilizando el método de selección por pasos propuesto por Johnson (1998), mediante el procedimiento STEPDISC del programa SAS, y a partir de este método, fueron seleccionados 72 variables de las 76 incluidas, utilizando a=0.40 como nivel de significancia para incluirse en el conjunto de variables discriminantes a=0.15 para ser eliminadas. De 76 variables registradas, tres de ellas fueron eliminadas por el programa, debido a la falta de significancia, siendo éstas: índice de alargamiento del receptáculo floral, longitud del pedicelo más el ovario y longitud del eje mayor de los pétalos. La variable longitud del eje menor del receptáculo floral fue eliminada por no ser significativa. Este método de selección de variables no es sensible para aquellas; incluso, que tienen significancia en el análisis de varianza.

Otra técnica con la cual se llevó a cabo la selección de variables fue el coeficiente de correlación de Pearson. Se tomó como criterio que las variables presentaran un

CUADRO 3. Análisis de varianza para 76 variables en 100 accesiones de tejocote del banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo.

EP	Variables	Grados de libertad			Cuadrados medios		Media	CV(%)
		Número	Error	Total	Total**	Error		
Hojas de brotes reproductivos								
	Frecuencia estomática (estomas· mm^{-2})	97	4,802	4,899	167.79	1.87	8.01	17.05
	Longitud del estoma (mm)	97	4,802	4,899	6.70	0.05	3.15	7.13
	Distancia entre estomas más próximos (mm)	97	4,802	4,899	2.96	0.12	1.05	33.40
	Área foliar (cm^2)	94	1,805	1,899	828.57	6.25	9.27	26.96
	Perímetro (cm)	94	1,805	1,899	460.64	3.67	15.02	12.76
	Longitud del eje mayor (cm)	94	1,805	1,899	47.95	0.26	4.66	11.09
	Longitud del eje menor (cm)	94	1,805	1,899	12.25	0.11	2.63	12.92
	Índice de alargamiento	94	1,805	1,899	0.95	0.02	1.77	8.50
	Índice de redondez	94	1,805	1,899	0.04	0.001	0.47	8.49
	Diámetro feret	94	1,805	1,899	21.41	0.13	3.26	11.04
	Índice de compactación	94	1,805	1,899	0.036	0.001	0.70	4.56
	Ángulo apical (grados)	94	1,805	1,899	1,304.67	109.26	90.02	11.61
	Ángulo basal (grados)	94	1,805	1,899	2,529.04	111.37	79.74	13.23
	Longitud del pecíolo (cm)	94	1,804	1,898	0.95	0.02	0.73	18.89
Hojas de brotes vegetativos cortos								
	Área foliar (cm^2)	95	1,816	1,911	360.24	3.39	8.03	22.92
	Perímetro (cm)	95	1,816	1,911	257.69	2.316	13.99	10.87
	Longitud del eje mayor (cm)	95	1,816	1,911	28.09	0.23	4.33	11.14
	Longitud del eje menor (cm)	95	1,816	1,911	8.32	0.07	2.53	11.13
	Índice de alargamiento (cm)	95	1,816	1,911	1.39	0.029	1.73	9.91
	Índice de redondez	95	1,816	1,911	0.05	0.0001	0.48	7.23
	Diámetro feret	95	1,816	1,911	12.44	0.09	3.08	9.86
	Índice de compactación	95	1,816	1,911	0.06	0.001	0.71	5.48
	Ángulo apical (grados)	95	1,824	1,919	1,910.37	110.73	99.06	10.62
	Ángulo basal (grados)	95	1,824	1,919	5,401.60	215.50	80.52	18.23
	Longitud del pecíolo (cm)	95	1,824	1,919	0.49	0.01	0.64	20.62
Hojas de brotes vegetativos largos								
	Área foliar (cm^2)	95	1,822	1,917	1,327.40	10.19	12.82	24.89
	Perímetro (cm)	95	1,822	1,917	531.83	4.09	17.71	11.49
	Longitud del eje mayor (cm)	95	1,822	1,917	57.19	0.318	5.116	11.03
	Longitud del eje menor (cm)	95	1,822	1,917	15.89	0.15	3.31	11.72
	Índice de alargamiento	95	1,822	1,917	1.083	0.019	1.54	9.08
	Índice de redondez	95	1,822	1,917	0.07	0.0014	0.47	8.06
	Diámetro feret	95	1,822	1,917	25.85	0.15	3.85	10.34
	Índice de compactación	95	1,822	1,917	0.07	0.00	0.76	4.58
	Ángulo apical (grados)	95	1,824	1,919	2,340.22	93.05	104.64	9.21
	Ángulo basal (grados)	95	1,824	1,919	8,620.93	206.40	102.88	13.90
	Longitud del pecíolo (cm)	95	1,824	1,919	1.24	0.022	0.72	20.69
Hojas de brotes reproductivos								
	Número de dientes sobresalientes	95	1,823	1,918	30.63	0.50	0.62	113.79
	Número de venas	95	384	479	45.43	2.56	11.36	14.08
Hojas de brotes vegetativos cortos								
	Número de venas	95	384	479	36.33	2.52	10.97	14.48
Receptáculo floral más pedicelo más cáliz								
	Área (cm)	96	1,073	977	9.41	0.06	1.55	16.13
	Perímetro (cm)	96	1,073	977	260.30	3.28	11.95	15.16

Longitud del eje mayor (cm)	96	1,073	977	14.91	0.28	3.07	17.25
Longitud del eje menor (cm)	96	1,073	977	3.70	0.05	1.57	14.74
Índice de alargamiento	96	1,073	977	0.51	0.15	1.98	19.83
Índice de redondez	96	1,073	977	0.01	0.0008	0.13	20.91
Diámetro feret	96	1,073	977	2.33	0.009	1.32	7.43
Índice de compactación	96	1,073	977	0.02	0.002	0.44	11.95
Longitud de receptáculo mas pedicelo (cm)	96	849	945	7.58	0.26	2.75	18.66
Longitud del pedicelo (cm)	96	849	945	4.34	0.24	1.85	26.47
Longitud del receptáculo (cm)	96	849	945	0.61	0.02	0.90	13.76
Pétalos de la flor							
Área (cm)	97	4,727	4,824	15.98	0.08	1.30	22.42
Perímetro (cm)	97	4,727	4,824	66.66	0.27	4.51	11.52
Longitud del eje mayor (cm)	97	4,727	4,824	6.15	0.02	1.4	9.59
Longitud del eje menor (cm)	97	4,727	4,824	4.65	0.02	1.17	14.30
Índice de alargamiento	97	4,727	4,824	0.10	0.02	1.20	11.21
Índice de redondez	97	4,727	4,824	0.10	0.007	0.75	11.21
Diámetro feret	97	4,727	4,824	4.85	0.02	1.24	11.08
Índice de compactación	97	4,727	4,824	0.02	0.002	0.88	5.14
Estructuras de flor							
Número de pétalos por flor (cm)	96	993	1,089	2.17	0.25	5.22	9.59
Longitud del estilo (cm)	97	1,010	1,107	0.45	0.006	0.74	10.62
Número de estilo	97	1,002	1,099	11.8	0.55	3.17	23.40
Longitud de la flor (cm)	97	1,006	1,103	0.16	0.06	0.93	26.79
Número de estambres	97	930	1,027	120	3.55	16.7	11.25
Número de brácteas	97	1,004	1,101	4.92	0.43	1.43	61.77
Estambres							
Área (cm)	97	4,752	4,849	0.04	0.0003	0.05	35.36
Perímetro (cm)	97	4,752	4,849	15.9	0.15	1.64	24.21
Longitud del eje mayor (cm)	97	4,752	4,849	2.27	0.02	0.06	25.49
Longitud del eje menor (cm)	97	4,752	4,849	20.1	0.002	0.12	42.07
Índice de alargamiento	97	4,752	4,849	111	5.45	5.96	39.15
Índice de redondez	97	4,752	4,849	0.07	0.006	0.25	32.78
Diámetro feret	97	4,752	4,849	0.30	0.002	0.24	16.86
Índice de compactación	97	4,752	4,849	0.10	0.006	0.42	18.96
Floración							
Número de inflorescencias	97	682	779	23.3	3.41	3.42	53.95
Número de flores por inflorescencia	97	2,201	2,298	33.8	2.35	4.57	33.49
Amarre de fruto							
Amarre de frutos en tamaño canica (%)	97	2,201	2,298	8,557	776.1	35.1	79.51
Amarre de frutos en madurez fisiológica (%)	97	2,201	2,298	8,503	749.95	33.3	81.57

**: altamente significativo a una $P \leq 0.001$ para todas las variables.
EP: estructura de la planta; ABV: Abreviación; CV: coeficiente de variación.

coeficiente de correlación igual o superior a r=0.70 y que fueron altamente significativas; además, se evitó utilizar variables altamente asociadas entre sí aunque cumplieran con el criterio antes descrito y caracteres con coeficientes de variación menores a 20 % y sólo con sentido lógico y útil.

La variable perímetro de hojas, provenientes de brotes reproductivos está altamente correlacionada con sus respectivos parámetros de longitud del eje mayor, menor y diámetro feret (Cuadro 4); lo anterior se debe a que son componentes de forma de la hoja. Un comportamiento similar presentó la variable perímetro para hojas provenientes de brotes vegetativos cortos y largos. De esta manera se deduce que a medida que se incrementa el perímetro, se incrementarán en forma proporcional sus parámetros y viceversa, ya que son elementos dependientes para la forma de la hoja.

En general, la longitud del eje mayor, menor y diámetro feret, mantienen una alta correlación positiva significativa con las variables de hojas provenientes de brotes reproductivos, vegetativos cortos y largos, lo cual obedece a que son parámetros de forma (Cuadro 4).

Existe una alta correlación de la variable índice de compactación de hojas provenientes de brotes vegetativos largos con su respectivo ángulo basal (Cuadro 4), interpretando que a medida que una hoja presente un mayor ángulo basal, ésta tenderá a presentar una forma más redonda.

La variable, área proyectada del receptáculo floral presentó una alta correlación con la longitud del eje mayor del pedicelo, diámetro feret del receptáculo floral, longitud del receptáculo floral, perímetro de pétalos, longitud del eje mayor, menor y diámetro feret de los pétalos (Cuadro 4), lo cual es atribuible a que son variables dependientes; es decir, a medida que se presente una mayor área, lógicamente presentará valores mayores, debiéndose a que se encuentran incluidos en la variable en cuestión; además, la variable área del receptáculo floral presentó alta correlación con el área de los pétalos, longitud del eje mayor y menor de los pétalos, lo que se interpreta que a medida que se tenga una mayor área el pedicelo, se tendrán también pétalos más grandes, en consecuencia mayor tamaño de flor.

Se presentaron correlaciones altamente significativas y positivas para la variable perímetro de pétalos de flor con su longitud del eje mayor, menor y diámetro feret, además, correlaciones de la misma magnitud con la variable longitud del eje mayor con longitud del eje menor y diámetro feret. Se presentó correlación de la variable longitud del estilo con diámetro feret de los pétalos, dicha correlación es poco útil.

Análisis de componentes principales. En esta investigación los resultados de los componentes principales son interpretados tomando como base los eigen-valores y eigen-vectores. Los eigen-valores nos muestran los componentes principales con su valor en el análisis de datos, el porcentaje individual y acumulado de la variabilidad total que acumulan.

Los datos indican que la variabilidad está asociada con cada uno de los componentes principales, y esta variabilidad se disminuye a medida que se incrementa el número de componentes principales. El primer componente principal concentra el 29.64 % de la variabilidad total de las accesiones; el segundo componente principal, el 15.66 %; el tercer componente principal, el 14.47 %; el cuarto componente principal, el 6.77 %; los componentes del quinto al octavo sólo concentran el 14 % de la variabilidad total (Cuadro 5).

Los primeros ocho componentes concentran el 80.79 % de la variabilidad total de las accesiones, en tanto que los componentes 1 al 3, sólo concentran el 59.77 % de toda la variabilidad existente entre las accesiones analizadas. Cabe señalar que estos tres componentes principales son los de mayor importancia, puesto que reúnen más de la mitad de variabilidad acumulada; sin embargo, la selección del número de componentes principales que se deben tomar para el análisis aún es tema de análisis y discusión, ya que no existen pruebas estadísticas de inferencia que permitan probar la significancia de dichos valores; aunque debe quedar claro que la selección no depende del número de componentes obtenidos, ya que el análisis genera tantos componentes como variables en el estudio (Franco e Hidalgo, 2003).

Teniendo en cuenta la interpretación y toma de decisiones de los datos presentados, se tendrían que seleccionar los primeros cinco componentes ya que en conjunto explica el 71.23 % de la variabilidad, como lo sugieren Pla (1986) y González Andrés (2001) (Cuadro 5).

En el Cuadro 6 se pueden observar los resultados que cada una de las variables aportaron a los componentes principales y su correlación. El primer componente principal concentró el 29.64 % de toda la variabilidad y estuvo constituido por 25 variables, siendo las siguientes: receptáculo floral con las variables, área, perímetro, longitud del eje mayor, longitud del receptáculo floral más pedicelo más cáliz de la flor, longitud del receptáculo floral; seguido por la estructura de hojas provenientes de brotes vegetativos

CUADRO 5. Eigen-valores y porcentaje de variabilidad que aportan los componentes principales de estomas, hojas, flores y amarre de fruto de tejocote del banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo.

Componente Principal	Eigen Valor	Variabilidad del Componente (%)	Porcentaje acumulado de la variabilidad (%)
1	22.5249	29.64	29.64
2	11.9005	15.66	45.30
3	11.0004	14.47	59.77
4	5.1453	6.77	66.54
5	3.5631	4.69	**71.23**
6	3.2660	4.30	75.53
7	2.0671	2.72	78.25
8	1.9316	2.54	80.79
9	1.8682	2.46	83.25
10	1.3148	1.73	84.98
11	1.0762	1.42	86.39
12	1.0149	1.34	87.73
13	0.9605	1.26	88.89
14	0.8010	1.05	90.05
15	0.7687	1.01	91.06

CUADRO 4. Coeficiente de Correlación de Pearson entre caracteres evaluados en genotipos de tejocote (*Crataegus* spp.) del Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo.

	LEM-HBR	LEME-HBR	DF-HBR	P-HBVC	LEM-HBVC	LEME-HBVC	DF-HBVC	P-HBVL	LEM-HBVL	LEME-HBVL	DF-HBVL	LEM-RFPC	DF-RFCP	LP	LR	P-P	LEM-P	LEME-P	DF-P	AB-HBVL	LE
P-HBR	0.96**	0.95**	0.98**	**0.76****	**0.79****	**0.721****	**0.79****	**0.77****	**0.77****	**0.76****	**0.80****	0.29**	0.30**	0.26**	0.31**	0.19**	0.17**	0.17**	0.17**	-0.08**	0.14**
LEM-HBR		0.91**	0.98**	**0.72****	**0.81****	0.66**	**0.78****	**0.77****	**0.82****	**0.75****	**0.82****	0.31**	0.33**	0.27**	0.35**	0.17**	0.16**	0.15**	0.16**	-0.16**	0.15**
LEME-HBR			0.97**	**0.74****	**0.74****	**0.734****	**0.78****	**0.74****	**0.721****	**0.77****	**0.77****	0.24**	0.25**	0.25**	0.26**	0.16**	0.15**	0.14**	0.15**	0.02^{NS}	0.11**
DF-HBR				**0.74****	**0.79****	**0.712****	**0.79****	**0.77****	**0.79****	**0.77****	**0.82****	0.29**	0.31**	0.27**	0.32**	0.17**	0.16**	0.15**	0.16**	-0.07**	0.15**
P-HBVC					0.92**	0.93**	0.96**	**0.72****	0.66**	**0.74****	**0.72****	0.34**	0.36**	0.32**	0.33**	0.27**	0.27**	0.25**	0.26**	0.003^{NS}	0.25**
LEM-HBVC						0.81**	0.94**	**0.73****	**0.76****	**0.72****	**0.77****	0.40**	0.42**	0.36**	0.42**	0.28**	0.27**	0.24**	0.26**	-0.16**	0.26**
LEME-HBVC							0.94**	0.68**	0.60**	**0.73****	0.69**	0.27**	0.29**	0.27**	0.29**	0.21**	0.21**	0.19**	0.21**	0.12**	0.18**
DF-HBVC								**0.73****	**0.72****	**0.77****	**0.78****	0.36**	0.38**	0.34**	0.38**	0.26**	0.25**	0.23**	0.24**	-0.02^{NS}	0.24**
P-HBVL									0.93**	0.94**	0.96**	0.26**	0.27**	0.23**	0.25**	0.20**	0.19**	0.18**	0.18**	-0.10**	0.16**
LEM-HBVL										0.86**	0.95**	0.30**	0.32**	0.25**	0.31**	0.19**	0.17**	0.16**	0.16**	0-0.27**	0.15**
LEME-HBVL											0.96**	0.24**	0.25**	0.22**	0.24**	0.17**	0.17**	0.16**	0.17**	0.06**	0.15**
AF-RFPC												0.96**	0.95**	0.68**	**0.74****	**0.80****	**0.82****	**0.76****	**0.80****	0.18**	**0.78****
LEM-RFPC													0.93**	0.68**	**0.73****	**0.77****	**0.78****	**0.73****	**0.76****	-0.17**	**0.75****
DF-RFPC														**0.71****	**0.83****	**0.83****	**0.85****	**0.79****	**0.83****	-0.17**	**0.82****
P-P															0.61**	0.67**	0.97**	0.94**	0.96**	-0.14**	**0.78****
LEME-P														0.57**	0.62**	0.94**	0.94**	1.00	0.98**	-*0.10**	**0.76****
IC-HBVL														-0.44**	0.04NS	0.03^{NS}	0.06**	0.06**	0.06**	**0.70****	0.03^{NS}
DF-P														0.60**	0.65**	0.96**	0.97**	0.97**	1.00	-0.10**	**0.79****

**: altamente significativo con Pd" 0.001; HBR: hojas de brotes reproductivos (P: Perímetro; LEM: Longitud del eje mayor; LEME: Longitud del eje menor ; DF Diámetro Feret); HBVC: Hojas de brotes vegetativos cortos (P: Perímetro; LEM: Longitud del eje mayor; LEME: Longitud del eje menor; DF: Diámetro Feret) ; HBVL: Hojas de brotes vegetativos largos (P: Perímetro; LEM: Longitud del eje mayor; LEME: Longitud del eje menor; DF: Diámetro Feret); RFPC: Receptáculo floral mas pedicelo mas cáliz (LEM: Longitud del eje mayor; DF: Diámetro Feret); LP: longitud del pedicelo de la flor; LR: longitud del receptáculo; P: Pétalos (P: Perímetro; LEM: Longitud del eje mayor; D: Diámetro feret); AB-HBVL: Ángulo basal; LE: longitud del estilo; AF-RFPC: Área; IC-HBVL: índice de compactación.

CUADRO 6. Eigen-vectores y correlaciones de variables originales en el análisis de componentes principales en la caracterización de 98 accesiones de tejocote (*Crataegus* spp.) del banco de germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo.

EP	Variables	ABV	Eigen-vector del ACP					Correlaciones del CP				
			CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Hojas de brotes reproductivos		HBR										
	Frecuencia estomática (estomas· mm^{-2})	FE	0.016	-0.063	-0.222	0.085	-0.070	0.077	-0.219	**-0.735**	0.193	-0.132
	Longitud del estoma (mm)	LE	-0.021	0.086	**0.215**	-0.036	0.054	-0.101	0.297	**0.713**	-0.082	0.102
	Distancia entre estomas más próximos (mm)	DEP	-0.028	0.046	**0.168**	-0.097	**0.155**	-0.133	0.157	**0.556**	-0.220	0.292
	Área foliar (cm^2)	AF	**0.148**	-0.158	0.083	0.074	0.005	**0.701**	-0.545	0.276	0.169	0.009
	Perímetro (cm)	P	**0.156**	-0.150	0.098	0.004	0.002	**0.739**	-0.518	0.326	0.009	0.003
	Longitud del eje mayor (cm)	LEM	**0.157**	-0.168	0.052	0.041	0.021	**0.747**	-0.580	0.171	0.093	0.040
	Longitud del eje menor (cm)	LEME	**0.147**	-0.133	**0.140**	0.021	-0.004	**0.700**	-0.459	0.464	0.048	-0.007
	Índice de alargamiento	IA	0.063	-0.114	-0.230	0.051	0.063	0.297	-0.392	**-0.762**	0.115	0.119
	Índice de Redondez	IR	-0.034	0.037	-0.059	**0.332**	0.020	-0.163	0.129	-0.196	**0.753**	0.038
	Diámetro feret	DF	**0.156**	-0.152	0.094	0.047	0.006	**0.739**	-0.525	0.311	0.107	0.012
	Índice de compactación	IC	-0.046	0.115	**0.233**	0.035	-0.073	-0.217	0.398	**0.774**	0.080	-0.138
	Ángulo apical (grados)	AP	0.024	0.103	**0.140**	0.112	-0.148	0.114	0.357	0.465	0.254	-0.279
	Ángulo basal (grados)	AB	0.000	0.031	**0.190**	**0.163**	-0.026	0.002	0.106	**0.630**	0.370	-0.049
	Longitud del pecíolo (cm)	LP	0.097	-0.130	**0.173**	-0.093	0.075	0.462	-0.450	**0.572**	-0.212	0.142
Hojas de brotes vegetativos cortos		HBVC										
	Área foliar (cm^2)	AF	**0.162**	-0.117	0.105	0.043	-0.037	**0.767**	-0.402	0.350	0.099	-0.069
	Perímetro (cm)	P	**0.158**	-0.096	**0.134**	-0.051	-0.047	**0.748**	-0.332	0.443	-0.115	-0.089
	Longitud del eje mayor (cm)	LEM	**0.172**	-0.134	0.050	0.001	-0.033	**0.815**	-0.462	0.165	0.003	-0.063
	Longitud del eje menor (cm)	LEME	**0.141**	-0.081	**0.180**	0.004	-0.042	0.669	-0.278	0.598	0.010	-0.079
	Índice de alargamiento (cm)	IA	0.057	-0.095	-0.241	0.000	0.015	0.273	-0.327	**-0.800**	-0.001	0.028
	Índice de redondez	IR	-0.009	-0.034	-0.075	**0.347**	0.047	-0.043	-0.117	-0.248	**0.787**	0.088
	Diámetro feret	DF	**0.162**	-0.111	0.123	0.016	-0.038	**0.771**	-0.382	0.407	0.037	-0.072
	Índice de compactación	IC	-0.055	0.105	**0.239**	0.058	-0.007	-0.259	0.361	**0.792**	0.131	-0.013
	Ángulo apical (grados)	AP	0.004	0.065	**0.168**	**0.171**	-0.019	0.019	0.223	**0.557**	0.387	-0.035
	Ángulo basal (grados)	AB	-0.048	0.103	**0.220**	0.066	-0.015	-0.229	0.355	**0.730**	0.149	-0.029
	Longitud del pecíolo (cm)	LP	0.110	-0.111	0.120	-0.175	0.037	0.521	-0.384	0.398	-0.397	0.070
Hojas de brotes vegetativos largos		HBVL										
	Área foliar (cm^2)	AF	**0.148**	-0.168	0.075	0.049	0.037	**0.703**	-0.579	0.250	0.110	0.070
	Perímetro (cm)	P	**0.151**	-0.154	0.096	-0.054	0.028	**0.718**	-0.530	0.318	-0.123	0.053
	Longitud del eje mayor (cm)	LEM	**0.155**	-0.178	0.025	0.003	0.034	**0.735**	-0.614	0.082	0.008	0.064
	Longitud del eje menor (cm)	LEME	**0.149**	-0.135	**0.139**	0.004	0.026	**0.708**	-0.467	0.462	0.010	0.050
	Índice de alargamiento	IA	0.065	-0.134	-0.216	-0.016	0.024	0.310	-0.462	**-0.718**	-0.036	0.046
	Índice de redondez	IR	0.000	-0.009	-0.073	**0.369**	0.013	0.000	-0.030	-0.242	**0.837**	0.024
	Diámetro feret	DF	**0.157**	-0.160	0.084	0.022	0.032	**0.744**	-0.550	0.279	0.050	0.060
	Índice de compactación	IC	-0.058	**0.131**	**0.224**	0.084	-0.003	-0.274	0.454	**0.741**	0.192	-0.006
	Ángulo apical (grados)	AP	-0.007	0.099	**0.182**	**0.127**	-0.044	-0.032	0.341	**0.603**	0.289	-0.082
	Ángulo basal (grados)	AB	-0.050	0.094	**0.203**	**0.136**	0.037	-0.236	0.323	**0.674**	0.309	0.069
	Longitud del pecíolo (cm)	LP	0.107	-0.150	0.119	-0.103	0.077	0.509	-0.517	0.396	-0.234	0.146
Hojas de brotes reproductivos		HBR										
	Número de dientes sobresalientes	NDS	-0.038	-0.001	0.021	-0.325	-0.179	-0.179	-0.004	0.068	**-0.737**	-0.338
	Número de venas	NV	0.121	-0.104	-0.106	0.118	0.026	0.575	-0.359	-0.350	0.267	0.048
Hojas de brotes vegetativos cortos		HBVC										
	Número de venas	NV	0.136	-0.098	-0.068	**0.157**	-0.056	0.645	-0.340	-0.225	0.355	-0.106
Receptáculo floral mas pedicelo mas cáliz		RFPC										
	Área (cm)	AF	**0.180**	0.104	-0.063	0.061	0.008	**0.855**	0.359	-0.209	0.139	0.015

Perímetro (cm)	P	**0.177**	0.123	-0.056	-0.016	0.057	**0.841**	0.423	-0.185	-0.037	0.107
Longitud del eje mayor (cm)	LEM	**0.179**	0.113	-0.060	-0.003	0.056	**0.850**	0.390	-0.200	-0.006	0.107
Longitud del eje menor (cm)	LEME	**0.174**	0.133	-0.061	-0.003	-0.007	**0.825**	0.458	-0.203	-0.007	-0.013
Índice de alargamiento	IA	0.015	-0.044	-0.002	-0.010	**0.214**	0.069	-0.153	-0.006	-0.024	0.404
Índice de Redondez	IR	-0.111	-0.114	0.025	**0.201**	-0.157	-0.526	-0.395	0.085	0.456	-0.297
Diámetro feret	DF	**0.178**	0.121	-0.067	0.048	0.006	**0.847**	0.417	-0.221	0.109	0.011
Índice de compactación	IC	-0.065	-0.040	0.011	**0.181**	-0.189	-0.311	-0.137	0.037	0.410	-0.357
Longitud de receptáculo mas pedicelo (cm)	LRP	**0.180**	0.108	-0.055	-0.001	0.061	**0.852**	0.371	-0.182	-0.002	0.115
Longitud del pedicelo (cm)	LP	**0.173**	0.110	-0.043	-0.027	0.083	**0.819**	0.378	-0.142	-0.061	0.157
Longitud del receptáculo (cm)	LR	**0.174**	0.088	-0.079	0.068	-0.006	**0.828**	0.304	-0.263	0.154	-0.011
Pétalos de la flor	PF										
Área (cm)	AF	**0.155**	**0.168**	-0.033	-0.063	0.026	**0.735**	0.579	-0.108	-0.142	0.049
Perímetro (cm)	P	**0.162**	**0.156**	-0.049	-0.075	-0.018	**0.767**	0.537	-0.164	-0.171	-0.034
Longitud del eje mayor (cm)	LEM	**0.159**	**0.165**	-0.047	-0.070	0.003	**0.756**	0.568	-0.155	-0.158	0.006
Longitud del eje menor (cm)	LEME	**0.156**	**0.167**	-0.038	-0.069	0.020	**0.739**	0.576	-0.126	-0.157	0.037
Índice de alargamiento	IA	-0.011	-0.061	-0.052	0.018	-0.114	-0.054	-0.209	-0.172	0.041	-0.215
Índice de redondez	IR	-0.076	0.064	0.092	0.086	**0.246**	-0.359	0.220	0.306	0.195	0.464
Diámetro feret	DF	0.156	0.170	-0.037	-0.068	0.017	**0.743**	0.586	-0.123	-0.153	0.031
Índice de compactación	IC	-0.032	0.045	0.100	0.038	**0.153**	-0.151	0.156	0.331	0.086	0.289
Estructuras de flor	EF										
Número de pétalos por flor (cm)	NP	0.081	-0.061	-0.051	**0.114**	-0.043	0.385	-0.211	-0.170	0.258	-0.081
Longitud del estilo (cm)	LE	**0.144**	**0.164**	-0.034	0.007	-0.027	0.684	**0.566**	-0.113	0.015	-0.051
Número de estilo	NE	0.092	**0.123**	-0.041	-0.062	-0.082	0.436	0.425	-0.137	-0.141	-0.154
Longitud de la flor (cm)	LF	0.077	-0.049	-0.043	**0.115**	0.085	0.365	-0.170	-0.143	0.261	0.160
Número de estambres	NE	0.055	-0.020	-0.025	**0.259**	**0.158**	0.260	-0.068	-0.081	**0.588**	0.298
Número de brácteas	NB	-0.005	0.070	-0.014	**0.159**	**0.129**	-0.022	0.241	-0.046	0.361	0.244
Estambres	ET										
Área (cm)	AF	**0.131**	**0.146**	0.051	0.031	-0.206	**0.623**	0.504	0.171	0.071	-0.389
Perímetro (cm)	P	**0.136**	**0.155**	0.027	0.044	-0.144	**0.644**	0.536	0.091	0.099	-0.273
Longitud del eje mayor (cm)	LEM	**0.131**	**0.171**	0.033	0.027	-0.080	**0.624**	0.590	0.111	0.061	-0.152
Longitud del eje menor (cm)	LEME	0.106	**0.102**	0.015	0.008	**-0.341**	0.503	0.351	0.051	0.018	**-0.644**
Índice de alargamiento	IA-ET	0.013	0.075	0.010	-0.037	**0.359**	0.061	0.259	0.033	-0.085	**0.678**
Índice de redondez	IR	-0.108	-0.108	0.040	-0.038	-0.170	-0.513	-0.372	0.131	-0.085	-0.321
Diámetro feret	DF	**0.127**	**0.156**	0.039	0.026	-0.191	0.601	0.540	0.128	0.059	-0.361
Índice de compactación	IC	-0.070	-0.134	0.005	0.023	-0.292	-0.330	-0.461	0.015	0.051	**-0.552**
Floración	FR										
Número de inflorescencias	NI	-0.065	-0.052	0.112	-0.046	0.060	-0.308	-0.178	0.371	-0.105	0.114
Número de flores por inflorescencia	NFI	-0.035	-0.034	0.025	-0.153	0.124	-0.166	-0.118	0.084	-0.346	0.234
Amarre de fruto	A										
Amarre de frutos en tamaño canica (%)	AFTC	0.004	0.088	0.040	0.055	**0.222**	0.021	0.304	0.132	0.126	0.420
Amarre de frutos en madurez fisiológica (%)	PFMF	0.002	0.085	0.041	0.049	**0.228**	0.012	0.292	0.136	0.111	0.431

EP: estructura de la planta; ABV: Abreviación; En negrita las correlaciones r≤0.5 y: altamente significativo a una *P*≥0.001

cortos con las variables área, perímetro, longitud del eje mayor, diámetro feret; seguida de la estructura pétalos de flor con las variables área, perímetro, longitud del eje mayor y menor, diámetro feret; la estructura, hojas de brotes vegetativos largos y cortos, las variables que contribuyeron en este componente fueron: área, perímetro, longitud del eje mayor y menor, diámetro feret.

El segundo componente que concentró el 15.64 % de la variabilidad total, estuvo formado principalmente por estructuras de la flor, destacando la longitud del eje mayor de los estambres, diámetro feret de los pétalos, área y longitud del eje menor de los pétalos y longitud de estilos. El tercer componente principal con el 14.47 % de la variabilidad total lo constituyeron las variables: índice de compactación de hojas de brotes vegetativos cortos, brotes reproductivos y brotes vegetativos largos, en sus caracteres longitud de estomas de brotes reproductivos, ángulo basal

de hojas de los brotes vegetativos largos, y brotes reproductivos, longitud de pecíolo de hojas de brotes reproductivos, ángulo apical de hojas de brotes vegetativos cortos, y distancia entre estomas más próximos. El cuarto componente principal que concentró el 6.77 %, estuvo conformado por las variables índice de redondez de hojas de brotes vegetativos largos, brotes vegetativos cortos, y brotes reproductivos, y número de estambres. El quinto y último componente principal (4.69 %) para este análisis estuvo formado por la variable índice de alargamiento de estambres, índice redondez de los pétalos, amarre de frutos en tamaño "canica" y madurez fisiológica (Cuadro 6).

El criterio para la correlaciones de *Pearson* obtenido del análisis de componentes principales con niveles altamente significativas ($P \leq 0.01$) y con valores de correlación re"0.5. El componente principal 1 (CP1) está altamente correlacionado con el receptáculo floral, en sus variables área, perímetro y longitud del eje mayor; además de correlación de la CP1 con longitud del pedicelo, longitud del eje mayor del brote vegetativo corto; la estructura pétalo de la flor en sus variables área, perímetro, longitud del eje mayor y menor y diámetro feret; y los caracteres de área, perímetro, longitud del eje mayor y menor las estructuras brotes vegetativos cortos, brotes vegetativos largos y brote reproductivo. Todas estas variables definen al primer componente principal.

El segundo componente principal (CP2) está correlacionado con la longitud del eje mayor y menor de los estambres y número de estilos. El tercer componente (CP3) se correlaciona principalmente con el índice de compactación, ángulo apical y basal los tres tipos de hojas. El componente principal 4 (CP4) está correlacionada con el índice de redondez de las hojas y el número de estambres. El quinto componente (CP5) se correlaciona sólo con la variable alargamiento de estambres.

De los métodos utilizados para la selección de variables: análisis de varianza, coeficiente de variación, selección por pasos propuesto por Johnson (1998), coeficiente de correlación con datos originales, análisis de componentes principales y correlación de las variables con componentes principales, por sí solas no son suficientes para la selección de variables que puedan ser suficientes para la caracterización morfológica y definición de los descriptores del tejocote (*Crataegus*); por lo que de acuerdo con estos resultados, es necesario hacer uso de dos más métodos, junto con la experiencia del investigador para darle mayor certidumbre y confiabilidad a la selección de variables.

CONCLUSIONES

1. De los métodos utilizados para la selección de variables morfológicas de estructuras del tejocote para la caracterización y definición de los descriptores del tejocote (*Crataegus*), los que más aportaron, fueron: coeficiente de variación, análisis de componentes principales y su correlación de *Pearson*, ya que mediante estos métodos, de las 76 variables analizadas, solo 35 de ellas fueron seleccionadas.

2. Las variables discriminantes son: perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de alargamiento, diámetro feret, índice de compactación, ángulo basal y número de nervaduras de hojas de brotes reproductivos; perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de alargamiento, diámetro feret, índice de compactación, ángulo apical, basal y número de venas de hojas de brotes vegetativos cortos; perímetro, longitud del eje mayor y menor, alargamiento, diámetro feret, índice de compactación, ángulo apical y basal de hojas de brotes vegetativos largos; frecuencia estomática y longitud de los estomas de las hojas de brotes reproductivos; y la longitud del pedicelo, longitud del receptáculo; pétalos: perímetro y diámetro feret; longitud del estilo; estambres: perímetro, longitud del eje mayor y diámetro feret de la flor.

LITERATURA CITADA

ANÓNIMO. 1995. Descriptores para aguacate (*Persea* spp). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Roma, Italia. 54 p.

BORYS, M. W. 1989. Valor ecológico de tejocote (*Crataegus* spp). Congreso "La Era Ecológica". Resumen. Puebla, Puebla, México. pp. 11-24.

BORYS M. W.; LESZCZÑSKA-BORYS, H. 1994. Tejocote (*Crataegus* spp.) plantas para solares, macetas e interiores. Revista Chapingo Serie Horticultura 1(2): 95-107.

EASTMENT, H. T.; KRZANOWSKI, W. J. 1982. Cross-validatory choice of the number componests from a principal componet analysis. Technometrics 24(1): 73-77.

EGGLESTON, W. W. 1909 Crataegi of Mexico and Central America. Bull. Torrey Bot. Club 36: 501-514

FRANCO, T. L.; HIDALGO, R. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. FRANCO, T. L.; HIDALGO, R. (eds.). Boletín Técnico Núm. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.

GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Edit. UNAM. D. F., México. 246 p.

GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. 2001. Caracterización morfológica, pp. 199-217. *In:* Conservación y Caracterización de Recursos Fitogenéticos; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; PITA VILLAMIL, J. M. (eds.). Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola INEA con la colaboración de la Caja Rural del Duero. Valladolid, España.

HORT, A. F. 1916 (traductor). Theophrastus. 372-287 B. C. Enquiry into plants. Vol. II, Books 6-9, Harvard University Press, Cambridge. Harvard University Press, New York. U.S.A.

JOLLIFFE, I. T. 1973. Discarding variables in a principal components analysis. I: Artificial data. Applied Statistics. Journal of the Royal Statistical Society, Ser. 21: 21-31.

JOHNSON, D. E. 1998. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Traducido por H. Pérez castellanos. International Thomson Editores. México D. F., México. pp. 93-146, 217-286.

NIETO-ÁNGEL, R.; BORYS, M. W. 1991. El tejocote (*Crataegus* spp.) en México, pp. 309-329. *In*: Avances en el Estudio de los Recursos Filogenéticos en México. ORTEGA P. R.; PALOMIO H., G.; CASTILLO G., F.; GONZÁLEZ H., V. A.; LIVERA M., M. (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. (SOMEFI), Chapingo, México.

NIETO-ANGEL, R.; BORYS, M. W. 1993. El tejocote (*Crataegus* spp); un potencial frutícola de zonas templadas. Revista Fruticultura Profesional 54: 64-71.

NIETO-ÁNGEL., R.; BORYS, M. W. 1999. Relaciones fisiológicas y morfológicas de injertos frutales sobre tejocote (*Crataegus* spp.) como portainjerto. Revista Chapingo Serie Horticultura 5(2): 137-150.

PHIPPS, J. B. 1983. Biographic taxonomic and cladistic relationships between East Asiatic and North American Crataegus. Ann. Missouri Bot. Gard. 70: 667-700.

PHIPPS, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae, Subfam. Maloideae). SIDA Botanical Miscellany 15. Botanical Research Institute of Texas, Fort Worth, Texas, USA. 94 p.

PLA, L. E. 1986. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Departamento de Producción Vegetal, Área de Ciencias del Agro y Mar, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Falcón, Venezuela. 79 p.

QUEROL L., D. 1988. Recursos Genéticos, Nuestro Tesoro Olvidado. Aproximación técnica y socioeconómica. Industrial Gráfica S.A., Lima, Perú. 218 p.

YUMING, Z.; XIAOGUI, X. 1995. Characters identification and evaluation of *Cataegus* resources and screening of superior germplasms. Acta Horticulturae 403: 51-54.

WILCOX C., D.; DOVE, B.; DOSS, W. M.; GREER, D. B. 2002. UTHSCSA Image Tool. IT Version 3.0. Edit. Department of Dental Diagnostic Science. University of Texas Health Science Center, San Antonio, Texas, USA. 57 p.