

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

DOCTORADO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

**VARIABILIDAD INTER E INTRA ESPECÍFICA DEL
GERMOPLASMA DE TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) DEL
CENTRO Y SUR DE MÉXICO**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

CARLOS ALBERTO NÚÑEZ COLÍN

CHAPINGO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2008.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura

VARIABILIDAD INTER E INTRA ESPECÍFICA DEL GERMOPLASMA DE

TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO

Tesis realizada por Carlos Alberto Núñez Colín, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____

Dr. Raúl Nieto Ángel.

ASESOR: _____

Dr. Jaime Sahagún Castellanos.

ASESOR: _____

Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego.

ASESOR: _____

Dr. Sergio Damián Segura Ledesma.

ASESOR: _____

Dr. Fernando González Andrés.

LECTOR EXTERNO: _____

Dr. Clemente Gallegos Vásquez.

Chapingo, México a diciembre de 2008.

DATOS BIOGRÁFICOS

El Autor de la presente tesis, Carlos Alberto Núñez Colín, Maestro en Ciencias en Horticultura, es originario de la ciudad de Toluca de Lerdo, Estado de México, lugar donde nació el 15 de Abril de 1978. La educación media superior la realizó en la Preparatoria número cinco “Ángel María Garibay Kintana” dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, en la misma ciudad entre los años 1993 y 1996, curso el Propedéutico de Preparatoria Agrícola en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo entre los años 1996 y 1997, los estudios de licenciatura los llevo a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo entre los años 1997 y 2001. Titulándose el día 4 de Diciembre de 2001 con el trabajo de tesis titulado “Obtención de plantas a partir de estacas en verde del membrillero, durazno y tejocote mediante el uso de auxinas” obteniendo un veredicto en el examen profesional de “aprobado por unanimidad de votos con felicitación”, los estudios de maestría en ciencias en horticultura los llevo a cabo en el Instituto de Horticultura, del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo entre enero del 2002 y diciembre de 2003. Titulandose el día 14 de Abril de 2004 con el trabajo de tesis titulado “Anatomía de los sistemas de conducción de agua y estomático de diferentes genotipos de duraznero” obteniendo un veredicto en el examen de grado de “aprobado por unanimidad de votos con mención honorífica”. Ha escrito y publicado varios artículos científicos en revistas especializadas en México y en el extranjero. Así como ha participado en diversos Congresos nacionales e internacionales en Brasil, Costa Rica, Puerto Rico, Republica Dominicana, Estados Unidos, Tanzania y en nuestro País.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica, todos los apoyos otorgados para divulgar mis investigaciones, y cumplir con una meta más en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado en este grado académico.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos, por sus consejos y sobre todo por el apoyo que desde hace ya algunos años ha tenido conmigo para poder concluir esta etapa de mi vida y el presente trabajo.

Al Dr. Alejandro Barrientos Priego, por la amistad, la confianza, la paciencia, el apoyo y los consejos brindados así como sus observaciones para la conclusión del presente trabajo.

Al Dr. Sergio Segura, por sus consejos y el apoyo para poder concluir el presente trabajo.

Al Dr. Fernando González Andrés, por la amistad, la confianza, la paciencia, el apoyo y los consejos brindados así como sus observaciones para la conclusión del presente trabajo.

Al Dr. Clemente Gallegos, por sus comentarios para poder concluir el presente trabajo

A los profesores del Posgrado en Horticultura, por sus consejos personales y profesionales tanto dentro como fuera de los cursos.

A todos mis compañeros del posgrado tanto de maestría como de doctorado, por hacer mi estancia y mis estudios más fáciles y alegres, por las parrandas, los convivios y épocas de estudio.

DEDICATORIAS

A Dios, la vida y el destino por ponerme en este camino y seguir cumpliendo mis metas.

A mi Abuela Sofía (†), una dedicatoria post mortem y gracias por haberme enseñado a ser el mejor en la vida, mil gracias por todos tus consejos, llantos, alegrías y por todo el amor que me diste.

A mis Padres Rafael y Aideé por el amor, la paciencia, la confianza y apoyo para alcanzar una meta más en mi vida, y sobre todo por poder sentir su satisfacción de mi éxito.

A mi abuelo paterno Leopoldo y a mi abuela materna Antonia por todo el apoyo incondicional en todos sentidos que han tenido conmigo para seguir adelante en la vida.

A mis hermanos Rafael y Jimena por todo el amor y el tiempo que compartimos.

A mis tíos Ana (†) (mi segunda madre), Alberto (†) y Conrrada (†) donde quiera que estén y a mi tía Teresa la única tía que me queda con vida. Y a todos mis parientes conocidos por tener una familia unida.

A la Lic. Martha Villalobos, mi psicóloga de cabecera por su amistad y consejos en mi vida.

A mis amiguísimos Paco Guerra, Fer Martínez y familias por su amistad hasta el día de hoy.

A Dalinda Sánchez, mi amor, mi compañera, mi amante, gracias por todo el tiempo que hemos pasado y el que vamos a pasar y sobre todo mil gracias por hacerme sentir vivo.

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	vii
GENERAL ABSTRACT	vii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPITULO I. El “Problema <i>Crataegus</i> ” y la Taxonomía de los Recursos Genéticos de Tejocote (<i>Crataegus</i> spp.) En México	12
CAPITULO II Distribución y Caracterización Eco-Climática del Género <i>Crataegus</i> (Rosaceae subfam. Maloideae) en México	32
CAPITULO III Variability of Three Regional Sources of Germplasm of Tejocote (<i>Crataegus</i> spp.) from Central and Southern Mexico (en inglés)	51
CAPITULO IV Morphological Characterization to Elucidate the Taxonomy of the Central and Southern Mexican <i>Crataegus</i> L. (Rosaceae) (en inglés)	81
CAPITULO V Identification of Morphometric Traits for Screening of Tejocote (<i>Crataegus</i> Spp.) Germplasm for Better Yield Potential (en inglés)	102
DISCUSIÓN GENERAL	118

RESUMEN GENERAL

El tejocote (*Crataegus* spp.) es un recurso genético nativo de México con un enorme potencial para ser usado como frutal y para un uso industrial y farmacéutico. Lamentablemente este recurso genético presenta serias complicaciones taxonómicas y una amplia variabilidad, lo que dificulta su estudio y limita la generalización de los resultados de investigación. Por lo que la presente tesis tuvo como objetivos: 1. Explicar el problema de la taxonomía del género y hacer una crítica del sistema mexicano de identificación de especies. 2. Determinar la distribución del género *Crataegus* en México. 3. Determinar si existen uno o diversos acervos genéticos de las accesiones de Tejocote del centro y sur de México. 4. Determinar la variabilidad intra e inter específica de las accesiones de Tejocote del centro y sur de México. 5. Tratar de obtener un índice de selección para colaborar en la recolección de germoplasma frutícola superior del género. Se encontró que las claves taxonómicas existentes no son suficientes para la determinación de especies de este género y que no existen especialistas en México para dicha tarea. Se encontraron tres diferentes zonas eco-climáticas donde se desarrolla este género y en el banco de gemoplasma de Chapingo no se encuentran establecidos ejemplares del noreste de México. En el centro y sur de México se encuentran 2 acervos genéticos y al menos 5 diferentes especies, de las que al menos una no esta reportada en la literatura. Se logró establecer un índice de selección basado en las características de hoja correlacionadas con el peso del fruto para la selección de germoplasma frutícola superior

Palabras clave: Caracterización, Diversidad, GIS, Taxonomía, Sistemática, Recursos fitogenéticos.

GENERAL ABSTRACT

The Tejocote (*Crataegus* spp.) is a genetic resource native to Mexico a huge potential to be used as a fruit and for industrial and pharmaceutical use. Unfortunately, this genetic resource presents serious taxonomic complications and a high variability, which makes them difficult to study and limits the generalization of research results. Because that, this thesis had as objectives: 1. Explain the problem of taxonomy of the genus and a critique of the Mexican system to identification of species. 2. Determine the distribution of the genus *Crataegus* in Mexico. 3. Determine if there are one or several genetic pools into the accessions of Tejocote of central and southern Mexico. 4. To determine the intra and inter-specific variability from accessions of Tejocote of central and southern Mexico. 5. Trying to get a selection index to assist in the collection of superior germplasm of fruit use in this genus. It was found that the existing taxonomic keys are not sufficient for the determination of species in this genus, and that there are not specialists in Mexico for the task. We found three different eco-climatic zones where it develops this genus and in the bank of gemoplasma of Chapingo are not provided accessions of northeastern Mexico. In the central and southern Mexico are 2 genetic pools and at least 5 different species, of which at least one is not reported in the literature. Were able to establish a selection index based on the characteristics of the leaves correlated with the weight of the fruit for the selection superior germplasm of fruit use

Keywords: Characterization, Diversity, GIS, Taxonomy, Systematics, Plant Genetic Resources.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Crataegus* es el más extenso en cuanto a especies de los géneros de plantas leñosas en Norte América además es el taxonómicamente más complejo, esto principalmente debido a sus distintas complicaciones reproductivas, este género pertenece a la familia Rosaceae subfamilia Maloideae; está constituido, aproximadamente, por 140 especies en todo el mundo, las cuales están divididas en 40 series taxonómicas. Aproximadamente dos terceras partes de las especies se encuentran en Norte América y el resto en Europa y Asia. Este género solo se encuentra de manera natural en el Hemisferio Norte (Phipps, *et al.*, 2003). El género *Crataegus* en México, por lo menos para la zona norte, está constituido por 13 especies, de las cuales 9 especies son endémicas (Phipps, 1997), para el sur solo se reportan 2 especies (Eggleston, 1909), pero pueden existir más (Núñez-Colín *et al.*, 2004)

Como ya se mencionó, la taxonomía del género es sumamente complicada por sus complicaciones reproductivas, tales como diferentes niveles de ploidía (2x, 3x, 4x, 5x, y 6x; con $x = 17$; Talent y Dickinson, 2005), agamospermia estéril masculina, hibridismo (Grant, 1989, Talent y Dickinson, 2007b), apomixis, que en el caso del género, esta controlado genéticamente, esta es aposporea, o raramente diplosporea (Muniyamma y Phipps, 1979; Talent y Dickinson, 2007a, 2007b), pseudogamia y autoincompatibilidad gamatofítica (como en el caso de la manzana) (Phipps *et al.*, 2003).

Aunado a lo descrito anteriormente, el periodo de floración es sumamente corto en la mayoría de las especies a nivel mundial, típicamente todas las flores abren en una semana, lo que complica mucho la polinización (Phipps *et al.*, 2003), y esto ocasiona que muchas de las

especies no presenten semilla aunque exista fruto formado y desarrollo de endocarpio (Pérez-Ortega, 2004)

Por lo que, por los problemas mencionados anteriormente, en el caso del género *Crataegus*, se trata de numerosas especies (se habla de microespecies) fuertemente interrelacionadas morfológicamente, lo que hace difícil el tratamiento taxonómico satisfactorio (Grant, 1989).

El nombre más común en México para especies del género *Crataegus* es el de “Tejocote”, derivado del Náhuatl, en la que “te-xocotl” significa fruta agria silvestre o dura; los Náhuatl le llamaban “texococuahutl”, que corresponde a lo que los conquistadores reportaron como árbol de manzano de las Indias (Cabrera, 1992). Desde la época prehispánica en México, el tejocote fue aprovechado por recolección y plantado en solares de los pueblos indígenas, siendo sus frutos empleados para el consumo humano, posteriormente fue objeto de una actividad frutícola organizada (Nieto-Ángel y Borys, 1993). Las especies del género *Crataegus*, desde el punto de vista cultural y comercial son utilizadas en las fiestas de “todos santos” y Navidad sobre todo en la elaboración de ponches y dentro de las piñatas, una parte importante en la cultura tradicional mexicana (Borys y Leszczyńska-Borys, 1994).

La primera descripción de la taxonomía para el género en México la realizó Eggleston (1909) a principios de siglo, donde reportó 8 especies diferentes, interesantemente este autor reconoció que *C. pubescens* (H. B. K.) Steud. era diferente de *C. mexicana* DC., y es curioso que este incidente fue pasado por alto hasta hoy en día, dando a estas especies como una sinonimia por la mayoría de los taxónomos mexicanos, El estudio taxonómico más reciente sobre el género *Crataegus* fue realizado por Phipps (1997) pero hecho solamente para el

centro y norte de México, donde reporta 13 especies de las cuales 9 son endémicas, pero en la zona sur no hay estudios sobre la taxonomía del género; sobre todo falta colecta e inventario en los estados de Chiapas, Veracruz, Guerrero, Morelos y Oaxaca, al parecer se pueden encontrar especies perteneciente a las series *Mexicanae* y *Crus-galli*, puesto que solo hay reportado especies como *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud., *C. pubescens* (correctamente referido como *C. gracilior* Phipps) y *C. nelsoni* Eggl., ubicadas por Phipps *et al.* (1990) dentro de estas series. Aunque en el Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) *ex situ* e *in vivo* de Tejocote (*Crataegus* spp.) se tienen accesiones de Chiapas que podrían ser especies, subespecies o variedades botánicas nuevas (Núñez-Colín *et al.*, 2004).

Las colectas del género *Crataegus* establecidas en el Banco de Germoplasma *ex situ* e *in vivo* de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México se iniciaron en 1981 (Nieto-Ángel & Borys, 1992) que fueron realizadas en la zona de los altos de Chiapas, cerca de San Cristóbal de las Casas, la zona este del Estado de México, alrededor del área de Texcoco, y en la zona Centro Occidente del Estado de Puebla, aledaño a las localidades de Calpan y Huejotzingo; es decir, en las zonas centro y sur de México (Borys & Vega-Cuen, 1984).

Esta línea de investigación de la UACH ha realizado diversos trabajos de caracterización morfológica, sin un fin determinado, por lo que no se ha resuelto el problema taxonómico, sin tener definidas las especies taxonómicas en resguardo, por lo tanto se desconoce la riqueza resguardada en dicho banco de germoplasma, tampoco se tienen datos de relaciones genéticas, ni parámetros de selección de germoplasma.

Borys y Vega-Cuen (1984) reportan que en el Banco de Germoplasma de Tejocote solo existen variantes de *C. pubescens* y probablemente *C. nelsoni* en accesiones de Chiapas, algo de lo que en particular, existe un distanciamiento con la realidad, puesto que Eggleston (1909) reporta que existe para Chiapas las especies *C. stipulosas* y *C. nelsoni*, no *C. pubescens*; en el presente trabajo se revisará si el trabajo de Phipps (1997) resuelve el problema taxonómico del banco de germoplasma con sus claves de identificación, sin embargo Phipps *et al.* (2003) menciona que *C. stipulosas* (H. B. K.) Steud. es una sinonimia de *C. mexicana* DC., caso del cual parece que no es del todo correcto, debido a que *C. stipulosas* (H. B. K.) Steud. parece ser más parecido a especies de la serie *Crus-galli*, esta consideración es tomada de esta manera, porque esta especie fue descrita por Humboldt *et al.* (1824) con ejemplares de Ecuador como un *Mespilus*, los que más tarde Steudel (1841) reclasificó como *Crataegus*, y son los mismos ejemplares que Phipps *et al.* (2003) reportan como materiales silvestres de *C. mexicana* DC.; pero no hay ninguna seguridad que los materiales de Chiapas y Guatemala reportados por Eggleston (1909) con este nombre sean los mismos que dichos ejemplares sudamericanos al igual que *C. nelsoni*, parece tener más caracteres similares de las serie *Crus-galli* lo que contradiría a Phipps *et al.* (1990) que la acomoda dentro de la serie *Mexicanae*. Mientras que los ejemplares de los estados de México y Puebla parecen ser poblaciones de *C. mexicana* DC. y *C. gracilior* Phipps (que es el nombre correcto de *C. pubescens* (H. B. K.) Steud.)

Los diversos usos que se le puede dar al tejocote (sobre todo a *C. mexicana*, que es el tejocote comercial en México así como algunas variantes de *C. gracilior*, pero también se comercializan algunas otras especies) son:

Alimenticio: El mayor componente de la pulpa de tejocote es agua (82.22 %), carbohidratos (10.54 %), proteína y grasa presenta valores de 1.58 % y 0.09 % respectivamente. Éste fruto es básicamente una fuente de energía. El contenido de calcio es de 94 mg, fósforo de 33 mg, y hierro de 1.54 mg en 100 g de pulpa. Su contenido de vitamina C y de potasio puede alcanzar valores de hasta 3,000 a 200 mg, respectivamente (Higareda-Ruiz *et al.*, 1995), también presenta 211 $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de RAE (Retinol puro, es decir vitamina A). Su consumo es en fresco (sobre todo dentro de las piñatas), en ponche (infusión del fruto con otros ingredientes) además en ates, compotas, mermeladas y jaleas (Borys, 1989).

Ecológico: Su estructura y arquitectura morfológica de la copa facilita o hace posible la vida silvestre, lo anterior aunado a la gran exploración de la raíz protegen el suelo de la erosión, en territorios de poca fertilidad y de extendidos periodos de sequía asegura los componente nutritivos para la gente de pocos recursos, además de un ingreso anual mínimo, así como de leña e incluso la madera para muebles. Esta planta también nos brinda un acento muy alegre, primaveral y otoñal (Borys, 1989).

Hortícola: Por su gran variabilidad genotípica, este género presenta un amplio potencial para utilizarlo como portainjerto en diferentes especies, principalmente en pera o en el mismo tejocote, aunque también puede emplearse en manzano, membrillo, níspero, y fresno montañoso. Es una alternativa utilizarlo para establecer especies y cultivares que no se adaptan a condiciones adversas de suelo y clima (Westwood, 1982).

Pecuario: En México, 200 años atrás se ha utilizado el tejocote para alimentar los cerdos como forraje equivalente a la alfalfa. En diferentes Estados del país las vacas, ovinos, porcinos

y caprinos principalmente, se alimentan con follaje o frutos de tejocote con éxito y de gusto (Borys Leszczyńska-Borys, 2001). La fruta de tejocote tiene aproximadamente la mismas características forrajeras que el maíz (Borys, 1989).

Industrial: Aunque la composición química del fruto de tejocote no ha sido suficientemente analizada, los pocos estudios hechos en México, indican la posibilidad de extracción de pectinas, dado que se obtienen 30 kg en una tonelada de fruta fresca, de vitamina C (40-140 mg/100 g), carbohidratos, proteínas, carotenos y una gran cantidad de compuestos químicos; también podría ampliarse la industrialización de fruto a la obtención de jaleas, compotas, ates, almíbar y mermeladas (Nieto Ángel, 2000).

Medicinal: La diversidad genética que presenta el género *Crataegus* en nuestro país, hace que el fruto, la hoja, la flor y la corteza de la raíz, tomada en forma de té, tenga un alto valor curativo en padecimientos del corazón y de tos, sin embargo es todavía más eficiente su poder curativo si se combina con miel de abeja (Nieto Ángel y Borys, 1993). Incluso en especies chinas del género, los flavonoides son utilizados para el control del Alzheimer (Zhang *et al.*, 2004)

Ornamental: Por su estructura morfológica de la copa, coloración de las flores y frutos, intensidad de fructificación, así como el periodo prolongado de fructificación, se sugiere utilizar al tejocote para embellecer al paisaje de áreas verdes de las zonas urbanas, en diseño de setos en jardines; esta planta es un buen elemento que enriquece el ambiente y paisaje forestal de los campesinos, al igual que el de las vivienda de los capitalinos o de las grandes aglomeraciones (Nieto Ángel y Borys, 1993).

Energético: En general todo el árbol es de muy buena calidad para emplearlo como combustible. En la región de Huejotzingo, principalmente en los pueblos y Municipios (Domingo Arenas) ubicados en la falda del Iztaccihuatl, es muy preferido como combustible para los baños de temazcal, pero la gente opta más por los de tipo criollo (Luna Botello, 2004).

Por la importancia que tiene este género en México y por todos los problemas taxonómicos, genéticos y ambientales se establecieron los siguientes objetivos

OBJETIVOS:

1. Determinar las identificaciones taxonómicas de las accesiones de Tejocote (*Crataegus* spp.) del centro y sur de México (de los estados de Chiapas, México y Puebla) Explicar el problema de la taxonomía del género y hacer una crítica del sistema mexicano de identificación de especies de este tipo
2. Determinar la distribución del género *Crataegus* en México.
3. Determinar si existen uno o diversos acervos genéticos de las accesiones de Tejocote (*Crataegus* spp.) del centro y sur de México (de los estados de Chiapas, México y Puebla)
4. Determinar la variabilidad intra e inter específica de las accesiones de Tejocote (*Crataegus* spp.) del centro y sur de México (de los estados de Chiapas, México y Puebla)
5. Determinar las relaciones genéticas entre especies, series y orígenes de las accesiones de Tejocote (*Crataegus* spp.) del centro y sur de México (de los estados de Chiapas, México y Puebla)

6. Tratar de obtener un índice de selección para colaborar en la recolección de germoplasma frutícola superior del género, sobre todo para *C. mexicana* DC., especie más comercial en México.

Teniendo las siguientes hipótesis:

1. Existen más de 2 especies taxonómicas en las accesiones de Tejocote (*Crataegus* spp.) del centro y sur de México (de los estados de Chiapas, México y Puebla)
2. La variabilidad encontrada será mayormente inter específica
3. Existen más de un acervo genético en accesiones de Tejocote (*Crataegus* spp.) del centro y sur de México (de los estados de Chiapas, México y Puebla)
4. Existen relaciones genéticas estrechas sobre especies y mayormente en series pero no en orígenes.
5. Se puede obtener un índice de selección basado en correlaciones de caracteres de fácil medición.

LITERATURA CITADA

- BORYS, M. W. 1989. Valor ecológico del tejocote (*Crataegus* spp). Congreso “La Era Ecológica” Resumen, Puebla, Pue. México. pp. 11-24
- BORYS, M. W.; LESZCZYŃSKA-BORYS, H. 1994. Tejocote (*Crataegus* spp.) – planta para solares, macetas e interiores. Revista Chapingo Serie Horticultura 1 (2): 95-107
- BORYS, M. W.; LESZCZYŃSKA-BORYS, H. 2001. El potencial genético frutícola de la república mexicana. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, México. 99 p.

- BORYS, M. W.; VEGA-CUEN, A. 1984. Selección de tipos de tejocote (*Crataegus pubescens* H. B. K.) en los Estados de Chiapas, Puebla y México. Revista Chapingo 44-45: 193-199
- CABRERA, L. G. 1992. Diccionario de Aztequismos. Ediciones Colofón. D. F., México. 166 p.
- EGGLESTON, W. W. 1909. The *Crataegi* of Mexico and Central America. Bull. Torrey Bot. Club 36: 501-514
- GRANT, V. 1989. Especiación Vegetal. Traducido por Crabtree, E. 1ª Edición, Editorial LIMUSA. D. F., México. 587 p.
- HIGAREDA-RUIZ, A.; SALAZAR-MONTOYA, J. A.; RAMOS, G. E. 1995. Conservación poscosecha del tejocote. Revista Chapingo Serie Horticultura 4: 161-163
- HUMBOLDT, F. H. A. VON; BONPLAND, A. J. A. G.; KUNTH, C. S. 1824. Nova Genera et Species Plantarum vol. 6. Lutetiae Parisiorum: sumtibus Librariae Graeco-Latino-Germanico. 602 p. In: <http://www.illustratedgarden.org/mobot/rarebooks>
- LUNA BOTELLO, A. 2004. Periodos de maduración de frutos y caracterización de la producción en tejocote (*Crataegus* spp.) Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 60 p.
- MUNIYAMMA, M; PHIPPS, J. B. 1979. Cytological proof of apomixis in *Crataegus* (*Rosaceae*). Amer. J. Bot. 66(2): 149-155
- NIETO ÁNGEL, R.; 2000. Potencial genético del tejocote (*Crataegus* spp.): diversidad y usos. Memoria: fruticultura, sostenibilidad y diversidad. XIII Curso Internacional de Actualización Frutícola. Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. Tonalico, México. 65 p.

- NIETO-ÁNGEL R.; BORYS M. W. 1992. Banco de germoplasma de tejocote (*Crataegus* spp.) de la Republica Mexicana. Revista Chapingo 77: 126-130
- NIETO-ÁNGEL R.; BORYS M. W. 1993. El tejocote (*Crataegus* spp.); un potencial frutícola de zonas templadas. Revista Fruticultura Profesional 54: 64-71
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; PÉREZ-ORTEGA, S. A.; SEGURA, S.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 2004. Variabilidad morfológica de tejocote (*Crataegus* spp.) en México. Proc. Interamerican Soc. Trop. Hort. 48: 144-148
- PÉREZ ORTEGA, S. A. 2004. Caracterización morfológica de endocarpios y semillas de tejocote (*Crataegus* spp.). Tesis de maestría. Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 99 p.
- PHIPPS, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (*Rosaceae*, subfam. *Maloideae*). SIDA Botanical Miscellany 15. Botanical Research Institute of Texas. Fort Worth, USA. 94 p.
- PHIPPS, J. B.; O'KENNON, R. J.; LANCE, R. W. 2003. Hawthorns and Medlars. Royal Horticultural Society. Plant Collector Guide. Timber Press, Portland, USA. 139 p.
- PHIPPS, J. B.; ROBERTSON, K. R.; SMITH, P. G.; ROHRER, J. R. 1990. A checklist of the subfamily Maloideae (Rosaceae). Canadian Journal of Botany 68: 2209-2269
- STEUDEL, E. T. 1841. Nomenclator botanicus, seu, Synonymia plantarum universalis : enumerans ordine alphabetico nomina atque synonyma, tum generica tum specifica, et a Linnaeo et a recentioribus de re botanica scriptoribus plantis phanerogamis imposita. Stuttgartiae et Tubingae: typis et sumptibus J. G. Cotta. 1689 p. In: <http://www.archives.org/details/nomebotanicus00steuoft>

- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2005. Polyploidy in *Crataegus* and *Mespilus* (Rosaceae, Maloideae): evolutionary inference from flow cytometry of nuclear DNA amounts. Can J. Bot. 83: 1268-1304
- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2007a. Endosperm formation in aposporous *Crataegus* (Rosaceae, Spiraeoideae, tribe Pyreae): parallels to Ranunculaceae and Poaceae. New Phytologist 173: 231-249
- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2007b. Apomixis and hybridization in Rosaceae subtribe Pyrineae Dumort.: a new tool promises new insights. In Apomixis: Evolution, Mechanisms and Perspectives. Hörandl, E.; Grossniklaus, U.; Van Dijk, P. J.; Sharbel, T. (eds). Regnum Vegetabile 147, International Association for Plant Taxonomy and Koeltz Scientific Books, Vienna, Austria. pp. 301-316
- WESTWOOD, M. N. 1982. Fruticultura de Zonas Templadas. Traducido por Rallo Romero, L.; Pérez Camacho, F.; Caballero Reig, J. M.; Fernández Escobar, R.; Barranco Navero D. Edición Española. Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 251-267
- ZHANG, D. L.; ZHANG, Y. T.; YIN, J. J.; ZHAO, B. L. 2004. Oral administration of *Crataegus* flavonoids protects against ischemia/reperfusion brain damage in gerbils. Journal of Neurochemistry 90: 211-219.

CAPITULO I.

EL “PROBLEMA *Crataegus*” Y LA TAXONOMÍA DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) EN MÉXICO

THE “*Crataegus* PROBLEM” AND THE TAXONOMY OF THE GENETIC RESOURCES OF TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) IN MEXICO

RESUMEN.

El género *Crataegus* es denominado en sistemática como un “género problema” por lo complicado de su taxonomía debido a las diversas complicaciones reproductivas de las especies que agrupa y a la dificultad para definir especies y *taxa* inferiores. En México, este género está constituido por aproximadamente 15 especies, de las cuales, al menos 10 son endémicas. Sin embargo, la taxonomía descrita para estas especies presenta muchas incongruencias y se siguen utilizando nombres científicos ahora obsoletos. Por esta razón, la presente revisión tiene como objetivo describir el “Problema *Crataegus*” y la clasificación taxonómica reportada para este género en México. Las 15 especies reportadas actualmente en México están divididas en seis series: Serie *Parvifoliae* (1. *C. uniflora*); Serie *Mexicanae* (2. *C. mexicana*, 3. *C. stipulosa* (?), 4. *C. nelsoni*); Serie *Crus-galli* (5. *C. gracilior*, 6. *C. rosei*); Serie *Madrenses* (7. *C. tracyi*, 8. *C. aurescens*); Serie *Greggiana* (9. *C. greggiana*, 10. *C. serratissima*, 11. *C. sulfurea*, 12. *C. grandifolia*) y Serie *Baroussanae* (13. *C. baroussana*, 14. *C. cuprina*, 15. *C. johnstonii*). La información obtenida indica que: 1) los nombres específicos como *Crataegus pubescens* ya son obsoletos; 2) es recomendable utilizar la clave hecha por Phipps (1997) para especímenes del centro y norte de México; 3) se deben hacer nuevas claves para el sur y sureste del país.

Palabras clave: *Crataegus* spp., Sistemática, Rosaceae subfamilia Maloideae.

ABSTRACT

The genus *Crataegus* is called in systematics as “problem genus” because its taxonomy is complicated due to its reproductive complications and to the difficulty to defining species and lower *taxa*. In México this genus includes approximately by 15 species, 10 of which are

endemic. However, in the classification of this genus many incongruities exist and the use of obsolete scientific names is still observed. That is why this review was planned to describe the "Crataegus Problem" and taxonomic classification for *Crataegus* species reported in Mexico. The reported species in Mexico are 15 divided into six series: Serie *Parvifoliae* (1. *C. uniflora*); Series *Mexicanae* (2. *C. mexicana*, 3. *C. stipulosa* (?), 4. *C. nelsoni*); Series *Crusgalli* (5. *C. gracilior*, 6. *C. rosei*); Series *Madrenses* (7. *C. tracyi*, 8. *C. aurescens*); Series *Greggiana* (9. *C. greggiana*, 10. *C. serratissima*, 11. *C. sulfurea*, 12. *C. grandifolia*), and Series *Baroussanae* (13. *C. baroussana*, 14. *C. cuprina*, 15. *C. johnstonii*). The obtained information indicates: 1) the use of specific names as *Crataegus pubescens* must be avoided; 2) it is recommended to use the key made by Phipps (1997) for specimens from the center and north of Mexico; 3) new keys should be made for the south and southeast of the country.

Keywords: *Crataegus* spp., Systematics, Rosaceae subfamily Maloideae, Mexican Hawthorns

INTRODUCCIÓN

El género *Crataegus* pertenece a la familia Rosaceae subfamilia Maloideae. Está constituido aproximadamente por 140 especies en todo el mundo, dividido en 40 series, de las cuales aproximadamente dos terceras partes se encuentran en Norte América y el resto en Europa y Asia. Está reportado como uno de los géneros con la taxonomía más complicada de las plantas superiores de todo el mundo (Phipps *et al.*, 2003).

En México, el nombre más común para especies del género *Crataegus* es "Tejocote", derivado del Náhuatl "te-xocotl" que significa fruta dura y agria (Cabrera, 1992). Desde la época prehispánica en México, el tejocote fue aprovechado, primero por recolección, luego fue

plantado en solares de los pueblos indígenas, y llegó a ser un cultivo importante en la fruticultura prehispánica (Nieto-Ángel y Borys, 1993). El fruto de tejocote, desde el punto de vista cultural y comercial, ha sido utilizado en las fiestas de “todos santos” y en Navidad, sobre todo en la elaboración de ponches y en el llenado de piñatas. Es una parte importante en la cultura tradicional mexicana (Borys y Leszczyńska-Borys, 1994).

En México, este género ha sido estudiado desde hace muchos años, y es objeto de una línea de investigación en la Universidad Autónoma Chapingo en la que se han elaborado las directrices para la conducción de las pruebas de distinción, homogeneidad y estabilidad de variedades cultivadas de *Crataegus* para la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV, 2008).

Las colectas del género *Crataegus* establecidas en el Banco de Germoplasma *ex situ e in vivo* de la Universidad Autónoma Chapingo (BGT-UACH), México, se iniciaron en 1981 (Nieto-Ángel y Borys, 1992). Fueron realizadas principalmente en la zona de los altos de Chiapas, cerca de San Cristóbal de las Casas, la zona este del Estado de México, alrededor del área de Texcoco, y en la zona Centro Occidente del Estado de Puebla, aledaña a las localidades de Calpan y Huejotzingo (Borys & Vega-Cuen, 1984). En la colección se observa una importante variabilidad entre accesiones, pero todavía no se tiene la seguridad de las determinaciones taxonómicas de las mismas. Según Borys y Vega-Cuen (1984), las accesiones ubicadas en el BGT-UACH pertenecen a la especie *C. pubescens* (H. B. K.) Steud. y hay posibilidades de encontrar a la especie *C. nelsoni* Eggl. en accesiones originarias de Chiapas. Al igual que estos autores la mayoría de los registros de herbario en México (MEXU = Herbario UNAM, IEB = Herbario Instituto de Ecología campus Bajío, XAL = Herbario Instituto de Ecología campus

Xalapa, ENCB = Herbario Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN, BANGEV = Banco de Germoplasma UACH, XALU = Herbario Universidad Veracruzana, etc.), los archivos electrónicos de CONABIO (Consejo Nacional de la Biodiversidad, México), publicaciones recientes sobre el tema, etc., consideran a la mayoría de las especies mexicanas de tejocote como *C. pubescens* (H. B. K.) Steud., pero este nombre es incorrecto e inadmisible. Esto a partir que Phipps *et al.* (1990) encontraron una homonimia de esta especie mexicana con una especie europea, razón por la cual Phipps (1997) renombró esta especie como *C. gracilior* Phipps, para ciertos especímenes, o bien puede tratarse de *C. mexicana* DC., debiendo ser identificados correctamente (Phipps, 1997; Phipps *et al.*, 2003).

Por lo anterior la presente revisión tiene como objetivos describir el llamado “Problema *Crataegus*” y la problemática que existe en la taxonomía publicada para este género en México y de esta forma clarificar en lo posible la sistemática de los recursos genéticos del género, para su posible identificación por la zona geográfica de origen del tejocote.

EL “PROBLEMA *Crataegus*”

Camp (1942a; 1942b) definió el “*Crataegus* problem” y es el primero que comenta algo sobre el concepto “real” de especie para el género *Crataegus*. Según este autor, el 75 % de las especies de este género son triploides, 16 % diploides y 9 % tetraploides, y gran cantidad de los triploides pueden ser apomícticos. De acuerdo a lo anterior, se asume que las especies, sobre todo las americanas, incluyen, de manera relativa, pocas especies diploides, sexuales, básicas, sobre las que se ha superpuesto una población altamente compleja de triploides difícil de estudiar; que, aunque florecen y producen fruto, son realmente apomícticas asexuales. Los comparativamente pocos tetraploides pueden o no ser apomícticos. Aunque frecuentemente se

describen “nuevas especies” de este género, no hay intentos de los taxónomos, por lo menos desde la década de los 40 hasta el día de hoy, para reconocer solamente una porción de las especies que ya sobrecargan la literatura, muchas de las cuales no han sido más que especímenes simples, o peor aún, sólo poblaciones locales clonales (Camp 1942a). Sin embargo, es también probable que otros de estos clones hayan sido ecológicamente exitosos y se hayan distribuido en formas comparables a las de muchas especies que no son la original. Esto no significa necesariamente que ameriten la categoría de especies taxonómicas “nuevas”. Aunque, estos individuos clonales pueden permanecer biológicamente individuales en comparación a la especie original, considerándose “especies” diferentes.

Aún hay controversia sobre la taxonomía del género *Crataegus*. Se han detectado las siguientes complicaciones reproductivas: diferentes niveles de ploidía (2x, 3x, 4x, 5x, y 6x; con $x = 17$) (Talent y Dickinson, 2005), agamospermia estéril masculina, hibridismo (Grant, 1989, Talent y Dickinson, 2007b), apomixis, que en el caso del género está controlada genéticamente, ésta es aposporea, o raramente diplosporea (Muniyamma y Phipps, 1979a; Talent y Dickinson, 2007a, 2007b), pseudogamia y autoincompatibilidad gamatofítica, como en el caso de la manzana (*Malus* spp.) (Phipps *et al.*, 2003).

Longley (1924) fue el primero que indicó la poliploidía del género *Crataegus*, refiriéndose a diploides, triploides y tetraploides, y Talent y Dickinson (2005) encontraron también hexaploides y algunos, aunque pocos, pentaploides. Estos datos complican aún más la taxonomía del género, sobre todo para las especies americanas debido a los reportes existentes sobre la complicación de la poliploidía en el sistema reproductivo del género (Muniyamma y Phipps, 1979b)

Según Phipps (1984), existen numerosas especies de *Crataegus* que se sabe que son diplíodes sexuales. Por ejemplo, la especie norteamericana *C. punctata* Jacq. presenta una variación puntual, mientras que *C. monogyna* Jacq., nativa de Europa, es sumamente promiscua, y puede generar híbridos con individuos incluso de otras series taxonómicas. También puede tratarse de complejos poliploides apomícticos con variación de poblaciones locales parecidas pero finamente separadas. Por ejemplo, la serie *Crus-galli* (Loud.) Rehder, distribuida desde Canadá hasta México, pero presenta especies diferentes en cada parte de su distribución.

Aunado a lo descrito anteriormente, el periodo de floración en la mayoría de las especies de *Crataegus* es sumamente corto; típicamente todas las flores abren en una semana, lo que complica mucho la polinización (Phipps *et al.*, 2003). Esto ocasiona que muchas de las especies no produzcan semilla aunque exista fruto formado y desarrollo de endocarpio (Nieto-Ángel *et al.*, 1997)

El género *Crataegus*, incluye numerosas especies (se mencionan microespecies) fuertemente interrelacionadas morfológicamente, lo que hace difícil un tratamiento taxonómico satisfactorio (Grant, 1989). Además, Lo *et al.* (2007) reclasificaron el género *Mespilus* como parte del género *Crataegus* lo que complicó aún más la taxonomía de este último.

Phipps (1983) propuso la forma de dividir el género *Crataegus* en secciones y series para facilitar su sistemática. Al respecto, Phipps *et al.* (1990) hicieron un recuento de las especies en la subfamilia Maloideae y describieron la clasificación taxonómica de *Crataegus* que se mantiene casi intacta hasta la actualidad. Sin embargo, Phipps (1997) cambió parte de la taxonomía del tejocote del centro y norte de México, aunque la clasificación de las especies

sobre todo en cuanto a las series a las que pertenecen sigue cambiando (Phipps *et al.*, 2003), y se siguen incluyendo nuevas especies en otras partes del mundo (Dönmez, 2005; Dönmez y Dönmez, 2005; Phipps, 2006; Phipps, 2007; Phipps y O'Kennon, 2007)

TAXONOMÍA DEL GÉNERO *Crataegus* EN MÉXICO

La taxonomía de este género en México no es clara. Sólo existen dos descripciones taxonómicas al respecto. La primera fue realizada a principios de siglo por W. W. Eggleston (1909), y la más reciente sólo incluye el norte y parte del centro del país y fue propuesta por J. B. Phipps (1997).

Eggleston (1909) describió siete especies de México y una que existe tanto en México como en Guatemala: 1) *Crataegus pubescens* (H. B. K.) Steud.; encontrada en los estados de Veracruz e Hidalgo. 2) *C. mexicana* Moc. & Sessé, que correctamente debería ser referido como *C. mexicana* DC. debido a que De Candolle fue el que puso el epíteto e hizo la descripción, y no Mociño y Sessé quienes fueron los colectores (McVaugh, 2000); encontrada en los estados de México, Puebla, Hidalgo, Morelos, Michoacán, Guerrero, Veracruz, San Luis Potosí y Distrito Federal. 3) *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud.; encontrada en Guatemala y el estado mexicano de Chiapas. 4) *C. rosei* Eggl.; en los estados de Durango y Chihuahua. 5) *C. parryana* Eggl.; en el estado de San Luis Potosí. 6) *C. greggiana* Eggl.; reportada en el estado de Coahuila. 7) *C. baroussana* Eggl.; reportada en el estado de Coahuila. Y por último, 8) *C. nelsoni* Eggl.; descrita mediante un solo ejemplar del estado de Chiapas.

Dado que muchas de las especies fueron nuevas en el trabajo de Eggleston (1909), la mayoría de especímenes de tejocote fueron consideradas como *C. pubescens* (H. B. K.) Steud. Algo

interesante, fue que Eggleston (1909) reconoció que *C. pubescens* (H. B. K.) Steud. era diferente de *C. mexicana* DC., tan temprano como al inicio del siglo 20 y es curioso que este hecho fue pasado por alto por los taxónomos mexicanos hasta años recientes (Phipps *et al.*, 2003). Al parecer el trabajo de Eggleston (1909) no fue muy difundido en nuestro país, debido a que a pesar de que Phipps (1997) desechó el nombre, éste sigue apareciendo en revistas importantes con dicho nombre hasta años recientes (Borys and Leszczyńska-Borys, 2004; Borys *et al.*, 2004.; Vivar Vera *et al.*, 2007)

Ciertamente, la descripción taxonómica de Eggleston (1909) no es clara para las especies del sur de México, en donde este autor encontró dos en Chiapas. La primera es *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud., que Phipps *et al.* (2003) consideraron como una sinonimia de *C. mexicana* DC., debido a que esta especie que originalmente fue descrita por Humboldt *et al.* (1824) con ejemplares de Ecuador como un *Mespilus* y que más tarde Steudel (1841) reclasificó como un *Crataegus* son los mismos que Phipps *et al.* (2003) reportaron como variantes silvestres de *C. mexicana* DC. Pero no hay ninguna seguridad de que los materiales de Chiapas y Guatemala reportados por Eggleston (1909) con este nombre, sean la misma especie que dichos ejemplares sudamericanos, debido a que Eggleston las describió como especies diferentes, sobre todo con *C. pubescens* (H. B. K.) Steud. y *C. mexicana* DC. La segunda especie reportada para el sur de México es *C. nelsoni* Eggl. que según Phipps *et al.* (1990) pertenece a la serie *Mexicanae* (Loud.) Rehder. pero que Eggleston (1909) describió con un único material de herbario. Debido a que posteriormente no se han hecho estudios, su variabilidad, distribución, etc. no se conoce.

Phipps (1997), basado en el estudio de Eggleston (1909), encontró que en el norte de México existen 13 especies, y mencionó que la serie *Mexicanae* (Loud.) Rehder (*C. mexicana* sensu lato) está restringida a México y Centro América (con puntos atípicos en Perú y Ecuador). Tres especies (*C. uniflora* Muench., *C. greggiana* Eggl. y *C. tracyi* Ashe ex Eggl.) también existen en el sur de Estados Unidos, pero ninguna de las especies que presentan hojas profundamente lobuladas en brotes cortos y hojas con venas a los senos lobulares se encuentran en México, aún cuando muchas de éstas se encuentran en el sur de Estados Unidos. Las nueve especies restantes son endémicas de México (*C. grandifolia* Phipps, *C. sulfurea* Phipps, *C. johnstonii* Phipps, *C. cuprina* Phipps; *C. baroussana* Eggl., *C. serratissima* Phipps, *C. aurescens* Phipps, *C. rosei* Eggl. y *C. gracilior* Phipps).

Por lo tanto, basándose en los estudios de Eggleston (1909), Phipps *et al.* (1990), Phipps (1997), McVaugh (2000) y Phipps *et al.* (2003), la taxonomía más actual del género para especímenes mexicanos es de la siguiente manera:

1) Serie *Parvifoliae* (Loudon) Rehder

1. *C. uniflora* Müenchhausen (Tamaulipas)

2) Serie *Mexicanae* (Loudon) Rehder

2. *C. mexicana* De Candolle (Estado de México, Hidalgo, Puebla, Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Veracruz)
3. *C. stipulosa* (Humboldt, Bonpland & Kunth) Steudel (que podría sufrir un cambio de nombre porque esta especie es considerada como una sinonimia de *C. mexicana* DC) (Chiapas y probablemente en Guerrero, Oaxaca y Veracruz)
4. *C. nelsoni* Eggleston (Chiapas)

3) Serie *Crus-galli* (Loudon) Rehder

5. *C. gracilior* J. B. Phipps (Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas, Michoacán, Estado de México, Oaxaca y Veracruz)

6. *C. rosei* Eggleston, presenta 2 subespecies:

6A. *C. rosei* subesp. *parryana* (Tamaulipas, San Luis Potosí, Nuevo León e Hidalgo)

6B. *C. rosei* subesp. *rosei*, presenta tres variedades botánicas:

6Ba. *C. rosei* subesp. *rosei* var. *rosei* (Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nayarit, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa y Tamaulipas)

6Bb. *C. rosei* subesp. *rosei* var. *mahindae* (San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas)

6Bc. *C. rosei* subesp. *rosei* var. *amoena* (Coahuila y Nuevo León)

4) Serie *Madrenses* J. B. Phipps

7. *C. tracyi* Ashe ex Eggleston, presenta tres variedades botánicas:

7a. *C. tracyi* var. *tracyi* (sólo presente en Texas, USA)

7b. *C. tracyi* var. *coahuilensis* (Coahuila)

7c. *C. tracyi* var. *madrensis* (Coahuila y Nuevo León)

8. *C. aurescens* J. B. Phipps (Coahuila y Nuevo León)

5) Serie *Greggiana* J. B. Phipps

9. *C. greggiana* Eggleston, presenta dos variedades botánicas:

9a. *C. greggiana* var. *greggiana* (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Texas, USA)

9b. *C. greggiana* var. *pepo* (Coahuila y Nuevo León)

10. *C. serratissima* J. B. Phipps (Hidalgo y probablemente Querétaro, San Luis Potosí y Nuevo León)

11. *C. sulfurea* J. B. Phipps (Coahuila y Nuevo León)

12. *C. grandifolia* J. B. Phipps, presenta dos variedades botánicas:

12a. *C. grandifolia* var. *grandifolia* (Coahuila)

12b. *C. grandifolia* var. *potosina* (Nuevo León)

6) Serie *Baroussanae* J. B. Phipps

13. *C. baroussana* Eggleston, presenta dos variedades botánicas:

13a. *C. baroussana* var. *baroussana* (Coahuila y Nuevo León)

13b. *C. baroussana* var. *jamensis* (Coahuila)

14. *C. cuprina* J. B. Phipps (Nuevo León)

15. *C. johnstonii* J. B. Phipps (Coahuila)

Esta clasificación es parcial ya que falta colecta e inventario de este género en los estados de Chiapas, Veracruz, Guerrero, Morelos y Oaxaca.

Recientemente Núñez-Colín *et al.* (2008a) encontraron que el género *Crataegus* se desarrolla en tres diferentes regiones eco-climáticas. La región que abarca los estados del sur y sudeste de México es la que no presenta estudios taxonómicos y al parecer contiene especies pertenecientes principalmente a las series *Mexicanae*, *Crus-galli* y *Baroussanae*. Núñez-Colín *et al.* (2008b) indicaron que en el Banco de Germoplasma de Tejocote de la Universidad Autónoma Chapingo (BGT-UACH), las accesiones de Chiapas fueron identificadas principalmente como *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud [entendida ésta como la especie que Eggleston (1909) denominó con este nombre] y *C. nelsoni* Eggl.; aunque también se

encontraron dos ejemplares de *C. gracilior* Phipps y cuatro de Chiapas y dos de Puebla que no pudieron ser identificadas con las claves existentes (Eggleston, 1909; Phipps, 1997) y podrían ser especies, subespecies o variedades botánicas nuevas, probablemente de las series antes mencionadas o de otras que no fueron consideradas aquí. Núñez-Colín *et al.* (2008b) también encontraron que estas especies del sur de México fueron diferentes (con un 95 % de confiabilidad estadística) a las del centro de México y concluyeron que se trata de acervos genéticos diferentes. Por esto, las especies identificadas de Chiapas son diferentes a *C. mexicana* DC. y a *C. gracilior* Phipps, que fueron las principales especies encontradas en el centro de México.

DISCUSIÓN

La clave taxonómicas de Phipps (1997) es la más recomendada en estudios que incluyan especies del género *Crataegus* de las regiones del centro y norte de México, como lo han publicado en recientes trabajos taxonómicos (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2005; Villarreal-Quintanilla y Encina-Domínguez, 2004). Madrigal-Sánchez (1998) realizó una reseña del estudio de Phipps (1997) en una prestigiosa revista mexicana referente al tema, por lo que los taxónomos y curadores de herbarios en México deben conocer y utilizar este estudio, para que todos los herbario nacionales reidentifiquen sus ejemplares de *Crataegus* del norte y centro de México con la clave de Phipps (1997).

Aunque en muchas ocasiones la clave de Phipps (1997) es insuficiente para la detección de ejemplares de la zona centro y sur de México, sobre todo para los de Chiapas, Guerrero y Veracruz, y algunos de Puebla, Morelos y Oaxaca. En este caso se debe utilizar la de Eggleston (1909) aunque ésta es parcial; al parecer se pueden encontrar especies como *C.*

stipulosa (H. B. K.) Steud. (especie que Eggleston [1909] reportó con este nombre), *C. gracilior* Phipps, *C. mexicana* DC. y *C. nelsoni* Eggl. todas ellas perteneciente a las series *Mexicanae* y *Crus-galli*, aunque algunas accesiones en el BGT-UACH originarias de Chiapas y Puebla podrían ser consideradas especies, subespecies o variedades botánicas nuevas (Núñez-Colín *et al.*, 2004).

Se debe de realizar colectas e identificación de especímenes del centro sur de México, así como hacer la reconsideración de cambiar el nombre de la especie *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud. [como lo hizo Phipps con *C. pubescens* (H. B. K.) Steud.] debido a que no se trata de *C. mexicana* DC. (Núñez-Colín *et al.*, 2008b), lo que causa confusión a la hora de identificar, ya que son consideradas sinónimos (Phipps *et al.*, 2003). También se debe reconocer las variantes que puedan existir de esta especie y de *C. nelsoni* Eggl. e investigar si existen especies no descritas para estas zonas.

Por lo anterior, es recomendable que los investigadores de *Crataegus* revisen toda la literatura del tema. En esta recomendación se incluyen los curadores de herbarios y taxónomos, editores y árbitros involucrados en estudios relacionados con el género, para evitar errores como las que se cometieron en los artículos de Borys *et al.* (2004) y de Vivar-Vera *et al.* (2007), donde utilizaron *C. pubescens* (H. B. K.) Steud. para designar al tejocote, que por lo visto anteriormente, es erróneo .

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Por lo expuesto, se recomienda identificar el material de *Crataegus* antes de empezar algún estudio con él y evitar el uso de *Crataegus pubescens* (H. B. K.) Steud. para identificar al tejocote mexicano.

Se recomienda reidentificar los especímenes de *Crataegus* ubicados en los principales herbarios del país (MEXU = Herbario UNAM, IEB = Herbario Instituto de Ecología campus Bajío, XAL = Herbario Instituto de Ecología campus Xalapa, ENCB = Herbario Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN, BANGEV = Banco de Germoplasma UACH, XALU = Herbario Universidad Veracruzana)

Aunque ya se describieron las especies del norte y centro de México descritas por Phipps (1997), y las del sur las descritas por Eggleston (1909), se debe hacer un estudio taxonómico más detallado, para elaborar las claves de identificación de especímenes, sobre todo para las zonas sur y sudeste del país, principalmente en los estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Morelos y Chiapas, debido a que la clave de Phipps (1997) no permiten identificar algunos ejemplares de esta zona.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca número 169581

LITERATURA CITADA

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

- BORYS, M. W.; LESZCZYŃSKA-BORYS, H. 2004. Root attributes of Mexican *Crataegus* spp. trees. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10 (1): 85-95.
- BORYS, M. W.; LESZCZYŃSKA-BORYS, H.; GALVÁN, J. 2004. Relations between thorns and shooting of vegetative and flower buds in *Crataegus pubescens* (H. B. K.) Steud. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10 (2): 219-228.
- BORYS, M. W.; VEGA-CUEN, A. 1984. Selección de tipos de tejocote (*Crataegus pubescens* H. B. K.) en los Estados de Chiapas, Puebla y México. *Revista Chapingo* 44-45: 193-199.
- CABRERA, L. G. 1992. *Diccionario de Aztequismos*. Ediciones Colofón. México, D. F., México. 166 p.
- CAMP, W. H. 1942a. Ecological problems and species concept in *Crataegus*. *Ecology* 23 (3): 368-369.
- CAMP, W. H. 1942b. The *Crataegus* problem. *Castanea* 7 (4-5): 51-55.
- DÖMNEZ, A. A. 2005. A new species of *Crataegus* (Rosaceae) from Turkey. *Botanical Journal of the Linnean Society* 148: 245-249.
- DÖNMEZ, A. A.; DÖNMEZ, E. O. 2005. *Crataegus turcicus* (Rosaceae), a new specie from NE Turkey. *Annales Botanici Fennici* 42: 61-65.
- EGGLESTON, W. W. 1909. The *Crataegi* of Mexico and Central America. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 36: 501-514.
- GRANT, V. 1989. *Especiación Vegetal*. Traducido por E Crabtree. 1ª Edición, Editorial LIMUSA. D. F., México. 587 p.
- HUMBOLDT, F. H. A. VON; BONPLAND, A. J. A. G.; KUNTH, C. S. 1824. *Nova Genera et Species Plantarum* vol. 6. Lutetiae Parisiorum: sumtibus Librariae Graeco-Latino-Germanico. 602 p. In <http://www.illustratedgarden.org/mobot/rarebooks>

- LO, E. Y. Y.; STEFANOVIC, S.; DICKINSON, T. A. 2007. Molecular reappraisal of relationships between *Crataegus* and *Mespilus* (Rosaceae, Pyreae) – Two genera or one? *Systematic Botany* 32 (3): 596-616.
- LONGLEY, A. E. 1924. Cytological studies in the genus *Crataegus*. *American Journal of Botany* 11 (5): 295-317.
- MADRIGAL-SÁNCHEZ, X. 1998. Reseña de Libro “Phipps, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae, subfam. Maloideae). SIDA Botanical Miscellany 15”. *Acta Botánica Mexicana* 43: 69
- MCVAUGH, R. 2000. Botanical results of the Sessé & Mocino expedition (1787-1803). VII. A guide to relevant scientific names of plants. Hunt Institute for Botanical Documentation and Carnegie Mellon University. Pittsburgh, USA. 626 p.
- MUNIYAMMA, M.; PHIPPS, J. B. 1979a. Cytological proof of apomixis in *Crataegus* (Rosaceae). *American Journal of Botany* 66(2): 149-155
- MUNIYAMMA, M.; PHIPPS, J. B. 1979b. Meiosis and polyploidy in Ontario species of *Crataegus* in relation to their systematics. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 21: 231-241.
- NIETO-ÁNGEL, R.; BORYS, M. W. 1992. Banco de Germoplasma de tejocote (*Crataegus* spp.) de la República Mexicana. *Revista Chapingo* 77: 126-130.
- NIETO-ÁNGEL, R.; BORYS, M. W. 1993. El tejocote (*Crataegus* spp.), un potencial frutícola de zonas templadas. *Revista Fruticultura Profesional* 54: 64-71
- NIETO-ÁNGEL, R.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; BORYS, M. W. 1997. Endocarp morphology as an aid for discriminating wild and cultivated Mexican hawthorn (*Crataegus mexicana* Moc. & Sessé). *Fruits* 52: 317-324

- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; SEGURA, S.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. 2008a. Variability of three regional sources of germplasm of Tejocote (*Crataegus* spp.) from central and southern Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution (On-line first) Doi: 10.1007/s10722-008-9316-z
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; SEGURA, S.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. 2008b. Distribución y caracterización eco-climática del género *Crataegus* (Rosaceae subfam. Maloideae) en México. Revista Chapingo serie Horticultura 14: 177-184.
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; PÉREZ-ORTEGA, S. A.; SEGURA, S.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 2004. Variabilidad morfológica de tejocote (*Crataegus* spp.) en México. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 48: 144-148.
- PHIPPS, J. B. 1983. *Crataegus*: a nomenclator for sectional and serial names. Taxon 32 (4): 598-604.
- PHIPPS, J. B. 1984. Problems of hybridity in the cladistics of *Crataegus* (Rosaceae). In: Plant Biosystematics. W F Grant (ed). Academic Press Canada. Toronto, Canada. pp. 417-438.
- PHIPPS, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae subfam. Maloideae). SIDA Botanical Miscellany 15: 1-94.
- PHIPPS, J. B. 2006. *Crataegus spes-aestatum*, a new species in series *Punctatae* (Rosaceae), and six new varietal names from the Missouri *Crataegus* flora. Novon 16 (3): 381-387
- PHIPPS, J. B. 2007. Miscellaneous typifications, new combinations and one new variety in North American *Crataegus* (Rosaceae). Journal of the Botanical Research Institute of Texas 1(2): 1005-1010.

- PHIPPS, J. B.; O'KENNON, R. J. 2007. Hawthorns (*Crataegus*: Rosaceae) of the Cypress Hills, Alberta and Saskatchewan. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 1(2): 1031-1090.
- PHIPPS, J. B.; O'KENNON, R. J.; LANCE, R. W. 2003. Hawthorns and Medlars. Timber Press, Portland, USA. 139 p.
- PHIPPS, J. B.; ROBERTSON, K. R.; SMITH, P. G.; ROHRER, J. R. 1990. A checklist of the subfamily Maloideae (Rosaceae). *Canadian Journal of Botany* 68: 2209-2269.
- RZEDOWSKI, J.; CALDERÓN DE RZEDOWSKI, G. 2005 Flora del Bajío y regiones adyacentes: Familia Rosaceae. Fascículo 135. Instituto de Ecología A. C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 157 p.
- STEUDEL, E. G. 1841. *Nomenclator botanicus, seu, Synonymia plantarum universalis: enumerans ordine alphabetico nomina atque synonyma, tum generica tum specifica, et a Linnaeo et a recentioribus de re botanica scriptoribus plantis phanerogamis imposita. Stuttgartiae et Tubingae: typis et sumptibus J. G. Cotta. 1689 p.* In: <http://www.archives.org/details/nomebotanicus00steuoft>
- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2005 Polyploidy in *Crataegus* and *Mespilus* (Rosaceae, Maloideae): evolutionary inference from flow cytometry of nuclear DNA amounts. *Can J. Bot.* 83: 1268-1304.
- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2007a. Endosperm formation in aposporous *Crataegus* (Rosaceae, Spiraeoideae, tribe Pyreae): parallels to Ranunculaceae and Poaceae. *New Phytologist* 173: 231-249.
- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2007b. Apomixis and hybridization in Rosaceae subtribe Pyrineae Dumort.: a new tool promises new insights. *In: Apomixis: Evolution, Mechanisms and Perspectives.* E Hörandl, U Grossniklaus, P J Van Dijk & T Sharbel

- (eds). International Association for Plant Taxonomy and Koeltz Scientific Books. Vienna, Austria. pp. 301-316.
- UPOV. 2004. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability for Hawthorn (*Crataegus* spp.) – TG/HAWTH (Proj.2). Thirty-fifth session of Technical Working Party for Fruit Crops. International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). Marquardt, Germany. 33 p.
- VILLARREAL-QUINTANILLA, J. A.; ENCINA-DOMÍNGUEZ, J. A. 2005. Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. Acta Botánica Mexicana 70: 1-46.
- VIVAR-VERA, M. A.; SALAZAR-MONTOYA, J. A.; CALVA –CALVA, G.; RAMOS-RAMÍREZ, E. G. 2007. Extraction, thermal stability and kinetic behavior of pectinmethylesterase from hawthorn (*Crataegus pubescens*) fruits. LWT-Food Science and Technology 40 (2): 278-284.

CAPITULO II.

DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN ECO-CLIMÁTICA DEL GÉNERO

***Crataegus* (Rosaceae, SUBFAM. Maloideae) EN MÉXICO**

DISTRIBUTION AND ECO-CLIMATIC CHARACTERIZATION FOR GENUS

***Crataegus* (Rosaceae, SUBFAM. Maloideae), IN MEXICO**

Cita correcta:

Núñez-Colín C A, Nieto-Ángel R, Barrientos-Priego A F, Segura S, Sahagún-Castellanos J, González-Andrés F (2008) Distribución y caracterización eco-climática del género *Crataegus* (Rosaceae subfam. Maloideae) en México. Revista Chapingo serie Horticultura 14: 177-184

RESUMEN

El género *Crataegus* L. en México está constituido por 13 especies para el centro y norte y probablemente 2 para el sur, de las cuales de 9 a 10 especies son endémicas. La posible distribución de este género en México se desconoce, pero especies de este género han sido reportadas en 20 de los 32 estados de México, pero por el clima donde se desarrollan pueden encontrarse en otras entidades del país. La presente investigación tiene como objetivo establecer la posible distribución del género *Crataegus* en México, a partir de un Análisis de Información Geográfica (GIS), así como identificar las posibles zonas eco-climáticas donde las especies del género *Crataegus* están presentes. La mayor probabilidad de distribución del género *Crataegus* en México es en las zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre del Sur, así como en el Eje Neo-Volcánico. Los grupos de distribución climática son tres: el grupo 1 presenta clima templado (Eje Neo-Volcánico), el grupo 2 clima semidesértico a desértico (Norte y Noreste del país) y el grupo 3 clima subtropical (las zonas montañosas del Pacífico Sur y Golfo de México).

Palabras clave: frutales mexicanos, GIS, recursos fitogenéticos, tejocote

ABSTRACT

The genus *Crataegus* L. in Mexico is constituted by 13 species for the centre and north, and probably two for the south, out of these 9 to 10 species are endemic. The possible distribution of this genus in Mexico is unknown, but species of this genus have been reported in 20 of the 32 states of Mexico; however, species of this genus can be found in other entities of the country because of the weather where they grow. The present research has as an objective the establishment of the possible distribution of the genus *Crataegus* in Mexico by an analysis of

Geographic Information System (GIS), and the identification of possible eco-climatic zones where species of the genus *Crataegus* are. The major distribution probability of the genus *Crataegus* in Mexico is in the mountainous zones of the Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental and the Sierra Madre del Sur, also in the Neo-Volcanic Axis. The groups of climatic distribution are three: the group 1 presents temperate climate (Neo-Volcanic Axis), the group 2 semi-desert to desert (North and Northeast of the country) and the group 3 subtropical climate (Mountainous zones to South Pacific and Gulf of Mexico).

Key words: GIS, Mexican hawthorns, Mexican fruit crop, plant genetic resources, tejocote.

INTRODUCCIÓN

El género *Crataegus* L., está constituido aproximadamente por 140 especies en todo el mundo, dividido en 40 series, de las cuales aproximadamente dos terceras partes se encuentran en Norte América y el resto en Euro Asia. Este género de la familia Rosaceae sólo se encuentra de manera natural en el Hemisferio Norte (Phipps, et al., 2003).

El nombre más común en México para el género *Crataegus* es el de “Tejocote”, derivado del Náhuatl, en la que “te-xocotl” significa fruta dura (Cabrera, 1992). Desde la época prehispánica en México, el tejocote fue aprovechado por la recolección de sus frutos y plantado en los solares de los pueblos indígenas, posteriormente fue objeto de una actividad frutícola organizada (Nieto-Ángel y Borys, 1993). Las especies del género *Crataegus*, desde el punto de vista cultural y comercial son utilizadas en las fiestas de “todos santos” y navidad, sobre todo en la elaboración de ponches y dentro de las piñatas, una parte importante en la cultura tradicional mexicana (Borys y Leszczyńska-Borys, 1994).

Phipps (1997) reporta que para el norte y centro de México existen 13 especies. *C. mexicana* Moc. & Sessé está restringida para México y Centro América (con puntos atípicos en Perú y Ecuador). Tres especies, *C. uniflora* Müench., *C. greggiana* Eggl. y *C. tracyi* Ashe ex Eggl., también existen en Estados Unidos y las nueve especies restantes son endémicas del norte de México. Ninguna de las especies con hojas profundamente lobuladas en brotes cortos y venas a los senos lobulares se encuentran en México aun cuando muchas de éstas se encuentran en el sur de Estados Unidos.

El estudio taxonómico de Phipps (1997) fue hecho para el centro y norte de México, en la zona sur el único estudio que existe es el realizado por Eggleston (1909) y no existen estudios más actuales sobre la taxonomía del género, sobre todo faltan estudios taxonómicos para los estados de Chiapas, Veracruz, Guerrero, Morelos y Oaxaca, al parecer sólo se pueden encontrar especies como *C. gracilior* Phipps (reportado como *C. pubescens* (H. B. K.) Steud.), *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud, que Phipps et al. (2003) da como sinonimia de *C. mexicana* Moc. & Sessé, pero Eggleston (1909) la describe como una especie diferente, por lo que probablemente se trate de especies diferentes y tenga que ser corregido el nombre, y también puede encontrarse *C. nelsoni* Eggl. aunque en el Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo ex situ e in vivo de Tejocote se tienen accesiones de Chiapas que podrían ser especies, subespecies o variedades botánicas nuevas (Nieto-Ángel y Borys, 1992; Núñez-Colín et al., 2004). Por tanto, los trabajos de Phipps (1997) y Eggleston (1909) no contemplan la distribución general del género en México, el primero por ser una clasificación parcial y el segundo por ser una investigación demasiado antigua, por lo tanto se desconoce las diferencias

eco-climáticas donde se desarrolla, así como la distribución de este recurso fitogenético mexicano.

En general las especies mexicanas de *Crataegus* se dividen en seis series taxonómicas Serie *Mexicanae* (Loud.) Rehder (*C. mexicana*, *C. stipulosa* y *C. nelsoni*), Serie *Crus-galli* (Loud.) Rehder (*C. gracilior* y *C. rosei* Eggl.), Serie *Madrenses* Phipps (*C. tracyi* y *C. aurescens* Phipps), Serie *Parvifoliae* (Loud.) Rehder (*C. uniflora*), Serie *Greggiana* Phipps (*C. greggiana*, *C. serratissima* Phipps, *C. sulfurea* Phipps y *C. grandifolia* Phipps) y Serie *Baroussanae* Phipps (*C. baroussana* Eggl., *C. cuprina* Phipps y *C. johnstonii* Phipps) (Phipps et al., 1990; Phipps, 1997; Phipps et al., 2003)

Los sistemas de información geográfica ayudan a localizar las zonas eco-climatológicas donde se desarrolla el recurso fitogenético de interés así como donde hacer colecta de germoplasma, ahorrando muchos recursos al planear las salidas de campo para colecta de material vegetal y para gestión de bancos de germoplasma (Jones et al., 2002).

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo establecer la posible distribución del género *Crataegus* en México, a partir de un Análisis de Información Geográfica (GIS), así como identificar las posibles zonas eco-climáticas donde las especies del género *Crataegus* están presentes y señalar cómo los principales factores climáticos están asociados a la distribución del género, para así, hacer conjeturas sobre las probables especies existentes en cada una de estas zonas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección de datos

Se colectaron 456 datos de pasaporte de colectas botánicas y de recursos fitogenéticos de especies de *Crataegus*; de los cuales 172 son los datos de pasaporte de las accesiones del Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo ex situ e in vivo de Tejocote (*Crataegus* spp.)(BGT-UACH), el resto se obtuvo de los herbarios del Instituto de Ecología A. C. campi Xalapa y Bajío (XAL e IEB, con 117 y 92 registros, respectivamente), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN, con 19 registros), de la UNAM (MEXU, con 16 registros), de la Universidad Autónoma Chapingo (BANGEV, con 4 registros), de la ENCB del IPN (ENCB, con 11 registros) y los herbarios de la University of Texas in Austin (TEX y LL, con 30 y 3 registros, respectivamente).

Análisis de datos

Se realizó un análisis mediante Sistemas de Información Geográfica (GIS) utilizando el programa de biodiversidad cartográfica de Germoplasma llamado FloraMap 1.1 (Jones y Gladkov, 1999). Este programa ha sido utilizado antes con éxito en la predicción geográfica de especies de *Passiflora* en cinco países andinos (Segura et al., 2003) así como para definir el lugar más apropiado para la colección núcleo de *Phaseolus* en América (Tohme et al., 1995).

Las superficies del clima espacialmente interpoladas están ahora disponibles para muchas áreas. Éstas, usualmente, le corresponden a climas normales a largo plazo interpolados sobre un modelo de elevación digital (DEM), que es calculado por varios métodos (Jones, 1991). Floramap produjo los sets de datos interpolados en el CIAT para toda América Latina, usando los datos de aproximadamente 10,000 estaciones de América Latina. Cada set de superficies

consiste en las lluvias mensuales totales, temperaturas medias mensuales, y el promedio mensual del rango de temperaturas diarias. Esto hace 36 variables climáticas en tres grupos de 12 (Jones *et al.*, 2002).

Las variantes climáticas son tomadas por cada píxel en cada accesión localizada y un análisis de componentes principales (ACP) es aplicado en este set de datos para disminuir el número de dimensiones. El ACP se ejecuta con la matriz varianzas-covarianzas, con una ponderación de cada uno de los grupos de variables y una transformación para los datos lluvia para generar escalas comparables. Una distribución normal multivariada se usa para marcar la probabilidad de la distribución estimada para cada píxel dado. Con un análisis de agrupamientos (AA) empleando el método de Ward, FloraMap hace la separación de accesiones para identificar la localización de los grupos con distinto clima. Los diagramas climáticos de cada grupo son generados por el programa. El resultado final es un mapa con una probabilidad superficial para toda América Latina. Para los fines de este artículo se utilizó la cobertura del área de México. Debe notarse que este mapa simplemente proporciona el potencial climático en donde el organismo podría existir, y no toma en cuenta factores como son suelo o vientos (Jones *et al.*, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 456 datos de pasaporte sólo 330 resultaron ser diferentes y fueron los que se incluyeron en los resultados cubriendo una buena parte del país (Figura 1).

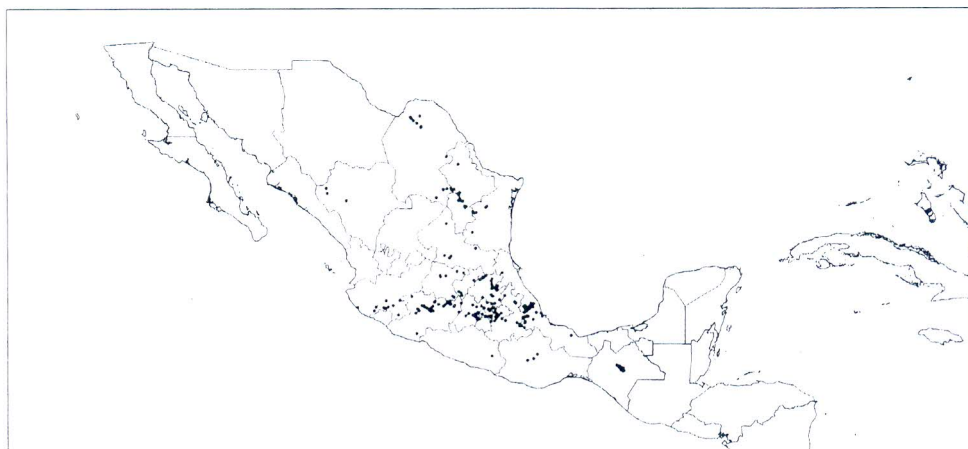


FIGURA 1. Datos de pasaporte de 330 ejemplares, ubicados en México, donde se ha reportado la presencia del género *Crataegus*

Análisis en componentes principales (ACP) y ponderaciones

Las ponderaciones hechas al ACP, para obtener el 95 % de la variación explicada en máximo cinco componentes principales, fueron precipitación = 0.80; temperatura media = 1.20; y variación de la temperatura diaria = 1.00; sin ponderación todos los coeficientes son iguales a uno. Y para normalizar los datos de precipitación pluvial se utilizó el coeficiente de 0.90 de la transformación del poder A de la lluvia (Rain power A transform) (Jones *et al*, 2002).

Distribución general del género Crataegus

Para cubrir el primer objetivo de estimar la posible distribución del género *Crataegus*, se realizó un mapa de distribución utilizando a todas las accesiones (Figura 2).

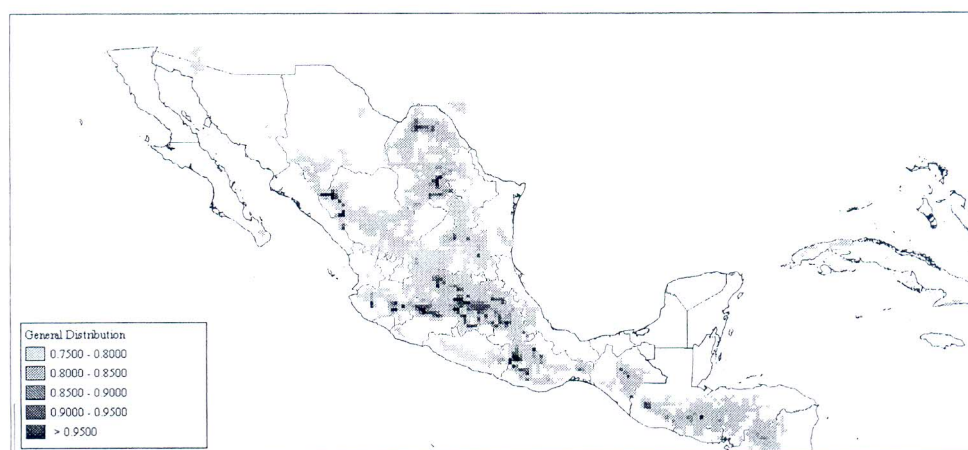


FIGURA 2. Distribución general estimada del género *Crataegus* en México

La mayor probabilidad de encontrar especímenes del género *Crataegus* es en las zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental (que abarcaría desde Tamaulipas, Coahuila y Nuevo León hasta las zonas altas de Veracruz), la Sierra Madre Occidental (que abarcaría desde la sierra de Durango en la frontera con Sinaloa hasta la sierra Tarahumara en Chihuahua; y hasta las zonas montañosas de Jalisco en la parte centro del país) y de la Sierra Madre del Sur (sierra de Oaxaca y los altos de Chiapas), así como en el Eje Neo-Volcánico (que abarcaría desde las zonas altas de Veracruz en la frontera con Puebla hasta las zonas montañosas de Jalisco muy cerca de la costa del Océano Pacífico).

Análisis de Agrupación (AA)

El AA se elaboró por el método de varianzas mínimas de Ward para agrupar accesiones que se desarrollan en climas similares pero sin ser excluidas por un dato no común en el grupo. El AA definió tres grupos climáticos; el primer grupo incluyó 205 puntos, presentando una elevación sobre el nivel del mar promedio de 2,360 m; el segundo incluyó 34 puntos con una elevación sobre el nivel del mar promedio de 1,477.8 m; y finalmente el grupo 3 que presentó

91 puntos y una elevación sobre el nivel del mar promedio de 1,402.1 (Figura 3). Presentando perfiles climáticos diferentes (Figura 4), por lo que se sospecha tres posibles centros de distribución del género *Crataegus* en México.

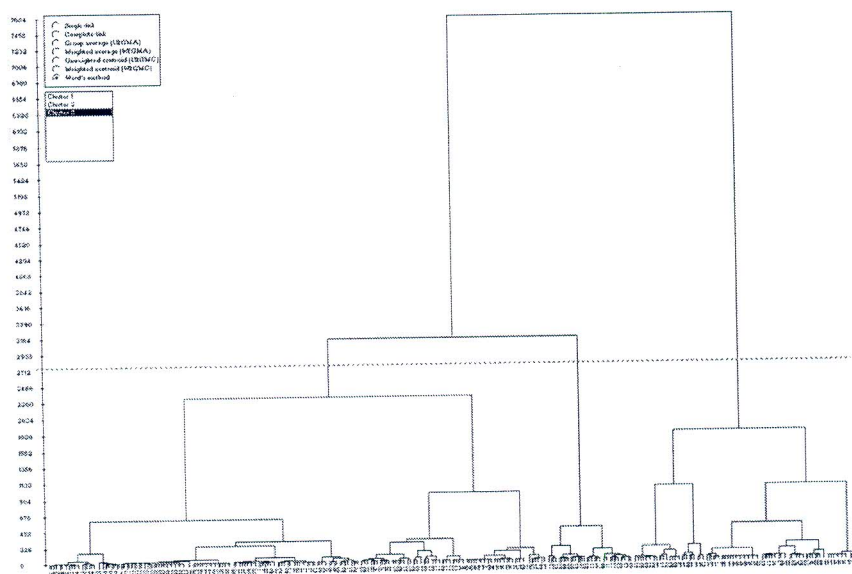


FIGURA 3. Dendrograma, mediante el método de Ward, de 330 ejemplares del género *Crataegus* formado por las diversas variables climáticas desarrolladas por FloraMap

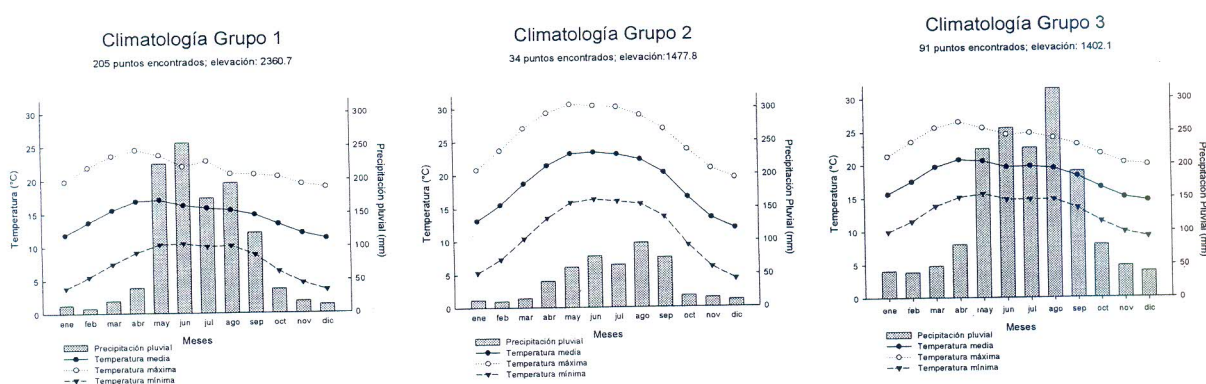


FIGURA 4. Diagramas climatológicos de los tres grupos de las posibles zonas eco-climatológicas de distribución del género *Crataegus* en México

Los tres grupos eco-climáticos son contrastantes en cuanto a la temperatura media y la precipitación pluvial (Figuras 5 y 6).

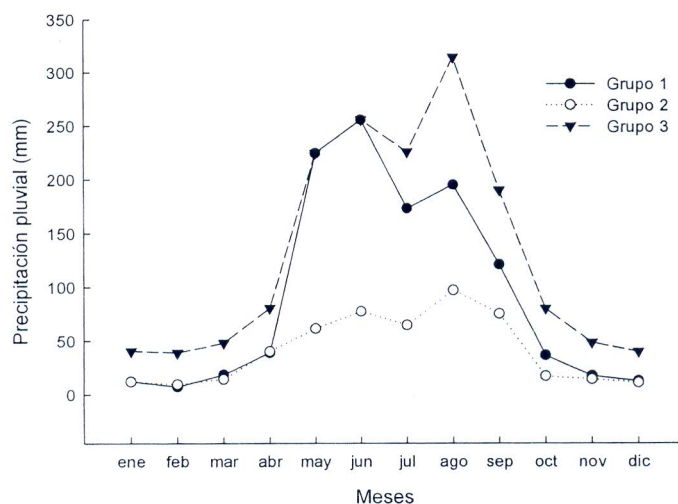


FIGURA 5. Comparación de la precipitación pluvial mensual en las tres posibles zonas de distribución del género *Crataegus* en México.

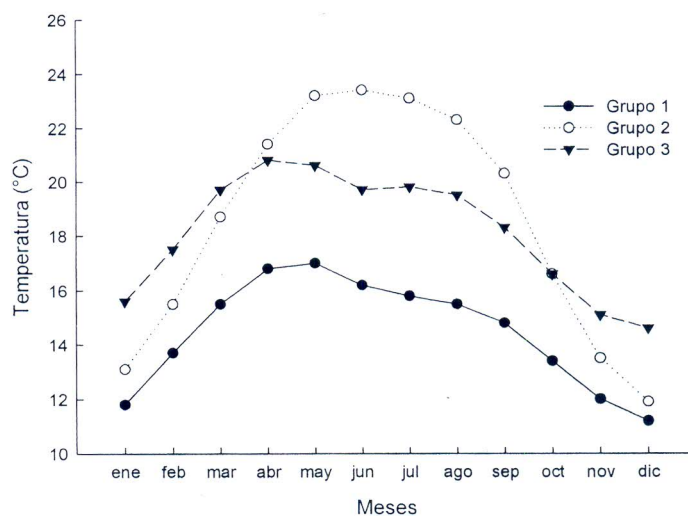


FIGURA 6. Comparación de la temperatura media mensual en las tres posibles zonas de distribución del género *Crataegus* en México.

La zona del grupo tres es la que presenta mayor precipitación, comparada con las otras dos zonas, y presenta temperaturas templadas a calientes todo el año, por lo que puede considerarse un clima de subtropical a tropical (Clima del tipo A al tipo AC en la escala de Köppen) (García, 1988).

La zona del grupo dos es la de menor precipitación de las zonas de distribución de *Crataegus* y presenta temperaturas templadas a frías en invierno y muy calientes en verano, asemejándose mucho a un clima desértico (Clima del tipo AC al tipo B en la escala de Köppen) (García, 1988).

La zona del grupo uno presenta una precipitación similar a la del grupo 3, pero menor que éste, y temperaturas templadas en verano y frías en invierno, lo que representa un clásico clima templado (Clima tipo C en la escala de Köppen) (García, 1988).

La principal zona de distribución del grupo uno (Figura 7) es el Eje Neo-Volcánico desde las zonas altas de Veracruz en frontera con Puebla hasta las zonas montañosas de Jalisco muy cerca de la costa del Océano Pacífico, así como algunos puntos en la Sierra Madre Oriental a la altura de la sierra de Hidalgo y en el sur en la sierra de Oaxaca y unos puntos aislados en Chiapas.

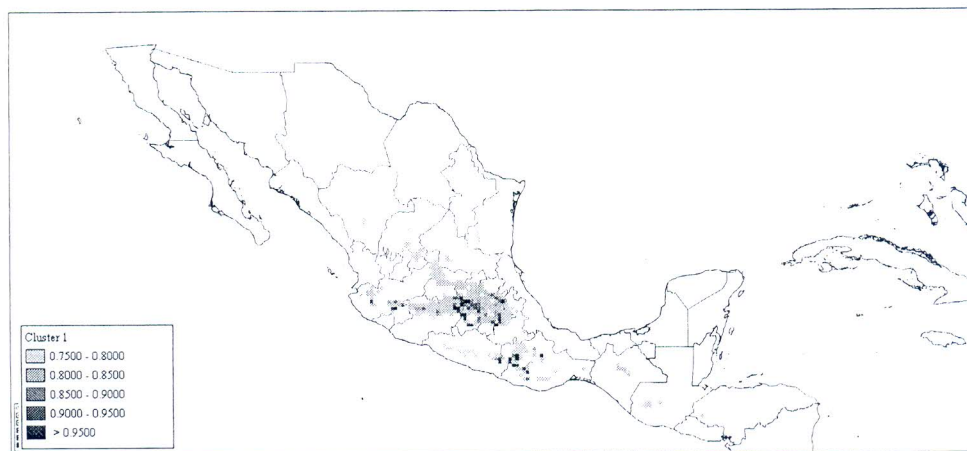


FIGURA 7. Distribución estimada del grupo 1 (205 puntos) del género *Crataegus* en México

Al parecer el grupo 1 podría asociarse a la distribución de *C. mexicana* Moc & Sessé principalmente y también, pero en menor medida, a *C. gracilior* Phipps (Phipps, 1997); éste es el grupo climatológico de interés para la realización de colectas para obtener germoplasma superior desde un punto de vista frutícola, debido a que estas especies son las utilizadas para dicho fin (Nieto-Ángel *et al.*, 1997). Y debido a los problemas reproductivos reportados para el género, como diferentes niveles de ploidía (2x, 3x, 4x, 5x, y 6x; con x=17; Talent y Dickinson, 2005), agamospermia estéril masculina, hibridismo (Grant, 1989), apomixis (Muniyamma y Phipps, 1979; Talent y Dickinson, 2007) así como pseudogamia, y autoincompatibilidad gametofítica (como en el caso de la manzana) (Phipps *et al.*, 2003), no es conveniente hacer hibridaciones con otras especies.

La principal zona de distribución del grupo dos (Figura 8) es en la Sierra Madre Oriental desde la frontera con Estados Unidos en Tamaulipas, Coahuila, Chihuahua, pasando por zonas de Zacatecas, San Luis Potosí y Durango hasta Querétaro, Guanajuato e Hidalgo, teniendo la mayor probabilidad de encontrarse en Coahuila frontera con Nuevo León, San Luis Potosí y la

sierra de Hidalgo. Ésta fue la principal zona de estudio de Phipps (1997), trabajo en donde se describieron las 13 especies reportadas en México. Pero al parecer representa la distribución de las series *Greggianae*, *Baroussanae*, *Madrenses*, y *Parvifoliae*; además de la distribución de *C. rosei* Eggl., perteneciente a la serie *Crus-galli*, 11 especies de las reportadas por Phipps (1997), exceptuando las dos especies asociadas para el grupo 1.

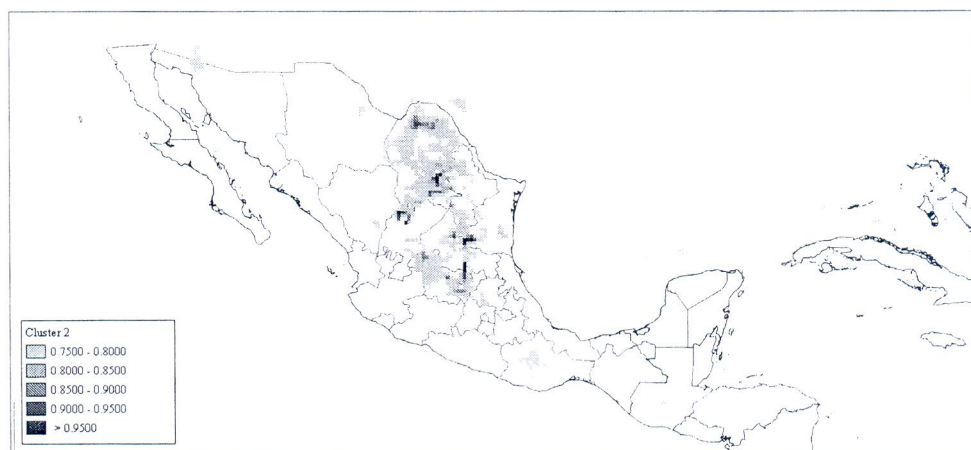


FIGURA 8. Distribución estimada del grupo 2 (34 puntos) del género *Crataegus* en México

La principal zona de distribución del grupo tres (Figura 9) está más clara en Centroamérica que en México pero existe una alta probabilidad de encontrarlo en los altos de Chiapas, la zona oriente de la sierra de Oaxaca, la zona montañosa entre los estados de Guerrero y Michoacán y parte de la sierra norte de Puebla hasta las zonas montañosas del centro de Veracruz y unos cuantos puntos aislados en el noroeste que corresponderían a la zona de la sierra de Durango en frontera con Sinaloa. No está totalmente claro a que especie, o serie, representa este grupo climático; pero lo más probable es que se trate de ejemplares silvestres de las especies reportadas por Eggleston (1909) como *C. nelsoni* Eggl. y *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud, ambas de la serie *Mexicanae* (Phipps *et al.*, 1990), aunque Phipps *et al.* (2003)

reportaron a estas especies como ejemplares silvestres de *C. mexicana* Moc. & Sessé, pero Eggleston (1909) las describió como especies diferentes; así como de especies de la serie *Crus-galli* (está reportada *C. rosei* Eggl. en la zona de Durango perteneciente a este grupo) y probablemente especies no descritas para México de otras series (por los ejemplares Chiapanecos con lóbulos superficiales del Banco de Germoplasma *in vivo* y *ex situ* de la Universidad Autónoma Chapingo) y algunas otras especies lobuladas y no lobuladas probablemente no reportadas, o no identificadas aún, en México (algunos ejemplares de herbario están marcados todavía como *C. pubescens* (H. B. K.) Steud que tiene varias sinonimias y otros no presentan la especie, sólo el género) (Phipps *et al.*, 1990; Núñez-Colín *et al.*, 2004), en este grupo climático es en donde se podrían localizar nuevas especies, subespecies o variedades botánicas, debido a que en México están reportadas que nueve de las trece especies existentes son endémicas (Phipps, 1997; Núñez-Colín *et al.*, 2004).



FIGURA 9. Distribución estimada del grupo 3 (91 puntos) del género *Crataegus* en México

Estos resultados difieren un poco con los reportados por Pérez-Ortega *et al.* (2004), aunque los dos grandes grupos reportados por estos autores corresponderían a los dos primeros grupos de este estudio, pero difieren al no definir el tercer grupo climático.

CONCLUSIONES

La mayor probabilidad de distribución del género *Crataegus* en México es en las zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre del Sur, así como en el Eje Neo-Volcánico.

Son tres grupos de distribución climática para el género *Crataegus* en México, teniendo los siguientes climas según la escala de Köppen: grupo 1: clima tipo C (templado); grupo 2: clima del tipo AC al B (semidesértico a desértico); y grupo 3: clima del tipo A al AC (mayormente subtropical).

El grupo 1 está asociado principalmente a la distribución de *C. mexicana* Moc & Sessé y a *C. gracilior* Phipps y es el de interés para la colecta de germoplasma superior desde el punto de vista frutícola (Nieto-Ángel *et al.*, 1997; Núñez-Colín *et al.*, 2004).

El grupo 2 está asociado principalmente a la distribución de las series *Greggianae*, *Baroussanae*, *Madrenses*, y *Parvifoliae*; además de la distribución de *C. rosei* Eggl., perteneciente a la serie *Crus-galli* (11 de las especies de las reportadas por Phipps, 1997).

El grupo 3 está asociado a ejemplares silvestres de especies reportadas por Eggleston (1909) como *C. nelsoni* Eggl. y *C. stipulosa* (H. B. K.) Steud. ambas de la serie *Mexicanae*, así como

de especies de la serie *Crus-galli* (Phipps *et al.*, 1990; Phipps, 1997) y probablemente especies no descritas aún para México (Núñez-Colín *et al.*, 2004).

La precipitación pluvial es el principal factor ambiental que definió los diferentes grupos de distribución, aunque la temperatura no puede ser despreciada ya que aporta buena parte de la variabilidad eco-climática.

LITERATURA CITADA

- BORYS, M. W.; LESZCZYŃSKA-BORYS, H. 1994. Tejocote (*Crataegus* spp.) – planta para solares, macetas e interiores. Revista Chapingo Serie Horticultura 1(2): 95-107.
- CABRERA, L. G. 1992. Diccionario de Aztequismos. Ediciones Colofón. D. F., México. 166 p.
- EGGLESTON, W. W. 1909. The *Crataegi* of Mexico and Central America. Bulletin of the Torrey Botanical Club 36: 501-514.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. 205 p.
- GRANT, V. 1989. Especiación Vegetal. Traducido por CRABTREE, E.; DELILLE, H. E. Editorial Noriega-LIMUSA. D. F., México. 587 p.
- JONES, P. G. 1991. The CIAT climate database version 3.41. Machine readable data set. CIAT, Cali, Colombia. 97 p.
- JONES, P. G.; GLADKOV, A. 1999. FloraMap: a computer tool for predicting the distribution of plants and the other organisms in the wild; version 1. Jones, A. L. (ed.). CIAT CD-ROM Series. CIAT, Cali, Colombia. 99 p.

- JONES, P. G.; GUARINO, L.; JARVIS, A. 2002. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 2. Floramap. Plant Genetic Resources Newsletters 130: 1-6.
- MUNIYAMMA, M.; PHIPPS, J. B. 1979. Cytological proof of apomixis in *Crataegus* (Rosaceae). American Journal Botany 66(2): 149-155.
- NIETO-ANGEL, R.; BORYS, M. W. 1992. Banco de Germoplasma de tejocote (*Crataegus* spp.) de la República Mexicana. Revista Chapingo 77: 126-130.
- NIETO-ÁNGEL, R.; BORYS, M. W. 1993. El tejocote (*Crataegus* spp.), un potencial frutícola de zonas templadas. Revista Fruticultura Profesional 54: 64-71.
- NIETO-ÁNGEL, R.; ORTÍZ, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; BORYS, M. W. 1997. Endocarp morphology as an aid for discriminating wild and cultivated Mexican Hawthorns (*Crataegus mexicana* Moc. & Sessé). Fruits 52: 317-324.
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; PÉREZ-ORTEGA, S. A.; SEGURA, S.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 2004. Variabilidad morfológica de tejocote (*Crataegus* spp.) en México. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 48: 144-148.
- PÉREZ-ORTEGA, S. A.; NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; SEGURA, S. 2004. Los recursos genéticos de *Crataegus* (Rosaceae) en México: Variación eco-climática. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 48: 149-151.
- PHIPPS, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae, subfam. Maloideae). SIDA Botanical Miscellany 15: 1-94.
- PHIPPS, J. B.; O'KENNON, R. J.; LANCE, R. W. 2003. Hawthorns and Medlars. Royal Horticultural Society. Plant Collector Guide. Timber Press, Portland, USA. 139 p.

- PHIPPS, J. B.; ROBERTSON, K. R.; SMITH, P. G.; ROHRER, J. R. 1990. A checklist of the subfamily Maloideae (Rosaceae). *Canadian Journal of Botany* 68: 2209-2269.
- SEGURA, S.; COOPPENS D'EECKENBRUGGE, G.; LOPEZ, L.; GRUM, M.; GUARINO, L. 2003. Mapping the distribution of five species of *Passiflora* in Andean countries. *Genetics Resources and Crop Evolution* 50(6), 555-566.
- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2005. Polyploidy in *Crataegus* and *Mespilus* (Rosaceae, Maloideae): evolutionary inference from flow cytometry of nuclear DNA amounts. *Canadian Journal of Botany* 83: 1268-1304.
- TALENT, N.; DICKINSON, T. A. 2007. Apomixis and hybridization in Rosaceae subtribe Pyrineae Dumort.: a new tool promises new insights. pp. 301-316. *In: Apomixis: Evolution, Mechanisms and Perspectives*. HÖRANDL, E.; GROSSNIKLAUS, U.; VAN DIJK, P. J.; SHARBEL, T. (eds). *Regnum Vegetabile* 147, International Association for Plant Taxonomy and Koeltz Scientific Books, Vienna, Austria.
- TOHME, J.; JONES, P.; BEEBE, S.; IWANAGA, M. 1995. The combined use of agroecological and characterization data to establish the CIAT *Phaseolus vulgaris* core collection. pp. 95-115. *In: Core Collection of Plant Genetic Resources*. HODGKIN, T.; BROWN, A. H. D.; VAN HINTUM, TH. J. L.; MORALES, E. A. V. (eds). International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Rome, Italy.

CAPITULO III

VARIABILITY OF THREE REGIONAL SOURCES OF GERMPLASM OF TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) FROM CENTRAL AND SOUTHERN MEXICO.

VARIABILIDAD DE TRES FUENTES REGIONALES DE GERMOPLASMA DE TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO

Cita correcta:

Núñez-Colín C A, Nieto-Ángel R, Barrientos-Priego A F, Sahagún-Castellanos J, Segura S, González-Andrés F (2008) Variability of three regional sources of germplasm of Tejocote (*Crataegus* spp.) from central and southern Mexico. Genet Resources Crop Evol (On line first) Doi: 10.1007/s10722-008-9316-z

ABSTRACT

Tejocote (*Crataegus* spp.) is a genus of fruit-bearing trees distributed widely throughout Mexico; 13 species are reported for the north and central zones and two or more species may be present in southern Mexico. Accessions of this genus are safeguarded in the Germplasm Bank of Tejocote at the Autonomous University of Chapingo, mainly from three regional sources, i.e. the states of Puebla, Mexico, and Chiapas, including five different species that belong to series *Mexicanae* and series *Crus-galli*. They can be morphologically characterized by leaves from different shoot types, flowers and fruits. Multivariate statistical methods were used to elucidate patterns of variation in each of these regional sources. The sources displayed very low intra-source variability. The source from Chiapas showed significant statistical differences in all morphological variables evaluated, as a result, this genetic pool is considered as different from the other two sources. The sources from the states of Puebla and Mexico only differed by 22.79% (with $P \leq 0.05$), and thus they could be considered as components of a single genetic pool. The most highly discriminant variables were from the leaf, such as basal angle, petiole length/major axis length ratio, minor axis length/major axis length ratio, and number of veins.

Keywords: Central and Southern Mexico; Genetic resources; Germplasm bank; Mexican Hawthorns; Morphological variability exican plant Mexico's traditional fruits crops, Rosaceae subfam Maloideae,

RESUMEN

El tejocote (*Crataegus* spp.) es un género de árboles frutales distribuidos ampliamente en todo México, 13 especies están reportadas para las zonas norte y centro y dos o más especies

pueden estar presentes en el sur de México. Acciones de este género están resguardados en el Banco de Germoplasma de Tejocote de la Universidad Autónoma de Chapingo, principalmente de tres fuentes regionales de germoplasma, es decir, de los estados de Puebla, Mexico, y Chiapas, incluyendo cinco especies diferentes que pertenecen a la serie *Mexicanae* y a la serie *Crus-galli* . Estos fueron morfológicamente caracterizados por caracteres de hojas de diferentes tipos de brote, de flores y frutos. Se utilizaron métodos estadísticos multivariados, para dilucidar los patrones de variación en cada una de estas fuentes regionales. Las fuentes muestran muy baja variabilidad intra-fuente. La fuente de Chiapas mostró diferencias estadísticas significativas en todas las variables morfológicas evaluadas, como consecuencia de ello, este acervo genético se considera como diferente de las otras dos fuentes. Las fuentes de los estados de Puebla y México sólo difieren en 22,79% ($P \leq 0,05$), y, por tanto, podrían ser considerados como componentes de un único acervo genético. Las variables más discriminante fueron de la hoja como el ángulo basal, la relación longitud del pecíolo / longitud del eje mayor, relación longitud del eje menor / longitud del eje mayor y el número de venas.

Palabras Clave: Centro y Sur de México; Recursos fitogenéticos; Bancos de Germoplasma; Variabilidad morfológica; Rosaceae subfamilia Maloideae.

INTRODUCTION

Several species of genus *Crataegus* are widely used around the world; for example, some Chinese species of *Crataegus* fruits are used for fresh consumption and processing and as ingredient in Chinese medicines. In China, they are regarded as “fruit for good health” (Guo and Jiao 1995). In Southern USA a mayhaw exists (*Crataegus* series *Aestivales* (Sarg. ex

Schneider) Rehder) until recently the fruit of these species has only been used locally in marmalades, butters, preserves, jellies, condiments, syrups, wines, desserts and as food for wildlife (Payne and Krewer 1990). *Crataegus mexicana* Moc. et Sessé is cultivated in Mexico, Guatemala, Honduras, Costa Rica, the Andes of Peru and Ecuador, South of California, Arizona and South Africa. The fruits of this specie, rich in vitamin C, are consumed fresh or processed to marmalade, jam, jelly and syrup. Because of the storability of the fruits and different ripening times in different altitudes, fresh fruits are available for a longer time (Büttner 2001). Also this fruit tree is reported as a good rootstock by drought conditions for apple, pear, quince and several *Crataegus* species (Nieto-Ángel and Borys 1999).

The common name in Mexico for species of the genus *Crataegus* is “Tejocote,” derived from the Nahuatl word “Texocotl,” which literally means stone-fruit (Cabrera 1992). Since, the pre-Hispanic time in Mexico, tejocote fruits were collected for consumption and sowed in gardens of American Indian villages. More recently, the genus has been cultivated in commercial orchards (Nieto-Ángel and Borys 1993). Species of *Crataegus* form an important part of traditional Mexican culture, and are used in the All Saints and Christmas holidays, mainly in the production of fruit-based beverages and as treats inside piñatas (Borys and Leszczyńska-Borys 1994). Phipps (1997) reported 13 species of *Crataegus* native to Northern and Central Mexico, of which nine are endemic, three are shared with the United States of America and one with Peru and Ecuador, but Phipps (1997) did not focus on southern Mexico, where Eggleston’s (1909) classification is the only known to cover this area. Eggleston (1909) noted two species that were not taken into account by Phipps (1997), which may be additional species or synonyms (Núñez-Colín et al. 2004).

Accessions of the genus *Crataegus* have been conserved in the Germplasm Bank of Tejocote *in vivo* and *ex situ* in the Autonomous University of Chapingo (UACH), Mexico, since 1981 (Nieto-Ángel and Borys 1992). The accessions are from the highlands of Chiapas, near San Cristóbal de las Casas; from the eastern part of the state of Mexico, near and around Texcoco; and from the west-central part of Puebla, near Calpan and Huejotzingo (Borys and Vega-Cuen 1984) (Fig. 1). In these collections, one can observe significant morphological variation among accessions, but initial taxonomic determinations by Borys and Vega-Cuen (1984) reported that the accessions located in the Germplasm Bank were *C. pubescens* (Kunth) Steud. (Actually a synonym of *C. gracilior* Phipps), with the possibility that some accessions from Chiapas were *C. nelsoni* Eggl. However, based on a review of the literature, the most probable species are *C. mexicana* Moc. et Sessé and *C. gracilior* Phipps for accessions from Puebla and Mexico, and *C. nelsoni* Eggl. and Eggleston's *C. stipulosa* (Kunth) Steud. for accessions from Chiapas. All species belong to series *Mexicanae* (Loud.) Rehder except *C. gracilior* that belongs to series *Crus-galli* (Loud.) Rehder (Phipps et al. 1990).



Fig. 1 Mexican sites sampled for this study; map was created by using DIVA-GIS software (Hijmans et al. 2002)

The objective of our study was to evaluate patterns of morphological variability within and among regional sources of tejocote germplasm and identify the most important variables for describing and discriminating among accessions.

MATERIALS AND METHODS

The present study was carried out with accessions from the Germplasm Bank of Tejocote (*Crataegus* spp.) located in the “San Juan” Experimental Field of the Autonomous University of Chapingo (BGT-UACH) (19° 29’ North Latitude, 98° 53’ West Longitude, altitude of 2,240 m).

Plant material

Ninety-one accessions of the BGT-UACH collection were evaluated; 50 from Chiapas, 18 from the state of Mexico, and 23 from Puebla (Fig. 1 and see Supplemental Data, Appendix 1). Accessions represent individual clones, collected as bud wood between 1982 and 1989, and then grafted onto seedling rootstocks of tejocote.

Evaluated data

Fifty-one morphological variables were evaluated, 24 from leaves of three different shoot types (reproductive shoots, short and long vegetative shoots), 17 from flowers and 10 from fruits (See Supplemental Data, Appendix 2); all of them are important from a taxonomic point of view (Phipps 1997; Phipps et al. 2003).

Statistical methods

We conducted canonical discriminant analysis (CDA) with a Mahalanobis distance and resubstitution test and multivariate analysis of the variance (MANOVA) with a Tukey test to quantify differences among sources and to identify those variables best to discriminate among accessions. We also employed the internal variability formula developed by Núñez-Colín and Barrientos-Priego (2006) to quantify intra-source variation. All analyses were carried out by means of the procedures PRINCOMP, DISCRIM, and GLM in SAS Version 8 (SAS 1999).

RESULTS

Morphological characteristics

The principal component analysis was obtained from the correlation matrix of the evaluated variables, where the first principal component showed 23.79% of the total morphological

variation, and it was most strongly associated with six characteristics: minor axis length/major axis length ratio of leaves from reproductive and large vegetative shoots, petiole length/major axis length ratio of leaves from reproductive shoots, number of leaf veins from reproductive and short vegetative shoots, and flower receptacle length.

The second principal components presented 13.71% of the total morphological variation, and it was most strongly associated with seven characteristics: apex angle of leaves from reproductive shoots, petiole length, petal area, petal Feret diameter, style length/flower length ratio, stamen major axis length and stamen Feret diameter.

The third principal component showed 10.70% of the total morphological variation, and it was strongly associated with three characteristics: teeth number of leaf margins from reproductive shoots, roundness index of leaves from large vegetative shoots, and endocarp weight/fruit weight ratio.

The fourth principal component showed 9.51% of the total morphological variation, and it was associated with two variables: roundness index of leaves from reproductive shoots and the Feret diameter of leaves from large vegetative shoots (see Supplemental Data, Appendix 3).

Patterns of variation among accessions

Figure 2 displays the pattern of dispersion of accessions across the first three principal components, and the internal variability $\pm$ standard error is shown in Fig. 3.

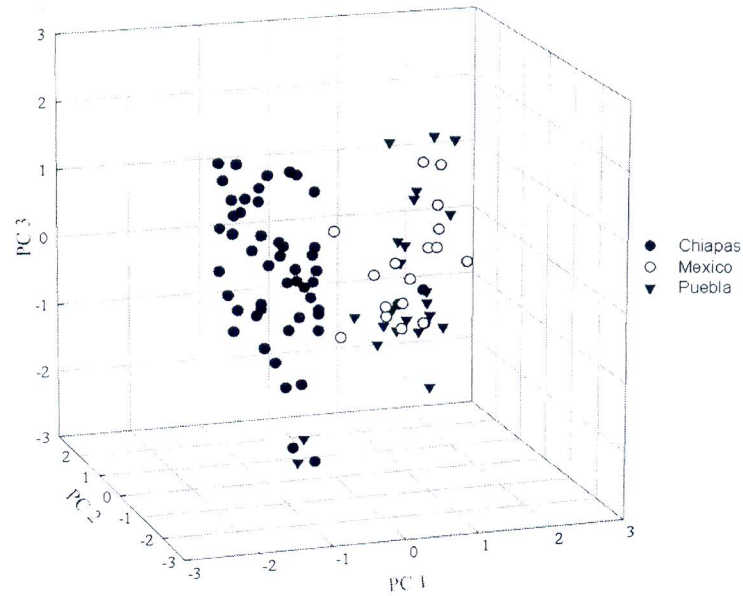


Fig. 2 Three-dimensional representation of 91 *Crataegus* accessions representing three regional sources based on the first three principal components from the Germplasm Bank of Tejocote of the Autonomous University of Chapingo

Internal variability $\pm$ standard error (Fig. 3) is not so high, although the highest intra-variability is in the Puebla source, followed by Chiapas, and the most homogeneous source being the State of Mexico.

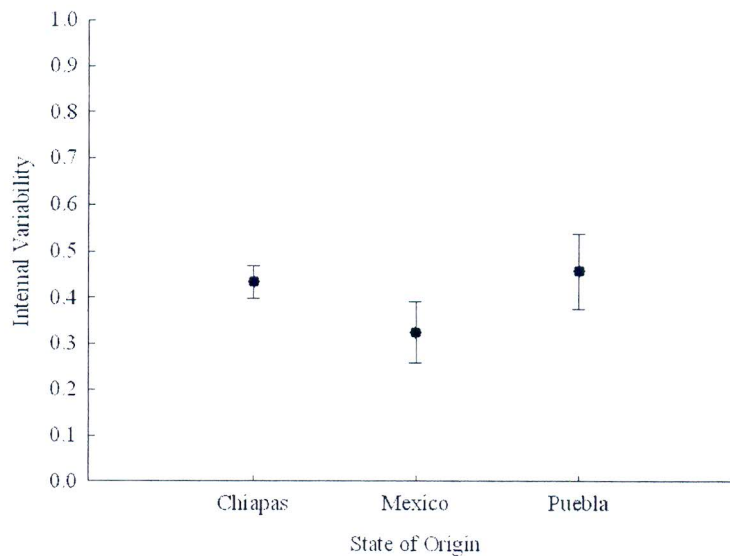


Fig. 3 Internal variability $\pm$ standard error (Núñez-Colín and Barrientos-Priego 2006) of 91 *Crataegus* accessions representing three regional sources from the Germplasm Bank of Tejocote of the Autonomous University of Chapingo

The accessions from Chiapas are expected to have the lowest probability of including atypical individuals (because it shows the lowest internal variability; Núñez-Colín and Barrientos-Priego 2006) relative to the other two sources that can be considered homogeneous because the intra-source variability was not high.

Inter-source variation

Our inter-source analysis was based on a CDA, carried out with regional source as a classification variable; for this reason, the variability is partitioned only in two canonical roots (CR) (Table 1).

Table 1. Eigenvalues from Canonical Discriminant Analysis of 51 morphological variables measured from 91 *Crataegus* accessions representing three regional sources from the Germplasm Bank of Tejocote at the Autonomous University of Chapingo

Canonical root	Eigenvalue	Proportion of variance	Cumulative variance	Likelihood ratio	Approximate F value	$P > F$
1	8.4332	0.7751	0.7751	0.03073043	3.51	< 0.0001
2	2.4482	0.2249	1.0000	0.29000956	1.91	0.0191

The first CR accumulated 77.51% of the total morphological variation, and it was strongly associated with ten characteristics: minor axis length/major axis length ratio of leaves from the three different shoot types, petiole length/ major axis length ratio of leaves from reproductive and large vegetative shoots, the number of leaf veins from reproductive and short vegetative shoots, basal laminar angle from short and large vegetative shoots, and HUE angle coloration from fruits.

The second CR showed the remaining variation, and it was most strongly associated with the variables: area of leaves from short vegetative shoots and Feret diameter of leaves from short vegetative shoots (see Supplemental Data, Appendix 4). Figure 4 displays the pattern of dispersion of accessions in a graph formed by the two CRs.

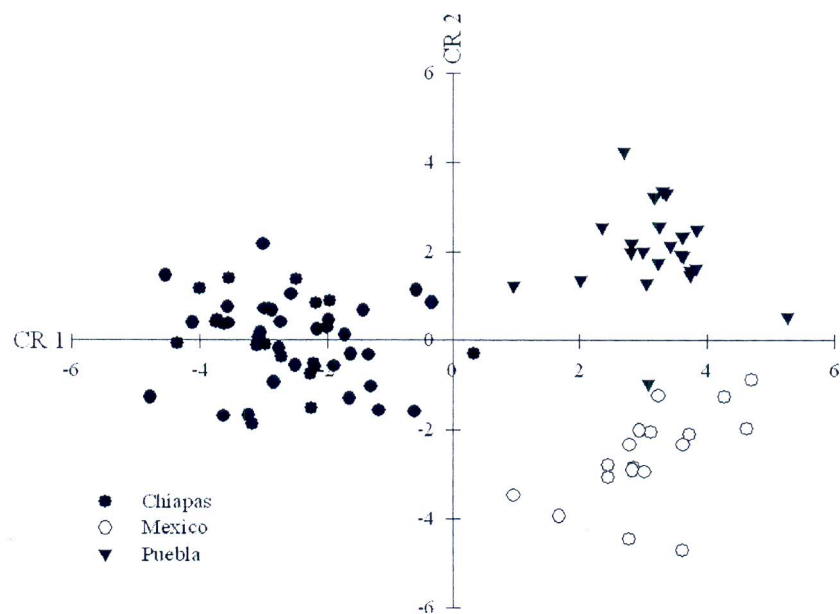


Fig. 4 Graph of 91 *Crataegus* accessions representing three regional sources using two canonical roots from the Germplasm Bank of Tejocote of the Autonomous University of Chapingo

Clearly, the Puebla source included accession 48, which was clustered with accessions originated from the State of Mexico (Table 2).

Table 2. Resubstitution test to *a posteriori* probability of membership in each origin (reclassification data presented in bold) from Canonical Discriminant Analysis of 51 morphological variables measured from 91 *Crataegus* accessions representing three regional sources from the Germplasm Bank of Tejocote at the Autonomous University of Chapingo

Origin		Chiapas	México	Puebla	Total
Chiapas	number	50	0	0	50
	%	100	0	0	100
México	number	0	18	0	18
	%	0	100	0	100
Puebla	number	0	1	22	23
	%	0	4.35	95.65	100
Total	number	50	19	22	91
	%	54.94	20.88	24.18	100

A test of Mahalanobis distances (Table 3) showed that the three regional sources were significantly different, with accessions from the states of Puebla and Mexico being the most similar. A second comparison among regional sources was carried out on the basis of Multivariate Analysis of Variance (MANOVA). The first value of the MANOVA is the Exact Wilks Lambda of 0.0307, supporting, at the $P = 0.0001$ level, the Mahalanobis finding of significant statistical differences among regional sources.

Table 3. Mahalanobis distances among three different regional sources and corresponding *P* values for 91 accessions of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at the Autonomous University of Chapingo

Source	Chiapas	México	Puebla
Chiapas		39.09833	37.51652
México	< 0.0001		21.34683
Puebla	< 0.0001	0.0276	

The two canonical roots, CR1 and CR2, revealed significant differences among sources (Table 4); however, accessions from the states of Puebla and Mexico did not show significant statistical differences for CR1-associated variables ($P \leq 0.05$), but both sources were statistically different from the Chiapas source. For CR2, all sources showed significant statistical differences ($P \leq 0.05$) (Table 5).

Table 4. Multivariate analysis of variance for dependent variables CR1 and CR2 of CDA conducted on three regional sources of 91 *Crataegus* accessions from the Germplasm Bank of Tejocote at the Autonomous University of Chapingo

Dependent variable	Mean square	F Value	R ²
CR1	371.2373586**	371.24	0.894037
CR2	107.7191369**	107.72	0.709990

** significant with $P \leq 0.01$

Table 5. Comparison among three different regional sources of 91 *Crataegus* accessions from the Germplasm Bank of Tejocote at the Autonomous University of Chapingo for CR1 and CR2 using the Tukey's test.

Comparison between regional sources	Differences between means for CR1	Differences between means for CR2
Puebla – México	0.1253	1.9825*
Puebla – Chiapas	5.7954*	4.6186*
México – Chiapas	5.6700*	2.6361*

* significant with $P \leq 0.05$

DISCUSSION

Morphological characteristics

Based on our PCA and CDA results, leaf characteristics were the most useful in defining and comparing *Crataegus* germplasm sources. All accessions are established in the Germplasm Bank, for this reason the environmental variation is minimal and a good comparison can be carried out. Although most accessions from central and southern Mexico belong to series *Mexicanae*, except *C. gracilior* (series *Crus-galli*) (Phipps et al. 1990; Phipps 1997), the variation in leaf variables among germplasm sources can be explained by differences among species, mainly leaf differences (Eggleston 1909; Phipps 1997). Chiapas source represented mainly by *C. nelsoni* and *C. stipulosa* and the other sources represented mainly by *C. mexicana* and *C. gracilior* (see Appendix 1); however Mexico and Puebla sources show differences mainly in leaf variables. In a study using endocarp variation of tejocote accessions significant differences were found among the same origins used in our study (Nieto-Ángel et al. 1997), however their taxonomic determinations were confused.

Patterns of variation within sources

The three sources have different patterns of variation; taxonomic determinations with Phipps (1997) and Eggleston (1909) keys can explain these results, because Mexico source presents two species (*C. mexicana* and *C. gracilior*), Puebla source presents three species (*C. mexicana*, *C. gracilior* and two accessions non identified), and Chiapas source presents four species (*C. nelsoni*, *C. stipulosa*, *C. gracilior* and four accessions non identified). However, the results, which were obtained by the use of Núñez-Colín and Barrientos-Priego (2006) formula, explain the variation of Puebla and Mexico sources for outlier accessions existence, and Chiapas source for the variability in the all accessions within this source.

Inter-source variation

The dispersion of accessions in the graph formed from the two CR designed to reveal inter-source variation (Fig. 4), suggests the existence of important differences between accessions from Chiapas and those accessions from the other two regional sources on the CR1 axis, and among all three sources on the CR2 axis. Accessions from Chiapas displayed the most circular leaves, with the fewest leaf veins, and fruits tending towards a reddish coloration, in comparison with the other two sources which displayed leaves that were longer than wide, a higher number of leaf veins, and more yellowish fruits. This indicates that the Chiapas source had different species in comparison with the other two sources, although all accessions from Chiapas belong to series *Mexicanae* (Phipps et al. 1990, 2003), these variations corresponds with those reported by Nieto-Ángel and Borys (1993), Borys (1996), Nieto-Ángel et al. (1997), and Núñez-Colín et al. (2004).

The sources from Puebla and State of Mexico differed mainly in CR2. The accessions from Puebla showed larger leaves, resulting in greater photosynthetic area, which might result into greater fruit production (Borys 1996) or even bigger fruits, traits that are important for commercial production as a fruit crop (Faust 1989).

The accession 48 of Puebla source may be wrongly located, this should belong to State of Mexico source (Table 4), and the accession origin must be corroborated, to determine if there is an existence of a documentation error during the arrival to the Germplasm Bank or perhaps a farmer took it many years ago from Mexico to Puebla.

The MANOVA results, as an instrument to compare regional sources, gave clues to state that the Chiapas source is statistically different ($P = 0.05$) relative to the other two sources, and should be considered as a different genetic source (genetic pool), although it can share some species, different species may be found in relation to those found in central Mexico, and this source showed the largest inter-specific variability relative to the other two studied sources. Phipps (1997) reported the opposite, for this reason it is necessary to study and to make a reclassification for the Southern Mexican *Crataegus*. Some specimens have been sent to Dr. Phipps for taxonomic corroboration.

The State of Mexico and Puebla sources cannot be established as different sources because they only differ in the CR2 (it represents only 22.49% of the total variability) and it is a minimal part of the total variability, and they should be considered as the same genetic source (genetic pool), and most of the variation is of intra-specific type variability, this regional

source have the same species and the variation would be in great part by domestication ecotypes (Borys 1996; Nieto-Ángel et al. 1997; Phipps 1997).

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported in part by scholarship 169581 of the Mexican National Council for Science and Technology (CONACYT) and by the National Service for Seed Inspection and Certification (SNICS) of the Mexican Ministry of Agriculture (SAGARPA) through Project 53 of the National System for Plant Genetic Resources— Network for Fruit Crops. The authors thank Juan López- Santiago for field assistance and help in collecting flower and leaf data and thank the Plant Science Department of the Universidad Autónoma Chapingo for permission to work in its experimental field and other facilities.

REFERENCES

- BORYS, M. W. 1996. Valores del tejocote (*Crataegus* spp.), diversificación de caracteres. Revista Chapingo Serie Horticultura 2: 51–84
- BORYS, M. W.; LESZCZYŃSKA-BORYS, H. 1994. Tejocote (*Crataegus* spp.)—planta para solares, macetas e interiores. Revista Chapingo Serie Horticultura 1: 95–107
- BORYS, M. W., VEGA-CUEN, A. 1984 Selección de tipos de tejocote *Crataegus pubescens* H. B. K. en los Estados de Chiapas, Puebla y México. Revista Chapingo 44–45: 193–199
- BÜTTNER, R. 2001. Rosaceae. In: Hanelt, P.; Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (eds.) Mansfeld's encyclopedia of agricultural and horticultural crops: except ornamentals. Springer, Berlin, pp 417–532

- CABRERA, L. G. 1992. Diccionario de Aztequismos. Ediciones Colofón, D. F., México, 166 p.
- EGGLESTON, W. W. 1909. The *Crataegi* of Mexico and Central America. Bulletin of the Torrey Botanical Club 36:501–514
- FAUST, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. Wiley, New York, USA. 338 p.
- GUO, T.; JIAO, P. 1995. Hawthorn (*Crataegus*) resources in China. Hortscience 30: 1132–1134
- HIJMANS, R. J.; GUARINO, L.; BUSSINK, C.; BARRANTES, I.; ROJAS, E. (2002) DIVA-GIS Versión 2. Sistema de información geográfica para el análisis de datos de biodiversidad. Manual. International Potato Center, Lima, 4 p.
- NIETO-ÁNGEL, R., BORYS, M. W. 1992. Banco de germoplasma de tejocote (*Crataegus* spp.) de la Republica Mexicana. Revista Chapingo 77: 126–130
- NIETO-ÁNGEL, 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 de frutales sobre tejocote (*Crataegus* spp.) como portainjerto. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 137–150
- NIETO-ÁNGEL, R.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; BORYS, M. W. 1997. Endocarp morphology as an aid for discriminating wild and cultivated Mexican hawthorn (*Crataegus mexicana* Moc. & Sesse'). Fruits 52: 317–324
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 2006. Estimación de la variabilidad interna de muestras poblacionales, mediante el análisis de componentes principales. Interciencia 31: 802–806

- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; PÉREZ-ORTEGA, S. A.; SEGURA, S.; NIETO-ÁNGEL, R.;
BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 2004. Variabilidad morfológica de tejocote (*Crataegus*
spp.) en México. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture
48: 144–148
- PAYNE, J. A.; KREWER, G. W. 1990. Mayhaw: a new fruit crop for the south. *In*: Janick, J.;
Simon, J. E. (eds.) Advances in new crops. Timber Press, Portland, USA. pp 317–321
- PHIPPS, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae, subfam.
Maloideae). SIDA Botanical Miscellany 15: 1–94
- PHIPPS, J. B.; ROBERTSON, K. R.; SMITH, P. G.; ROHRER, J. R. 1990 A checklist of the
subfamily Maloideae (Rosaceae). Canadian Journal of Botany 68: 2209–2269
- PHIPPS, J. B.; O'KENNON, R. J.; LANCE, R. W. 2003. Hawthorns and Medlars. Royal
Horticultural Society Plant Collector Guide. Timber Press. Portland, USA. 139 pp
- SAS. 1999. SAS/STAT software: changes and enhancements through release 8. SAS Institute.
Cary

Appendix 1. Collector's data for accessions of *Crataegus* from the germplasm bank of tejocote (*Crataegus* spp.) at Autonomous University of Chapingo from three regional heaps

Accession No.	Code	Place of recollection	Latitude	Longitude	Altitude	Taxonomic identification	Collector
52	CAN01	Candelaria, Chiapas	16.70	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
59	CAN02	Candelaria, Chiapas	16.70	-92.53	2320	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
67	CAN03	Candelaria, Chiapas	16.70	-92.53	2320	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1989
68	CAN04	Candelaria, Chiapas	16.70	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
69	CAN05	Candelaria, Chiapas	16.70	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
70	CAN06	Candelaria, Chiapas	16.70	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
16	MIT01	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
15	MIT02	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
22	MIT03	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
19	MIT04	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
20	MIT05	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
44	MIT06	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. gracilior</i>	Borys and Nieto, 1985
35	MIT07	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. stipulosa</i>	Borys and Nieto, 1985
51	MIT08	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
6	RNU01	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
1	RNU02	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
13	RNU03	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
9	RNU04	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
5	RNU05	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
2	RNU06	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
17	RNU07	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
23	RNU08	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
12	RRO01	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
7	RRO02	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
18	RRO03	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
21	RRO04	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
27	RRO05	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
14	RRO06	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
43	RRO07	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. sp. *</i>	Borys, 1982
4	SCC01	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
3	SCC02	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
42	SCC03	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. sp. *</i>	Borys, 1982
10	SCC04	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
8	SCC05	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982

Accession No.	Code	Place of recollection	Latitude	Longitude	Altitude	Taxonomic identification	Collector
80	SCC06	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
81	SCC07	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
82	SCC08	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
83	SCC09	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
84	SCC10	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
85	SCC11	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
88	SCC12	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
89	SCC13	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
99	SCC14	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
71	SJY01	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Barrientos, 1989
72	SJY02	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Barrientos, 1989
73	SJY03	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
74	SJY04	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
75	SJY05	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
76	SJY06	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
77	SJY07	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
29	BAT01	Batan, Mexico	19.53	-98.83	2249	<i>C. gracilior</i>	Nieto, 1983
32	BAT02	Batan, Mexico	19.53	-98.83	2249	<i>C. gracilior</i>	Nieto, 1983
38	SNTC1	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
41	SNTC2	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
50	SNTC3	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
49	SNTC4	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
34	SNTP2	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
28	SPI01	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
40	SPI02	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
36	SPI03	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
37	SPI04	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
57	SCM01	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
58	SCM02	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
66	SCM03	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
97	SCM04	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
62	TEQ01	Tequexquahuac, Mexico	19.48	-98.82	2460	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
63	TEQ02	Tequexquahuac, Mexico	19.48	-98.82	2460	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
65	TEQ03	Tequexquahuac, Mexico	19.48	-98.82	2460	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
94	ATX01	Atexcac, Puebla	19.13	-98.50	2600	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
95	ATX02	Atexcac, Puebla	19.13	-98.50	2600	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
31	CALP1	Calpan, Puebla	19.10	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
46	CALP2	Calpan, Puebla	19.10	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983

Accession No.	Code	Place of recollection	Latitude	Longitude	Altitude	Taxonomic identification	Collector
26	CALP3	Calpan, Puebla	19.10	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
30	CALP4	Calpan, Puebla	19.10	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
24	CALP5	Calpan, Puebla	19.10	-98.47	2420	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
25	CALP6	Calpan, Puebla	19.10	-98.47	2420	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Borys, 1983
33	HUE01	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
45	HUE02	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
47	HUE03	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Borys, 1983
48	HUE04	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
54	HUE05	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
55	HUE06	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
56	HUE07	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
60	HUE08	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
61	HUE09	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
86	HUE10	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Barrientos, 1988
100	HUE12	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.40	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto 1989
64	XAM01	Xamimilulco, Puebla	19.22	-98.38	2220	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
91	XAM02	Xamimilulco, Puebla	19.22	-98.38	2220	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
92	XAM03	Xamimilulco, Puebla	19.22	-98.38	2220	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
93	XAM04	Xamimilulco, Puebla	19.22	-98.38	2220	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988

* These accessions cannot be identified by Phipps (1997) and Eggleston (1909) keys

Appendix 2. Evaluated variables to Accessions of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at Autonomous University of Chapingo from three different regional sources

Principal Structure	Specific Structure	Variable	Unit
Leaves	Leaves from reproductive shoots	Area	cm ²
		Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
		Feret Diameter	
		Apex angle	Degrees
		Basal angle	Degrees
		Petiole length/Major axis length ratio	
		Number of teeth stand out	
		Number of veins	
		Area	cm ²
	Leaves from short vegetative shoots (<10 cm shoot's length)	Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
		Feret Diameter	
		Apex angle	Degrees
		Basal angle	Degrees
		Petiole length/Major axis length ratio	
		Number of veins	
	Leaves from large vegetative shoots (>10 cm shoot's length)	Area	cm ²
		Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
		Feret Diameter	
		Apex angle	Degrees
		Basal angle	Degrees
		Petiole length/Major axis length ratio	
Flower	Receptacle plus pedicel	Pedicel length	cm
		Receptacle length	cm
		Area	cm ²
	Flower's petals	Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
		Feret Diameter	
		Style length/Flower length ratio	
		Number of styles	
	Flower's structures	Flower length	cm
		Number of stamens	
		Number of Bract	
		Major axis length	cm
		Minor axis length/Major axis length ratio	
	Stamen	Roundness index	
		Feret Diameter	
	Inflorescence	Number of inflorescences per tree	
		Number of flower per inflorescence	

Principal Structure	Specific Structure	Variable	Unit
Fruit		Equatorial fruit diameter	cm
		Polar fruit diameter/ Equatorial fruit diameter ratio	cm
		Number of endocarp per fruit	
		Endocarp weigh/ Fruit weigh ratio	
		Tritable acidity	Percent
		pH of fruit	pH scale
		Total Soluble Solids	° Brix
		Croma	Hunter Lab
		Hue	Hunter Lab
		C(L)	Hunter Lab

Feret Diameter is calculated by formula $DF = \sqrt{(4 \cdot Area) / \pi}$ and Roundness Index by

$$RI = (4 \cdot \pi \cdot Area) / Perimeter^2$$

The leaves and flower variables was obtained by mean image analysis using Image tool ver 3.00 (Wilcoxon *et al.*, 1995). 20 leaves of each one of shoot type were collected in middle part of tree of shoot in sunny conditions without damage, same condition were used by flowers but these were previously dissection, and these organs were scanned using an scanner Genius Color Page Vivid Pro II Film, and processing by software PhotoImpact Version 4.2.

Fruit variables were obtained from 20 random fruits, tritable acidity was obtained by Bósquez-Molina (1992) protocol, total soluble solids were obtained by a refractometer Binko model 12213, pH was evaluated with digital potentiometer Photovolt model 5985-80, and color of fruit was evaluated by colorimeter ColorTec-PCM with hunter lab, it obtained L scale (black to white), a scale (red to green), and b scale (yellow to blue). Angle of coloration HUE was obtained by formula $HUE = \tan^{-1}(b/a)$, and Chromaticity coloration (Croma) was obtained by formula $Croma = \sqrt{a^2 + b^2}$ (McGuire, 1992).

Cited literature in Appendix 2.

- BÓSQUEZ-MOLINA, E. 1992. Manual de prácticas de laboratorio de fisiología poscosecha de frutas y hortalizas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. D. F., Mexico. 65 p.
- MCGUIRE, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. Hortscience 27: 1254-1255
- WILCOX, D.; DOVE, B.; MCDAVID, D.; GREER, D. 1995. Image tool. Version 3. Users guide. University of Texas Health Science Center. San Antonio, Texas, USA. 62 p.

Appendix 3. Eigenvectors for the Principal Components Analysis of 91 accessions of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at Autonomous University of Chapingo from three different regional sources

Specific Structure	Variable	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Leaves from reproductive shoots	Area	0.189	0.088	0.152	0.223
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.208	0.192	0.041	0.081
	Roundness index	0.012	-0.014	0.207	-0.290
	Feret Diameter	0.189	0.105	0.132	0.243
	Apex angle	-0.039	0.218	0.054	0.010
	Basal angle	-0.067	0.182	0.205	0.045
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.213	0.052	-0.010	0.185
	Number of tooth stand out	-0.102	-0.050	-0.251	0.186
	Number of veins	0.237	-0.031	0.032	-0.015
	Area	0.174	0.150	0.100	0.228
Leaves from short vegetative shoots (<10 cm shoot's length)	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.199	0.208	0.079	0.055
	Roundness index	0.078	-0.059	0.252	-0.238
	Feret Diameter	0.163	0.166	0.085	0.249
	Apex angle	-0.052	0.194	0.186	0.001
	Basal angle	-0.169	0.207	0.103	0.036
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.204	-0.004	-0.077	0.122
	Number of veins	0.237	0.017	0.069	0.028
Leaves from large vegetative shoots (>10 cm shoot's length)	Area	0.188	0.075	0.139	0.237
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.209	0.203	0.071	0.013
	Roundness index	0.083	-0.030	0.244	-0.249
	Feret Diameter	0.189	0.093	0.116	0.256
	Apex angle	-0.086	0.208	0.136	0.035
	Basal angle	-0.145	0.183	0.184	-0.038
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.191	0.077	-0.038	0.192
Receptacle plus pedicel	Pedicel length	0.157	0.213	-0.150	-0.065
	Receptacle length	0.203	0.183	-0.109	-0.107
	Area	0.126	0.240	-0.201	-0.079
Flower's petals	Minor axis length/Major axis length ratio	0.010	0.087	-0.007	0.004
	Roundness index	-0.130	0.043	0.116	-0.049
	Feret Diameter	0.128	0.241	-0.211	-0.085
	Style length/Flower length ratio	0.061	0.226	-0.189	-0.138
Flower's structures	Number of styles	0.060	0.166	-0.199	-0.126
	Flower length	0.140	-0.005	0.049	0.029
	Number of stamens	0.099	0.052	0.155	-0.089
	Number of Bract	-0.022	0.077	0.051	-0.208

Specific Structure	Variable	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Stamen	Major axis length	0.076	0.289	-0.116	-0.080
	Minor axis length/Major axis length ratio	0.025	-0.080	0.004	0.054
	Roundness index	-0.091	-0.183	0.090	0.125
Inflorescence	Feret Diameter	0.078	0.274	-0.105	-0.059
	Number of inflorescences per tree	-0.108	-0.029	0.131	0.167
	Number of flower per inflorescence	-0.066	-0.051	-0.039	0.100
	Equatorial fruit diameter	0.177	-0.052	0.232	0.040
	Polar fruit diameter/ Equatorial fruit diameter ratio	0.077	-0.119	-0.175	-0.041
Fruit	Number of endocarp per fruit	-0.117	0.037	-0.008	0.176
	Endocarp weigh/ Fruit weigh ratio	-0.143	0.073	-0.252	0.073
	Titulable acidity	-0.126	0.041	0.090	-0.071
	pH of fruit	-0.050	-0.014	-0.172	0.134
	Total Soluble Solids	-0.086	0.027	0.037	-0.048
	Croma	0.118	-0.039	0.042	0.122
	Hue	0.156	-0.113	-0.129	0.157
	C(L)	0.158	-0.082	-0.133	0.160

Appendix 4. Total canonical structures (TCS) and total canonical coefficients (TCC) from Canonical discriminant analysis for morphological variables of 91 accessions of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at Autonomous University of Chapingo from three different regional sources

Specific Structure	Variable	TCS1	TCC1	TCS2	TCC2
Leaves from reproductive shoots	Area	0.4308	0.4291	-0.1027	-1.9489
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.7770	-1.3231	-0.0563	-2.0829
	Roundness index	0.1732	-0.1783	-0.1202	-1.4504
	Feret Diameter	0.3877	-1.0923	-0.0850	1.1445
	Apex angle	-0.2568	-0.2846	0.0254	1.2862
	Basal angle	-0.3333	0.2358	-0.0235	0.8358
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.6472	0.4709	0.0209	0.5128
	Number of tooth stand out	-0.2251	0.5088	0.1192	0.7857
	Number of veins	0.6653	-0.3645	-0.0186	0.7473
	Area	0.3151	1.4347	-0.3324	-0.9629
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.7706	1.1411	-0.0014	1.4254
	Roundness index	0.3449	0.1206	0.0603	0.9544
Leaves from short vegetative shoots (<10 cm shoot's length)	Feret Diameter	0.2442	-2.6283	-0.2958	0.1790
	Apex angle	-0.2416	0.2168	-0.0067	-0.5025
	Basal angle	-0.7066	-0.8981	-0.0283	-0.7056
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.5449	0.3248	0.0705	0.3918
	Number of veins	0.6928	1.0616	-0.2715	-0.4835
	Area	0.4497	-1.2264	-0.0923	2.9017
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.7976	1.8242	-0.0273	-0.0664
Leaves from large vegetative shoots (>10 cm shoot's length)	Roundness index	0.3563	0.7534	-0.0008	0.7982
	Feret Diameter	0.4139	2.9295	-0.1136	-2.0802
	Apex angle	-0.3753	-0.1992	-0.0915	-0.3094
	Basal angle	-0.6424	-1.4119	0.0510	0.3092
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.6504	-1.3262	0.0256	-0.3815
Receptacle plus pedicel	Pedicel length	0.3682	0.9917	-0.0563	-0.0155
	Receptacle length	0.5151	1.1441	-0.1059	-0.7273
	Area	0.2170	0.4813	0.0164	7.5775
Flower's petals	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.0140	0.5391	0.0740	-0.0095
	Roundness index	-0.3544	-0.1530	0.0402	0.2652
Flower's structures	Feret Diameter	0.2170	-1.4438	-0.0199	-6.1100
	Style length/Flower length ratio	0.0415	-0.1169	-0.1252	0.0253
	Number of styles	0.0382	0.1903	-0.0941	0.3710
	Flower length	0.3877	0.0197	0.1270	0.2973
	Number of stamens	0.3242	-0.0421	-0.0560	-0.0940

Specific Structure	Variable	TCS1	TCC1	TCS2	TCC2
Stamen	Number of Bract	-0.1298	0.3021	0.0828	0.1432
	Major axis length	-0.0179	2.9094	-0.1682	-4.5119
	Minor axis length/Major axis length ratio	0.1679	0.9023	-0.0836	-0.3384
	Roundness index	-0.1095	0.3791	-0.0387	-0.6052
	Feret Diameter	-0.0052	-3.2474	-0.2087	3.1739
Inflorescence	Number of inflorescences per tree	-0.2426	0.4077	-0.0701	-0.2345
	Number of flower per inflorescence	-0.1603	-0.0862	0.0738	-0.0638
	Equatorial fruit diameter	0.5435	0.4130	0.0229	0.8168
	Polar fruit diameter/ Equatorial fruit diameter ratio	0.4557	-0.2566	0.0144	-0.5152
Fruit	Number of endocarp per fruit	-0.3767	-0.4870	0.0468	-0.3548
	Endocarp weigh/ Fruit weigh ratio	-0.4385	0.4424	0.1762	0.9762
	Titulable acidity	-0.4905	-0.3368	-0.1165	0.3323
	pH of fruit	-0.0683	0.1046	0.1719	0.6295
	Total Soluble Solids	-0.2299	0.0990	-0.1652	0.0416
	Croma	0.4675	0.5226	0.1084	0.5952
	Hue	0.5637	1.4268	-0.0603	-0.1406
	C(L)	0.5454	-0.9265	-0.0303	-0.5583

CAPITULO IV.

**MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION TO ELUCIDATE THE TAXONOMY
OF THE CENTRAL AND SOUTHERN MEXICAN *Crataegus* L. (Rosaceae)**

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA PARA ELUCIDAR LA TAXONOMÍA DE
LOS *Crataegus* L. DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO (Rosaceae)**

ABSTRACT

The genus *Crataegus* is an important plant genetic resource for small-fruit species, and it is an important part of the traditional horticulture in Mexico, but the taxonomy of this genus is not clear. At the Universidad Autónoma Chapingo there is an important germplasm bank of this genus with accessions from Central and Southern Mexico. The aim of this study was to describe the variability of these accessions of *Crataegus*, and their relationship with their taxonomy, all by means of multivariate statistical methods and numerical taxonomy. Five homogeneous groups were found which probably represent five different species. One of these species may be a new one; another was described as *C. stipulosa* (Kunth) Steud. (?) which is not that species, it is a mistake to consider it as a homonym with Peruvian specimens of *C. mexicana* DC, and this may be a new species too. The most discriminant variables are (minor axis length)/(major axis length) ratio of leaves from reproductive shoots and short vegetative shoots, number of veins of leaves from short vegetative and reproductive shoots, equatorial diameter of fruits, basal angle of leaves from large vegetative and reproductive shoots, number of teeth standing out on leaf margin from reproductive shoots, (endocarp weight)/(fruit weight) ratio, floral receptacle length, area and Feret diameter of petals, and (style length)/(flower length) ratio.

Keywords: *Crataegus* germplasm; Mexican hawthorns; Mexican plant genetic resources; Mexico's traditional fruit crop; germplasm description.

RESUMEN

El género *Crataegus* es un importante recurso fitogenético para la especie de fruto pequeño, y es una parte importante de la horticultura tradicional en México, pero la taxonomía de este

recurso genético no está clara. En la Universidad Autónoma de Chapingo hay un importante banco de germoplasma de este género con accesiones del Centro y Sur de México. El objetivo del estudio fue describir la variabilidad de dichas accesiones de *Crataegus*, y su relación con su taxonomía, todo por medio de métodos estadísticos multivariados y de taxonomía numérica. Cinco grupos homogéneos se encontraron que probablemente representan a cinco especies diferentes. Una de estas especies puede ser nueva, y la especie que fue descrita como *C. stipulosa* (Kunth) Steud. (?) es un error al considerar a esta especie como una homonimia con material peruano, y puede ser una nueva especie también. La mayoría de las variables discriminantes relación (longitud del eje menor) / (longitud del eje mayor) de hojas de brotes reproductivos y brotes vegetativos cortos, número de venas de las hojas de brotes vegetativos cortos y reproductivos, diámetro ecuatorial de los frutos, ángulo basal de hojas procedentes de brotes vegetativo largos y brotes reproductivos, número de dientes superficiales de las hojas de brotes reproductivos, relación (peso del endocarpio) / (peso del fruto), longitud del receptáculo floral, área y diámetro de Feret de pétalos, y la relación (longitud del estilo) / (longitud de la flor).

Palabras Clave: Germoplasma de *Crataegus*; Recursos fitogenéticos mexicanos; cultivos frutícolas tradicionales de México, Descripción de germoplasma.

INTRODUCTION

The genus *Crataegus* is distributed in almost all of the world, from Europe, Middle East, and East Asia, to North America (including Mexico, Central America, and outlier points in Peru and Ecuador), in the temperate zones of the Northern Hemisphere (from the temperate desert

to high mountains or boreal forest); but there are no native *Crataegus* species in the Southern Hemisphere (Phipps, 1997; Phipps *et al.*, 2003).

In Mexico, there are approximately 15 species, 11 are from Northern Mexico, two or more are from Central Mexico, two or more are from Southern Mexico, and at least 10 are endemic (Eggleston, 1909; Phipps, 1997; Núñez-Colín *et al.*, 2004). For this reason, in Mexican *Crataegus* species an important morphological variability exists.

In Mexico, tejocote (tehocote for English pronunciation) is the most common name for this fruit tree and its fruits, and it was used since Pre-Hispanic times by Mesoamerican people. It was cultivated in the villages' gardens and afterwards it became an important part of Mesoamerican fruit culture. Probably the *Crataegus* materials from South America were obtained by the Inca people by trading with the Aztec people (Nieto-Ángel and Borys, 1993). Nowadays, this fruit is used in traditional "all saints' party", when Mexicans pray for the dead people, and in the Christmas parties that take place the nine days before Christmas, mainly as punch and into the piñatas. It is an important part of the Mexican culture (Borys and Leszczyńska-Borys, 1994; Leszczyńska-Borys and Borys, 2004).

In Mexico, there is a Germplasm Bank of tejocote, the collection was founded in 1981 by Dr. Michal W. Borys (Nieto-Ángel and Borys, 1992) and it contains accessions from the states of Puebla, Mexico (Central Mexico), and Chiapas (Southern Mexico), but it does not have a correct taxonomic classification of these accessions (Núñez-Colín *et al.*, 2004). This gene bank, however, embraces a considerable amount of morphological variability.

Characterization studies of this collection by researchers of the Universidad Autónoma Chapingo, Mexico led to the definition of UPOV's guidelines for the test of distinctness, uniformity and stability (UPOV, 2008).

The objective of this study was to carry out a classification based on numerical taxonomy methods to deduce the possible taxonomy of the *Crataegus* germplasm from Central and Southern Mexico and to describe the intra- and inter-group variability of the accessions based on the classification study mentioned above and on multivariate statistical methods.

MATERIALS AND METHODS

PLANT MATERIAL

Ninety one accessions of the Germplasm Bank of Tejocote of the Universidad Autónoma Chapingo from three origins (50 from Chiapas, 18 from the State of Mexico, and 23 from Puebla were studied, see appendix 1 to the Chapter III). This gene bank is located in the experimental field of the University at 19° 29' of North Latitude and 98° 53' of West Longitude, at an altitude of 2240 m. above sea level.

MORPHOLOGICAL DATA SET

Fifty one morphological variables were evaluated; 24 were of leaf from different shoot types, 17 of flower and 10 of fruit. All of them are important in the taxonomic keys (Table1).

Table 1. Variables evaluated on accessions of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo.

Principal Structure	Specific Structure	Variable	Unit
Leaves	Leaves from reproductive shoots	Area	cm ²
		Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
		Feret diameter	
		Apex angle	Degrees
		Basal angle	Degrees
		Petiole length/Major axis length ratio	
		Number of teeth stand out	
		Number of veins	
		Area	cm ²
	Leaves from short vegetative shoots (<10 cm shoot's length)	Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
		Feret diameter	
		Apex angle	Degrees
		Basal angle	Degrees
		Petiole length/Major axis length ratio	
		Number of veins	
		Area	cm ²
		Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
	Leaves from large vegetative shoots (>10 cm shoot's length)	Feret diameter	
		Apex angle	Degrees
		Basal angle	Degrees
		Petiole length/Major axis length ratio	
		Pedicel length	cm
		Receptacle length	cm
		Area	cm ²
		Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
		Feret diameter	
Flower	Flower's petals	Style length/Flower length ratio	
		Number of styles	
		Flower length	cm
		Number of stamens	
	Flower's structures	Number of Bract	
		Major axis length	cm
		Minor axis length/Major axis length ratio	
		Roundness index	
	Stamen	Feret diameter	
		Number of inflorescences per tree	
		Number of flower per inflorescence	
		Equatorial fruit diameter	cm
Fruit	Inflorescence	Polar fruit diameter/ Equatorial fruit diameter ratio	cm
		Number of endocarp per fruit	
		Endocarp weigh/ Fruit weigh ratio	
		Tritatable acidity	Percent
		pH of fruit	pH scale
		Total Soluble Solids	° Brix
		Croma	Hunter Lab
		Hue	Hunter Lab
		C(L)	Hunter Lab

Feret Diameter (DF) was calculated with the formula $DF = \sqrt{(4 \cdot Area) / \pi}$ and Roundness Index (RI) by

$$RI = \frac{(4 \cdot \pi \cdot Area)}{Perimeter^2}$$

STATISTICAL ANALYSES

Data were subjected to multivariate analyses (Sokal and Sneath, 1963; Ward, 1963; McNeill, 1984; Johnson, 1998; Núñez-Colín and Barrientos-Priego, 2006). A hierarchical clustering procedure using Ward's minimum variance method (Ward, 1963), and Hotelling's pseudo statistic t^2 (Hotelling, 1951) was carried out to define the correct number of groups to establish similarity and dissimilarity among accessions. Based on the groups obtained by the cluster analysis, an internal variability coefficient by means Principal Component Analysis, that was used as Intra-group variability test, was done (Núñez-Colín and Barrientos-Priego, 2006), and a Canonical Discriminant Analysis with Mahalanobis distance and Multivariate Analysis of Variance (modified), that were used as inter-group variability test, were performed. The Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) was done with the General Linear Model Procedure with the first three canonical roots as dependent variables, based on the same model that was used in the Canonical Discriminant Analysis. And Tukey's honest least significant difference was also used to compare statistically the means (Johnson, 1998). All computations were performed using SAS version 8 (SAS, 1999).

RESULTS

CLUSTER ANALYSIS

Ward's clustering procedure allowed the identification of five groups (Fig. 1) based on the Hotelling's pseudo statistic t^2 (Fig. 2). Group 1 (13 accessions) and group 5 (28 accessions) are very similar; all of the accessions are from the states of Mexico and Puebla except for two accessions from Chiapas in group 5. Groups 2, 3 and 4 are similar and all of the accessions are from Chiapas except for two wild materials from Puebla in group 4.

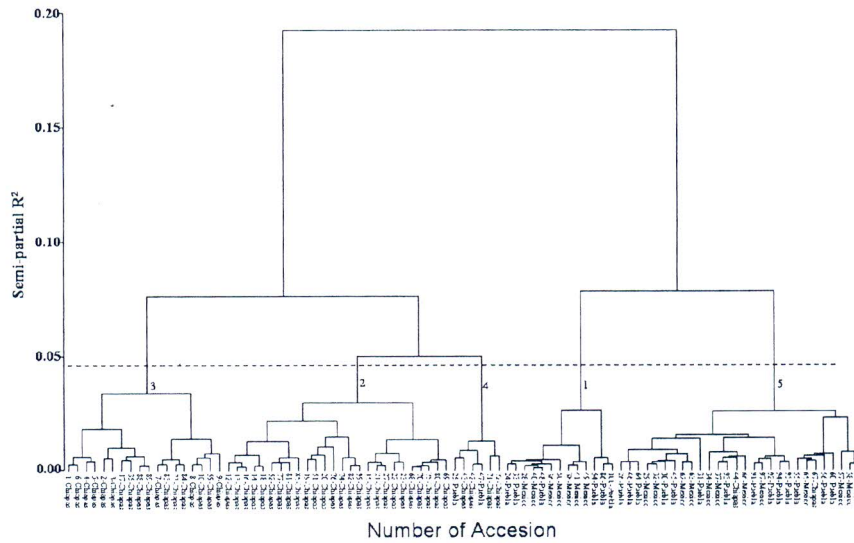


Fig. 1. Dendrogram of 91 tejocote (*Crataegus* spp.) accessions from Central and Southern Mexico, generated from morphological characters, using Euclidian distances and Ward's clustering method

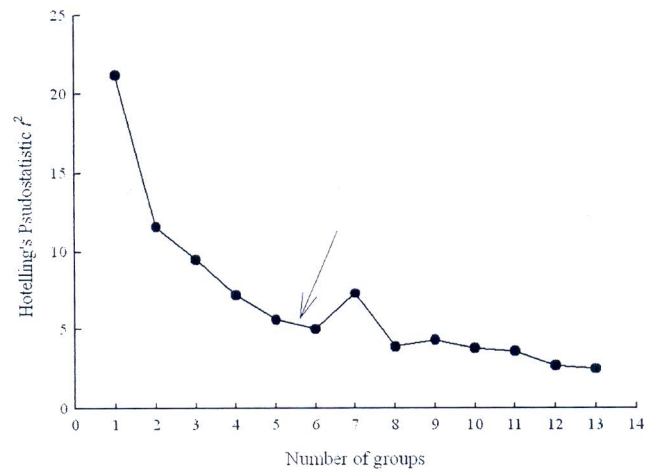


Fig. 2. Hotelling's pseudo-statistic t^2 and number of recommended groups as a test of partition for the dendrogram obtained from tejocote (*Crataegus* spp.) accessions using morphological characteristics

INTRA-GROUP VARIABILITY ANALYSIS

The intra-group variability of each group produced by cluster analysis was obtained with the formula derived by Núñez-Colín and Barrientos-Priego (2006) using the first four principal components representing 57.71 % of the total variability, and all groups were relatively homogeneous, with the group 3 being the most heterogeneous (Fig. 3).

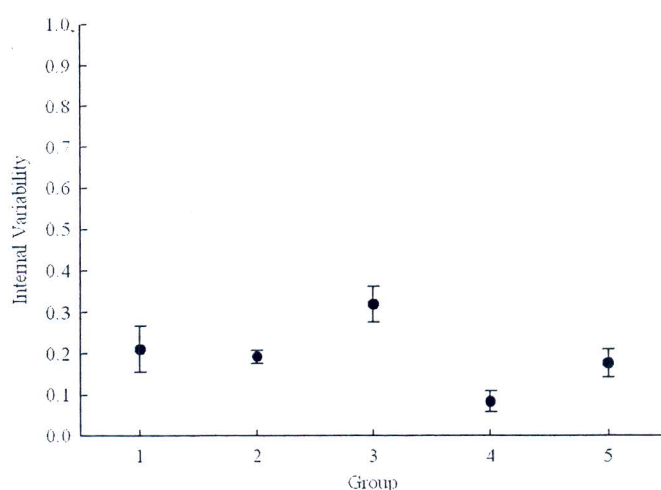


Fig. 3. Internal variability $\pm$ standard error (Núñez-Colín and Barrientos-Priego, 2006) of 91 accessions of *Crataegus* from the germplasm bank of tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo from five different groups

CANONICAL DISCRIMINANT ANALYSIS

The inter-group variability of the groups produced by cluster analysis was obtained by Canonical Discriminant Analysis. The total variability was concentrated in four canonical roots (Table 2): the first canonical root (CR1) accounted for 59.25 % of the total variability and it was associated with the following variables: (minor axis length)/(major axis length) of leaves from reproductive shoots ratio, number of veins of leaves from short vegetative and reproductive shoots and equatorial diameter of fruits. The second canonical root (CR2)

Tab

accounted for 21.68 % of the total variability and it was associated with: basal angle of leaves from large vegetative and reproductive shoots, and (minor axis length)/(major axis length) ratio of leaves from short vegetative shoots. The variability accounted for by the third canonical root (CR3) was 11.37 % of total variability and it was associated with the number of outstanding teeth of the leaves from reproductive shoots, and (endocarp weigh)/(fruit weigh) ratio. Finally, the variability accounted for by the fourth canonical root (CR4) was 7.70 % of the total variability and it was associated with receptacle length, area and Feret diameter of petals, and style length/flower length ratio (Appendix 2).

Table 2. Eigenvalues from Canonical Discriminant Analysis for morphological variables of 91 accessions of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo.

Canonical root	Eigenvalue	Proportion of variance	Cumulative variance	Approximate F value	$P > F$
1	33.5156	0.5925	0.5925	7.67	<0.0001
2	12.2656	0.2168	0.8093	5.29	<0.0001
3	6.4310	0.1137	0.9230	4.12	<0.0001
4	4.3562	0.0770	1.0000	3.54	<0.0001

In a three-dimensional representation, obtained with the first three canonical roots, it is possible to observe a very well defined separation of the five groups (Fig. 4).

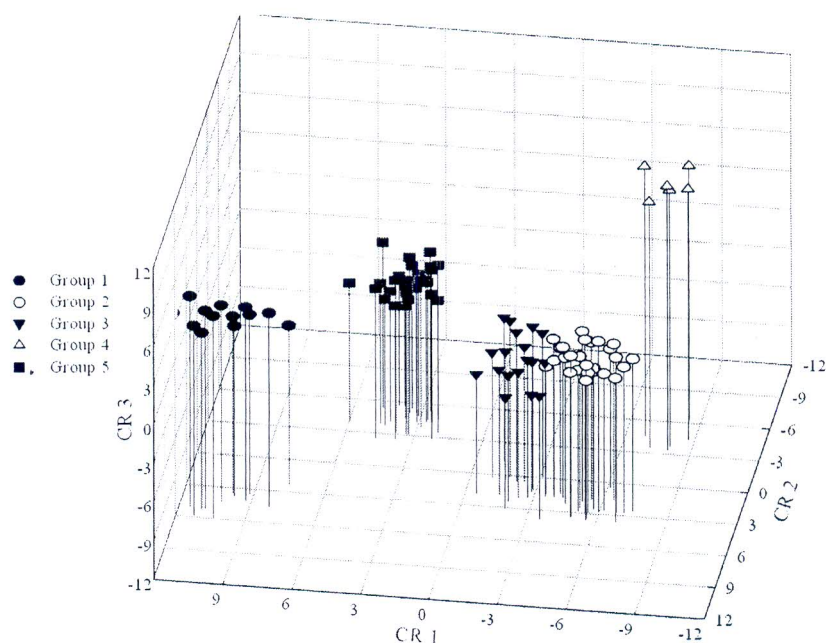


Fig. 4. Three-dimensional representation of 91 accessions of *Crataegus* from the germplasm bank of tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo classified into five different groups in the first three canonical roots

Based on Mahalanobis distance, all groups were mutually different with P value < 0.0001 , and it was necessary a MANOVA to identify the canonical roots associated with the differences among groups (Table 3).

Table 3. Mahalanobis distance among 5 groups (above diagonal) and its P value of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo.

Group	1	2	3	4	5
1		258.5102	194.2072	432.09539	134.07249
2	<0.0001		45.5484	133.85402	124.55073
3	<0.0001	<0.0001		161.74994	81.71417
4	<0.0001	<0.0001	<0.0001		213.41685
5	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	

MULTIVARIATE ANALYSIS OF VARIANCE (MANOVA)

The first datum of the MANOVA is the Wilks' Lambda. The value of it was 0.00005487 that indicates that statistically significant differences among vector of means of the groups exist (P value <0.0001), and with the General Linear Model Procedure for four canonical roots as dependent variables in one way ANOVA, each canonical root was compared among groups, and in all canonical roots significant differences ($P \leq 0.01$) were found (Table 4).

Table 4. Multivariate analysis of variance for dependent variables CR1, CR2, and CR3 of Canonical Discriminant Analysis by five different groups of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo.

Dependent variable	Mean square	F Value	R ²
CR1	720.5858170**	720.59	0.971028
CR2	263.7106970**	263.71	0.924617
CR3	138.2673955**	138.27	0.865429

** = significant with $P \leq 0.01$

In the first canonical root all groups were statistically different, but in the other canonical roots no differences were observed. In the second canonical root between groups 4 and 5 a significant difference ($P \leq 0.05$) was not observed. In the third canonical root the group 5 did not show significant differences ($P \leq 0.05$) relative to groups 2 and 3 (Table 5).

Table 5. Comparison among five groups of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo for CR1, CR2, and CR3 by mean Tukey's HDS

Comparison between groups	Differences between means to CR1	Differences between means to CR2	Differences between means to CR3
Group1-Group2	15.5148*	2.1099*	3.0442*
Group1-Group3	12.3049*	3.2295*	4.3551*
Group1-Group4	17.9850*	8.8313*	-5.3188*
Group1-Group5	6.6496*	8.7319*	3.6240*
Group2-Group3	-3.2099*	1.1196*	1.3108*
Group2-Group4	2.4702*	6.7214*	-8.3631*
Group2-Group5	-8.8652*	6.6221*	0.5797
Group3-Group4	5.6801*	5.6018*	-9.6739*
Group3-Group5	-5.6553*	5.5024*	-0.7311
Group4-Group5	-11.3354*	-0.0994	8.9428*

* = significant with $P \leq 0.05$

DISCUSSION

Group 1 was identified as *C. mexicana* DC by Phipps' identification key (1997), and this group included commercial materials, and all accessions were from the states of Puebla (6) and Mexico (7). This group is the most promising to contain superior germplasm in terms of fruit production.

Group 2 was identified as *C. nelsoni* Eggl. by Eggleston's identification key (1909) except that fruit color and other characters were included to produce specific divergence. All accessions

were from Chiapas. Eggleston (1909) reported this species based on only one specimen from this place exclusively

Group 3 was identified as *C. stipulosa* (Kunth) Steud. (?) based on Eggleston's identification key (1909); all accessions of this group were from Chiapas. This species is different from the one reported by Phipps *et al.* (2003) who considered it as a synonym of *C. mexicana* DC. Phipps *et al.* (1990) reported *C. stipulosa* (Kunth) Steud. from Chiapas and Guatemala but based on the study done by Eggleston (1909). This species from Chiapas may be confused with the originally reported by Humboldt *et al.* (1824) in Peru and Ecuador as a *Mespilus* and reclassified as *Crataegus* by Steudel (1841). Something similar could have occurred with the classification done by Eggleston; but *C. mexicana* DC and this species may belong to the same series (series *Mexicanae* (Loud.) Rehder) or may belong to series *Crus-galli* (Loud.) Rehder. In this species intra specific taxa could be found and more likely these could be different subspecies.

Group 4 was not identified; these accessions, may be a new species, are not reported yet (Núñez-Colín *et al.*, 2004). Two of these accessions were collected from Puebla and four from Chiapas. Some specimens were sent for identification to Dr. James Phipps and his preliminary opinion is that it may be a new species.

Group 5 was identified as *C. gracilior* Phipps by Phipps' identification key (1997); 15 accessions were from Puebla, 11 from the state of Mexico and 2 from Chiapas. This group may have some hybrids between *C. mexicana* and *C. gracilior*, because some plants showed

inconsistencies with the identification, but this is difficult to be proved based on morphological variables.

With respect to the intra-group variability, all groups were relatively homogeneous. Group 3 was the most heterogeneous. In this group there could be two or more subspecies, and in groups 1, 2 and 5 there may be some botanical varieties or differences among cultivated, semi-cultivated, and wild materials. Only group 4 is totally homogeneous.

According to the Canonical Discriminant Analysis all organs of the plant were important to classify the species of *Crataegus*. Only groups 5 and 1 showed positive values in the first canonical root, and showed larger fruits, more veins in leaves from reproductive and large vegetative shoots, and elongated leaves. Other three groups showed negative values in the first canonical root (CR1), and they have opposite characteristics. Groups 1, 2, and 3 were associated with positive values in the second canonical root (CR2), and they presented rounder leaves from short vegetative shoots, and major basal angles in leaves from reproductive and large vegetative shoots. Other two groups showed negative values in the second canonical root, and they have contrasting characters. Group 4 showed positive values in the third canonical root (CR3), and its accessions showed more teeth standing out on leaf margin and major (endocarp weigh)/(fruit weigh) ratio. Groups 3 and 5 showed negative values in the third canonical root, and they have contrasting characters. The other two groups (1 and 2) showed values close to zero in the third canonical root, because that presented intermediate characteristics relative to the other three groups.

From the results obtained with MANOVA, group 1 showed the largest fruit size, followed by group 5 with significant difference ($P \leq 0.05$). Group 1 is the best in terms of superior germplasm for fruit production. These results agree with those obtained by Núñez-Colín *et al.* (2004), Nieto-Ángel *et al.* (1997), and Borys (1996).

Groups 5 and 4 did not differ significantly ($P \leq 0.05$) in basal angle of leaves from reproductive and large vegetative shoots, both groups presented minor basal angles.

Group 5 did not present significant differences with groups 2 and 3 in (endocarp weight)/(fruit weight) ratio, but between groups 2 and 3 there were significant differences ($P \leq 0.05$) and the minor (endocarp weight)/(fruit weight) ratio was for group 3.

Group 4 presented shallow lobes in comparison with the other four groups that were quite unlobed, and group 4 may belong to series *Baroussanae* Phipps, but this series has not been reported in the Central and Southern Mexico, so this group is probably a new species; other groups belong to series *Mexicanae* (Loud.) Rehder (Phipps *et al.* 1990; Phipps 1997; Phipps *et al.*, 2003), except *C. gracilior* Phipps, classified into series *Crus-galli* (Loud.) Rehder (Phipps 1997; Phipps *et al.*, 2003), but it may have been misclassified because is very similar to *C. mexicana* DC.

All results of this paper demonstrate that the description of Eggleston (1909) was approximately correct, because in the Monograph of Northern Mexican *Crataegus* by Phipps (1997), it was based on the Eggleston's description, starting from six species described by Eggleston from Central and Northern Mexico, Phipps found six new species, seven new botanical varieties, and *C. parryana* was reclassified as *C. rosei* ssp. *parryana* (Eggl.) Phipps,

and Phipps showed two species reported only from United States, but the author did not classify species for Southern Mexico and Guatemala, but more species may be found besides the two species that Eggleston described; and Eggleston's *C. stipulosa* (?) is different from *C. stipulosa* (Kunth) Steud., Phipps *et al.* (2003) considered the last species as synonym of *C. mexicana* DC, but it is different from the species described by Eggleston.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported in part by Mexico's National Council for Science and Technology (CONACYT) by a scholarship number 169581 and for National Service of Seed's Identification and Certification (SNICS) of the Mexican Agriculture, Cattle rising, Rural development, Fish and Feeding Secretary (SAGARPA) by the National Plant Genetics Resources System-Fruit Crop Net Project number 53 to Dr. Raúl Nieto-Ángel

REFERENCES

- BORYS, M.W. 1996. Valores del tejocote (*Crataegus* spp.) diversificación de caracteres. Revista Chapingo Serie Horticultura 2: 51-84
- BORYS, M. W.; LESZCZYŃSKA-BORYS, H. 1994. Tejocote (*Crataegus* spp.) – planta para solares, macetas e interiores. Revista Chapingo Serie Horticultura 1: 95-107
- EGGLESTON, W. W. 1909. The *Crataegi* of Mexico and Central America. Bulletin of the Torrey Botanical Club 36: 501-514
- HOTELLING, H. 1951. A generalized t test and measure of multivariate dispersion. In: Neyman J. (ed.). Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley: University of California Press, pp. 23-41

- HUMBOLDT, F. H. A. VON; BONPLAND, A. J. A. G.; KUNTH, C. S. 1824. Nova Genera et Species Plantarum vol. 6. Lutetiae Parisiorum, sumtibus Librariae Graeco-Latino-Germanicae, Paris, France. 602 p.
- JOHNSON, D. E. 1998. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. International Thomson Editores, D. F., México. 566 p.
- LESZCZYŃSKA-BORYS, H.; BORYS, M. W. 2004. Horticulture in Mexican Culture. Acta Horticulturae 639: 309-316
- MCNEILL, J. 1984. Numerical taxonomy and biosystematics. In: Grant W. F. (ed.) Plant Biosystematics. Academic Press Canada. Toronto, Canada. pp. 395-415
- NIETO-ÁNGEL, R.; BORYS, M. W. 1992. Banco de germoplasma de tejocote (*Crataegus* spp.) de la Republica Mexicana. Revista Chapingo 77: 126-130
- NIETO-ÁNGEL, R.; BORYS, M. W. 1993. El tejocote (*Crataegus* spp.), un potencial frutícola de zonas templadas. Revista Fruticultura Profesional 54: 64-71
- NIETO-ÁNGEL, R.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; BORYS, M. W. 1997. Endocarp morphology as an aid for discriminating wild and cultivated Mexican hawthorn (*Crataegus mexicana* Moc. & Sessé). Fruits 52: 317-324
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 2006. Estimación de la variabilidad interna de muestras poblacionales, mediante el análisis de componentes principales. Interciencia 31: 802-806
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; PÉREZ-ORTEGA, S. A.; SEGURA, S.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 2004. Variabilidad morfológica de tejocote (*Crataegus* spp.) en México. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 48: 144-148

- PHIPPS, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae, subfam. Maloideae). SIDA Botanical Miscellany 15: 1-94
- PHIPPS, J. B.; O'KENNON, R. J.; LANCE, R. W. 2003 Hawthorns and Medlars. Timber Press, Portland, Oregon, USA. 139 p.
- PHIPPS, J. B.; ROBERTSON, K. R.; SMITH, P. G.; ROHRER, J. R. 1990. A checklist of the subfamily Maloideae (Rosaceae). Canadian Journal of Botany 68: 2209-2269
- SAS. 1999. SAS/STAT software: changes and enhancements through release 8. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA
- SOKAL, R. R.; SNEATH, P. H. A. 1963. Principles of Numerical Taxonomy, Freeman, San Francisco, USA. 359 p.
- STEUDEL, E. T. 1841. Nomenclator botanicus seu: Synonymia plantarum universalis : enumerans ordine alphabetico nomina atque synonyma, tum generica tum specifica. Et a Linnaeo et a recentioribus de re botanica scriptoribus plantis phanerogamis imposita. Editio secunda ex nova elaborata et aucta. Typis et sumptibus J. G. Cottae, Stuttgartiae et Tubingae, Stuttgart and Tübingen, Germany. 1689 p.
- UPOV. 2008. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability for Hawthorn (*Crataegus* spp.) – TG/HAWTH (Proj. 4). Thirty-seventh session of Technical Working Party for Fruit Crops. International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Seoul, Korea. 32 p.
- WARD, J. H. Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistics Association 58: 236-244

Appendix 2. Total canonical structures (TCS) and total canonical coefficients (TCC) from Canonical Discriminant Analysis for morphological variables of 91 accessions of *Crataegus* from the Germplasm Bank of Tejocote at the Universidad Autónoma Chapingo.

	Variable	Canonical Root 1		Canonical Root 2		Canonical Root 3		Canonical Root 4	
		TCS	TCC	TCS	TCC	TCS	TCC	TCS	TCC
Leaves from reproductive shoots	Area	0.6657	3.6427	0.4985	4.5210	0.3816	-1.4745	0.0843	3.4263
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.6918	-2.4873	0.4557	0.2659	-0.0421	0.9120	-0.1516	-0.2553
	Roundness index	0.2503	-0.9269	-0.0196	-0.2542	-0.3312	0.0982	-0.0113	-0.2901
	Feret diameter	0.6102	-4.2618	0.4805	-4.5524	0.3669	2.7948	0.1061	-2.5757
	Apex angle	-0.1813	0.4987	0.2171	-0.3928	-0.0070	-0.1999	0.1057	-0.0405
	Basal angle	-0.1329	0.7590	0.5759	0.4915	-0.1084	-0.6533	-0.0673	0.0830
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.6173	-0.0364	0.2769	-0.2807	-0.0449	0.1525	-0.2881	0.4592
	Number of tooth stand out	-0.4432	0.0735	-0.1719	-0.3439	0.5992	0.7140	-0.2858	-0.4997
	Number of veins	0.6918	-0.2220	-0.1534	0.2960	0.1182	-0.2880	0.2289	-0.0734
	Area	0.5378	1.9499	0.5088	-2.0393	0.3800	4.3416	0.0727	-3.7024
Leaves from short vegetative shoots (<10 cm shoot's length)	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.6517	1.7346	0.5211	0.9724	-0.0427	2.0001	-0.0368	-1.0829
	Roundness index	0.5152	0.8231	0.0324	0.8670	-0.3392	-0.5743	0.0277	-0.0375
	Feret diameter	0.4547	-1.9780	0.4991	4.3937	0.3662	-5.5386	0.0875	3.0057
	Apex angle	-0.0902	-0.5011	0.4130	0.1514	-0.1751	-0.8888	0.1054	0.8193
	Basal angle	-0.5594	-1.2950	0.4951	-1.3268	-0.1509	-0.5346	0.0343	1.0351
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.5984	-0.4479	0.1195	-0.1350	0.0853	0.2260	-0.2930	0.1921
	Number of veins	0.7750	1.0938	-0.0299	-0.7223	0.1243	0.0834	0.1220	-0.5525
	Area	0.6630	0.5662	0.4533	3.6033	0.3796	0.4726	0.0586	0.9059
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.6710	2.1662	0.5061	0.8419	-0.2771	-2.4512	-0.0527	0.0668
	Roundness index	0.5166	0.9995	0.0026	-0.5587	-0.3574	0.2481	-0.0277	-0.2209
Leaves from large vegetative shoots (>10 cm shoot's length)	Feret diameter	0.6103	1.2138	0.4259	-3.5854	0.3638	1.1096	0.0801	-0.9923
	Apex angle	-0.2263	-0.2389	0.3650	-0.6689	-0.3205	1.0198	-0.0172	-0.8497
	Basal angle	-0.4200	-1.1394	0.5665	0.7378	-0.3588	0.4736	-0.0275	0.3594
	Petiole length/Major axis length ratio	-0.5588	-0.5683	0.3913	1.4087	0.0305	-0.6270	-0.2327	-0.0952
	Pedicel length	0.2211	0.8809	0.0160	-0.4278	0.2537	0.1559	0.6337	0.0671
	Receptacle length	0.3959	1.8805	-0.0178	1.2246	0.1591	-0.6763	0.7343	0.7963
	Area	0.0065	-4.3452	-0.0663	0.4064	0.2009	-2.6858	0.7536	0.2466
	Minor axis length/Major axis length ratio	-0.1047	-0.3453	-0.0059	-0.3744	0.0671	0.5320	0.2006	0.2710
	Roundness index	-0.3275	-0.1232	0.1492	0.1647	-0.3083	-0.5563	-0.0950	-0.1373
	Feret diameter	0.0020	3.3738	-0.0758	-1.0555	0.2229	3.3854	0.7662	-1.0538
Flower's structures	Style length/Flower length ratio	-0.1671	-1.3425	-0.0271	-0.4563	0.1074	0.0146	0.7578	1.2140
	Number of styles	-0.1296	-0.6800	-0.0850	-0.3332	0.2990	-0.2330	0.4574	0.2082
	Flower length	0.4139	-0.3104	-0.0623	-0.0697	-0.0663	-0.3277	0.0955	0.2703
	Number of stamens	0.3895	-0.4166	0.0449	-0.8128	-0.1765	0.5515	0.1452	-0.3612
	Number of Bract	-0.0670	0.1297	0.0852	-0.0756	-0.2064	-0.4009	0.2095	0.2834
	Major axis length	-0.0990	2.4501	0.1488	-4.8808	0.2279	1.7298	0.6264	4.2762
	Minor axis length/Major axis length ratio	0.1603	0.5516	-0.1188	-1.6382	0.1466	0.4342	-0.2047	0.4067
	Roundness index	-0.0743	0.1354	0.0416	-0.4912	-0.0817	0.2328	-0.5309	0.3705
	Feret diameter	-0.0718	-2.3959	0.1614	5.6882	0.2417	-1.5406	0.5599	-3.2641
	Number of inflorescences per tree	-0.1130	0.7180	0.1384	-0.1255	-0.1036	-0.4667	-0.4772	-0.5134
Inflorescence	Number of flower per inflorescence	-0.1181	0.4939	-0.0658	-0.3691	-0.1193	-0.0904	-0.2509	-0.0903

Variable	Canonical Root 1		Canonical Root 2		Canonical Root 3		Canonical Root 4	
	TCS	TCC	TCS	TCC	TCS	TCC	TCS	TCC
Equatorial fruit diameter	0.7382	0.2535	0.1384	-0.2260	-0.1079	1.0466	0.0166	-0.5563
Polar fruit diameter/ Equatorial fruit diameter ratio	0.2269	0.0004	-0.5058	-0.4436	0.3029	0.4325	0.0143	0.2895
Number of endocarp per fruit	-0.3009	-0.0708	0.2487	0.2293	0.2422	-0.3532	-0.3471	-0.1704
Endocarp weigh/ Fruit weigh ratio	-0.6751	-1.0543	-0.0908	-0.8425	0.4396	1.9216	-0.0546	-0.9390
Tritatable acidity	-0.3280	-0.2718	0.3011	0.0134	-0.1137	0.2518	-0.2059	-0.3879
pH of fruit	-0.2549	-0.2272	-0.1126	0.4558	0.1597	-0.0393	0.0289	0.1792
Total Soluble Solids	-0.1924	0.0465	0.1440	-0.1522	-0.0872	0.4635	-0.0352	0.2423
Croma	0.4526	0.3985	-0.0323	0.3087	-0.1172	-0.6473	0.0791	-0.0588
Hue	0.4204	0.2883	-0.3675	-0.8201	0.2066	0.2137	0.0423	-0.1595
C(L)	0.4142	0.4633	-0.3455	0.2833	0.1485	-0.5476	0.0988	0.5778

CAPITULO V.

IDENTIFICATION OF MORPHOMETRIC TRAITS FOR SCREENING OF TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) GERMPLASM FOR BETTER YIELD POTENTIAL

IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS PARA LA SELECCIÓN DE GERMOPLASMA DE TEJOCOTE (*Crataegus* spp.) CON UN MEJOR POTENCIAL DE RENDIMIENTO.

Cita correcta:

Núñez-Colín C A, Sahagún-Castellanos J, González-Andrés F, Barrientos-Priego A F, Segura S, Nieto-Ángel R (2009) Identification of morphometric traits for screening of tejocote (*Crataegus* spp.) germplasm for better yield potential. *Fruits* 64(1): en prensa

ABSTRACT

Tejocote (*Crataegus* spp.) is an edible fruit species that some Mesoamerican cultures have cultivated since pre-Hispanic times in Mexico; however, this fruit crop has not undergone formal breeding. It is unknown whether morphological markers associated with fruit size exist to be used for indirect selection; this could be important, because this species has a large cycle. Our research aimed at studying phenotypic correlations between leaf and stomata characters with fruit weight; such correlations might be used as morphological markers for selection of superior germplasm for fruit weight. Pearson's correlation coefficients of 36 leaf variables and three leaf stomata variables with fruit weight were calculated in 94 genotypes of four different species. As expected, the correlations calculated for each species and for the species pool differed. However, the number of veins in leaves of reproductive shoots was positively correlated with fruit weight ($P \leq 0.05$) in the two most important horticultural species. On the other hand, *C. mexicana* was the best option to select superior germplasm and the most important variables correlated with fruit weight in this species were leaf major axis length of large vegetative shoots, leaf elongation ratio and number of veins of reproductive shoot leaves. These variables could be good selection indices or morphological markers that can be used for early screening of germplasm for yield potential.

Key words: Mexico, *Crataegus* spp., plant breeding, choice of species, selection criteria, fruits, yields

RESUMEN

El tejocote (*Crataegus* spp.) es un frutal que algunas culturas mesoamericanas cultivaban desde épocas prehispánicas en México; sin embargo, esta especie carece de mejoramiento genético formal. Se desconoce si existen marcadores morfológicos asociados al tamaño de fruto que pudieran ser utilizados para selección indirecta; que pueden ser importantes por ser una especie de ciclo largo. Esta investigación tuvo como objetivo determinar el valor de las correlaciones fenotípicas entre caracteres de hoja y estomas con el peso de fruto, como marcadores morfológicos para la selección indirecta de germoplasma superior en rendimiento de fruto. Se estimó el coeficiente de correlación de Pearson de 36 variables de hoja y tres de estomas con el peso de fruto en 94 genotipos de cuatro especies de *Crataegus*. Como se esperaba, las correlaciones difieren en las especies y en el conjunto de especies. Sin embargo, el número de venas de hojas de brotes reproductivos se correlacionó positiva y significativamente ($P \leq 0.05$) con el peso de fruto en las dos especies hortícolas más importantes. Por otra parte, *C. mexicana* es la mejor opción para seleccionar germoplasma superior para peso de fruto y las variables más correlacionadas con esta variable son la longitud del eje mayor de hojas de brotes vegetativos largos, el índice de elongación y el número de venas en hojas de brotes reproductivos. Estas variables podrían ser buenos marcadores morfológicos de selección temprana, puesto que se pueden seleccionar plantas sin producción de frutos, que pueden llegar a tener una producción satisfactoria.

Palabras clave: México, *Crataegus* spp., fitomejoramiento, elección de especies, criterios de selección, frutas, rendimiento.

INTRODUCTION.

Tejocote (*Crataegus* spp.) belongs to the Rosaceae family, Maloideae subfamily. Thirteen species have been identified from Northern and Central Mexico, and, from the South, two or more species may exist [1–3]. In Mexico, this genus is widely distributed, mainly in the Sierra Madre Oriental, the Neo-volcanic axis and the highland of Chiapas, principally in cold and temperate weather, at altitudes between (400 to 3000) m above sea level [2, 4].

Tejocote has been cultivated and it was object of selection since pre-Hispanic times in Mexico. However, tejocote is a fruit crop species without formal breeding; it belongs to a genus whose taxonomy is complicated because of its many reproductive problems such as high polyploidy (2x, 3x, 4x, 5x, and 6x, with $x = 17$) [5], sterile male agamospermy, hybridism [6, 7], apomixis [7–9], pseudogamy and gametophytic selfincompatibility, as it occurs in apple (*Malus x domestica* Borkh.) [10]. Besides, the time required for a breeding cycle that includes sexual reproduction, juvenile period and evaluation of fruit yield may be too long for the plant breeder. Moreover, in some fruit species of the Rosaceae family, the leaf characters have been used as morphological markers associated with fruit yield characters [11, 12].

The objective of our research was to identify the leaf and stomata variables correlated with the fruit weight, and, in this way, to establish these variables as morphological markers to be used for indirect selection, collection and breeding programs to improve fruit yield.

MATERIALS AND METHODS

Our study was carried out with 94 accessions (*table I*) from the germplasm bank of Tejocote (*Crataegus* spp.) located in the San Juan Experimental Field of the Universidad Autónoma

Chapingo, Mexico, (lat. 19°29' N, long. 98°53' W, alt. 2240 m. above sea level). The accessions represent individual clones collected as bud wood between 1982 and 1989, then grafted onto seedling rootstocks of tejocote. These accessions were established in triangular planting with 5 m between trees. Thirty-six leaf variables and three stomata variables were used to identify morphological markers associated with fruit yield (*table II*) because these structures may allow making selection in both seedling plant and plants that still do not produce fruits.

The leaf variables were obtained by image analysis using Image tool version 3.00 [13]. Twenty leaves of each shoot type without damage were collected from the middle part of the tree in sunny conditions from the four cardinal points of the tree. These leaves were scanned using a scanner Genius Color Page Vivid Pro II Film, and processed with the software PhotoImpact Version 4.2. In addition, stomata variables were obtained by the same image analysis, but the samples were prepared with dental silicon (Exactodent®) to obtain a negative image, and with transparent nail polish to obtain the positive image. The sample units were obtained from the middle part of the first young, but mature, leaf in the shoot. The measurements were done in 10 samples per preparation in a microscopy Leica model Galen III, with objective at 40× and ocular at 10×, adapted to digital camera Leica model ET-8800N and the image capture card GrabIT Pro for their digitalization.

Feret Diameter of the leaves was calculated with the formula $DF = \sqrt{(4 \cdot Area) / \pi}$, Elongation ratio with $ER = \frac{Minor \cdot Axis \cdot Length}{Major \cdot Axis \cdot Length}$, Compactness ratio with $CR = \frac{Feret \cdot Diameter}{Major \cdot Axis \cdot Length}$, and Roundness ratio with $RR = \frac{(4 \cdot \pi \cdot Area)}{Perimeter^2}$ [13]

The average fruit weight (g) was obtained by collecting 20 randomly mature fruits from the four cardinal points in the canopy; then, these fruits were individually measured with a digital bascule. All data from all variables were registered in 2005.

The calculated correlations were done based on Pearson's correlation moment-product formula, with SAS V8's correlation procedure [14].

The variables that showed a statistically significant correlation (positive or negative) with the average fruit weight, that were less modified by the environment, and that allowed an easy measurement, were identified. These variables would be proposed as morphological markers for germplasm collection or early selection for fruit yield.

Table I. Collector's data for accessions of *Crataegus* from the germplasm bank of tejocote (*Crataegus* spp.) at the Universidad Autónoma Chapingo

Accession No.	Code	Place of recollection	Latitude	Longitude	Altitude	Taxonomic identification	Collector
1	RNU02	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
2	RNU06	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
3	SCC02	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
4	SCC01	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
5	RNU05	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
6	RNU01	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
7	RRO02	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
8	SCC05	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
9	RNU04	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
10	SCC04	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
12	RRO01	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
13	RNU03	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
14	RRO06	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
15	MIT02	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
16	MIT01	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
17	RNU07	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. stipulosa</i>	Borys, 1982
18	RRO03	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
19	MIT04	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
20	MIT05	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
21	RRO04	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
22	MIT03	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985
23	RNU08	Rancho Nuevo, Chiapas	16.67	-92.57	2400	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
24	CALP5	Calpan, Puebla	19.1	-98.47	2420	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
25	CALP6	Calpan, Puebla	19.1	-98.47	2420	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Borys, 1983
26	CALP3	Calpan, Puebla	19.1	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
27	RRO05	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. nelsoni</i>	Borys, 1982
28	SPI01	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
29	BAT01	Batan, Mexico	19.53	-98.83	2249	<i>C. gracilior</i>	Nieto, 1983
30	CALP4	Calpan, Puebla	19.1	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
31	CALP1	Calpan, Puebla	19.1	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
32	BAT02	Batan, Mexico	19.53	-98.83	2249	<i>C. gracilior</i>	Nieto, 1983
33	HUE01	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
34	SNTF2	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
35	MIT07	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. stipulosa</i>	Borys and Nieto, 1985
36	SPI03	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
37	SPI04	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
38	SNTC1	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
39	SNTF1	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
40	SPI02	San Pablo Ixayoc, Mexico	19.47	-98.78	2600	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
41	SNTC2	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
42	SCC03	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. sp. *</i>	Borys, 1982
43	RRO07	Rancho Robelo, Chiapas	16.67	-92.45	2250	<i>C. sp. *</i>	Borys, 1982
44	MIT06	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. gracilior</i>	Borys and Nieto, 1985
45	HUE02	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
46	CALP2	Calpan, Puebla	19.1	-98.47	2420	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
47	HUE03	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Borys, 1983
48	HUE04	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
49	SNTC4	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
50	SNTC3	San Nicolás Tlamincas, Mexico	19.52	-98.75	2520	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1982
51	MIT08	Mitzitan, Chiapas	16.65	-92.55	2380	<i>C. nelsoni</i>	Borys and Nieto, 1985

Accession No.	Code	Place of recollection	Latitude	Longitude	Altitude	Taxonomic identification	Collector
52	CAN01	Candelaria, Chiapas	16.7	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
54	HUE05	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Borys, 1983
55	HUE06	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
56	HUE07	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
57	SCM01	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
58	SCM02	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
59	CAN02	Candelaria, Chiapas	16.7	-92.53	2320	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
60	HUE08	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
61	HUE09	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1983
62	TEQ01	Tequexquahuac, Mexico	19.48	-98.82	2460	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
63	TEQ02	Tequexquahuac, Mexico	19.48	-98.82	2460	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
64	XAM01	Xamimilulco, Puebla	19.22	-98.38	2220	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
65	TEQ03	Tequexquahuac, Mexico	19.48	-98.82	2460	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
66	SCM03	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
67	CAN03	Candelaria, Chiapas	16.7	-92.53	2320	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1989
68	CAN04	Candelaria, Chiapas	16.7	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
69	CAN05	Candelaria, Chiapas	16.7	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
70	CAN06	Candelaria, Chiapas	16.7	-92.53	2320	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
71	SJY01	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Barrientos, 1989
72	SJY02	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Barrientos, 1989
73	SJY03	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
74	SJY04	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
75	SJY05	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
76	SJY06	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
77	SJY07	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
78	SJY08	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Barrientos, 1989
79	SJY09	San José Yashitinin, Chiapas	16.65	-92.45	2350	<i>C. sp. *</i>	Nieto and Barrientos, 1989
80	SCC06	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
81	SCC07	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
82	SCC08	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
83	SCC09	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
84	SCC10	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
85	SCC11	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
86	HUE10	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto and Barrientos, 1988
88	SCC12	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
89	SCC13	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. stipulosa</i>	Nieto and Barrientos, 1989
92	XAM03	Xamimilulco, Puebla	19.22	-98.38	2220	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
93	XAM04	Xamimilulco, Puebla	19.22	-98.38	2220	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
94	ATX01	Atexcac, Puebla	19.13	-98.5	2600	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
95	ATX02	Atexcac, Puebla	19.13	-98.5	2600	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
96	ATX03	Atexcac, Puebla	19.13	-98.5	2600	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Barrientos, 1988
97	SCM04	Santa Catarina del Monte, Mexico	19.48	-98.77	2700	<i>C. gracilior</i>	Nieto and Borys, 1982
99	SCC14	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	16.75	-92.67	2300	<i>C. nelsoni</i>	Nieto and Barrientos, 1989
100	HUE12	Huejotzingo, Puebla	19.17	-98.4	2280	<i>C. mexicana</i>	Nieto 1989

* These accessions cannot be identified by Phipps [2] and Eggleston [1] taxonomic keys

Table II. Young mature leaf traits taken from shoots of the middle part of tejocote (*Crataegus* spp) tree.

Type of shoot	Character
Large vegetative shoots (>7 cm)	Apex angle
	Basal angle
	Area of leaf
	Feret diameter
	Elongation ratio
	Compactness ratio
	Roundness ratio
	Major axis length
	Minor axis length
	Petiole length
Short vegetative shoots (<7 cm)	Perimeter of the leaf
	Apex angle
	Basal angle
	Area of leaf
	Feret diameter
	Elongation ratio
	Compactness ratio
	Roundness ratio
	Major axis length
	Minor axis length
Leaves from reproductive shoots	Petiole length
	Number of veins
	Perimeter of the leaf
	Apex angle
	Basal angle
	Area of leaf
	Feret diameter
	Elongation ratio
	Compactness ratio
	Roundness ratio
	Major axis length
	Minor axis length
	Petiole length
	Number of superficial teeth
	Number of veins
	Perimeter of the leaf
	Distance between closer stomata
	Stomata frequency
	Stomata length

RESULTS.

For the data obtained from all 94 accessions, the variables that showed a positive and statistically significant correlation with average fruit weight ($P \leq 0.01$) were (*table III*):

- area of one leaf from large vegetative shoot ($r = 0.70593^{**}$) and reproductive shoots ($r = 0.68736^{**}$),
- major axis length in leaves from reproductive shoots ($r = 0.70281^{**}$) and large vegetative shoots ($r = 0.69533^{**}$),
- Feret diameter of leaves from large vegetative shoots ($r = 0.65957^{**}$) and from reproductive shoots ($r = 0.65731^{**}$),
- number of veins in leaves from reproductive shoots ($r = 0.62302^{**}$).

On the other hand, the variables that were negatively correlated with average fruit weight, in ascendant order, were (*table III*):

- compactness ratio of leaves from reproductive, large and short vegetative shoots ($r = -0.39079^{**}$, $r = -0.38748^{**}$, and $r = -0.35827^{**}$, respectively),
- basal angle of leaves from short vegetative shoots ($r = -0.32656^{**}$),
- number of superficial teeth of leaves from reproductive shoots ($r = -0.34027^{**}$).

With respect to the correlations calculated for each species, some important changes relative to the correlations for the general pool of *Crataegus* previously mentioned were observed (*table III*). These changes are more likely due to the intrinsic way of expression of the characters in each species (undoubtedly of genetic origin) which might be considerably variable among species, particularly fruit weight (*table IV*) and leaf and stomata variables. It is noteworthy, however, that *C. mexicana* DC and *C. gracilior* Phipps show the largest fruit weight.

Table III. Correlation coefficients of 36 leaf and 3 stomata variables with average fruit weight in tejocote (*Crataegus* spp).

Character	Average fruit weight				
	All accessions	<i>C. gracilior</i>	<i>C. mexicana</i>	<i>C. nelsoni</i>	<i>C. stipulosa</i>
Area of leaf from large vegetative shoots	r = 0.70593**	r = 0.0477	r = 0.56335**	r = 0.06157	r = 0.23663
Major axis length in leaves from reproductive shoots	r = 0.70281**	r = 0.32033	r = 0.53154	r = -0.01542	r = 0.38075
Major axis length in leaves from large vegetative shoots	r = 0.69533**	r = 0.10518	r = 0.63324*	r = 0.07947	r = 0.28628
Area of leaf from reproductive shoots	r = 0.68736**	r = 0.33054	r = 0.38755	r = -0.10835	r = 0.37375
Feret diameter of leaves from large vegetative shoots	r = 0.65957**	r = 0.06644	r = 0.55559	r = 0.16843	r = 0.33511
Feret diameter of leaves from reproductive shoots	r = 0.65731**	r = 0.30462	r = 0.39905	r = -0.00814	r = 0.43338
Number of veins in leaves from reproductive shoots	r = 0.62302**	r = 0.45882*	r = 0.5987*	r = -0.17672	r = 0.5635*
Perimeter of leaf from reproductive shoots	r = 0.61304**	r = 0.28421	r = 0.35596	r = 0.07105	r = 0.3379
Number of veins in leaves from short vegetative shoots	r = 0.61034**	r = 0.27312	r = 0.03501	r = 0.09181	r = 0.33191
Perimeter of leaf from large vegetative shoots	r = 0.57462**	r = 0.04063	r = 0.61256*	r = 0.27651	r = 0.22316
Minor axis length in leaves from reproductive shoots	r = 0.56435**	r = 0.26765	r = 0.29444	r = 0.01312	r = 0.42398
Major axis length in leaves from short vegetative shoots	r = 0.56019**	r = 0.04145	r = 0.07208	r = 0.02588	r = 0.3926
Minor axis length in leaves from large vegetative shoots	r = 0.55662**	r = 0.02257	r = 0.51545	r = 0.19337	r = 0.28745
Area of leaf from short vegetative shoots	r = 0.53434**	r = 0.01367	r = 0.02938	r = 0.02234	r = 0.31176
Elongation ratio of leaves from reproductive shoots	r = 0.49247**	r = 0.32848	r = 0.69794**	r = 0.01059	r = -0.18879
Feret diameter of leaves from short vegetative shoots	r = 0.48497**	r = 0.01019	r = 0.07692	r = 0.10147	r = 0.39407
Elongation ratio of leaves from large vegetative shoots	r = 0.47262**	r = 0.34605	r = 0.66057*	r = -0.05752	r = -0.07595
Petiole length in leaves from large vegetative shoots	r = 0.39881**	r = 0.00212	r = 0.64557*	r = 0.015	r = -0.01847
Elongation ratio of leaves from short vegetative shoots	r = 0.39358**	r = 0.3915*	r = 0.14342	r = -0.06596	r = 0.05833
Roundness ratio of leaves from short vegetative shoots	r = 0.38889**	r = 0.03507	r = 0.64637*	r = -0.44137*	r = 0.09891
Perimeter of leaf from short vegetative shoots	r = 0.3801**	r = -0.00097	r = -0.01572	r = 0.21529	r = 0.28273
Minor axis length in leaves from short vegetative shoots	r = 0.3561**	r = -0.03791	r = 0.05933	r = 0.14501	r = 0.34863
Petiole length in leaves from reproductive shoots	r = 0.34555**	r = 0.30822	r = 0.60306*	r = 0.10417	r = -0.04711
Roundness ratio of leaves from large vegetative shoots	r = 0.31585**	r = 0.01087	r = 0.11775	r = -0.41539*	r = 0.15102
Petiole length in leaves from short vegetative shoots	r = 0.199	r = -0.08403	r = 0.20471	r = 0.04655	r = 0.00471
Stomata frequency in leaves from reproductive shoots	r = 0.19197	r = -0.0376	r = 0.18821	r = -0.50228**	r = 0.09734
Roundness ratio of leaves from reproductive shoots	r = 0.14012	r = -0.12581	r = 0.35371	r = -0.45984*	r = -0.00243
Basal angle in leaves from reproductive shoots	r = 0.03651	r = 0.3468	r = -0.56661*	r = -0.23384	r = 0.24305
Apex angle in leaves from short vegetative shoots	r = -0.03105	r = -0.43739*	r = 0.0862	r = 0.40406*	r = 0.03441
Distance between closer stomata in leaves from reproductive shoots	r = -0.1102	r = 0.20409	r = -0.05617	r = 0.51243**	r = 0.01772
Apex angle in leaves from reproductive shoots	r = -0.1888	r = -0.43872*	r = -0.43622	r = 0.14367	r = 0.32586
Basal angle in leaves from large vegetative shoots	r = -0.20005	r = 0.18373	r = -0.49389	r = 0.17371	r = 0.27522
Apex angle in leaves from large vegetative shoots	r = -0.22153*	r = -0.50376**	r = -0.48521	r = 0.42634*	r = 0.20074
Stomata length in leaves from reproductive shoots	r = -0.25079*	r = -0.31559	r = -0.40959	r = 0.38077	r = 0.25551
Basal angle in leaves from short vegetative shoots	r = -0.32656**	r = 0.09358	r = -0.41734	r = 0.09902	r = 0.11209
Number of superficial teeth in leaves from reproductive shoots	r = -0.34027**	r = -0.04789	r = -0.44594	r = -0.3658	r = 0.01997
Compactness ratio of leaves from short vegetative shoots	r = -0.35827**	r = -0.33501	r = -0.11902	r = 0.09881	r = 0.01382
Compactness ratio of leaves from large vegetative shoots	r = -0.38748**	r = -0.34046	r = -0.65982*	r = 0.13663	r = 0.19825
Compactness ratio of leaves from reproductive shoots	r = -0.39079**	r = -0.26965	r = -0.6728*	r = -0.08115	r = 0.31213

*, ** Statistically significant with probability of $P \leq 0.05$ and 0.01 , respectively

Table IV. Mean, maximum, minimum, and standard deviation of fruit weight (g) in each of four species of *Crataegus*

Taxonomic specie	Mean	Maximum	Minimum	Standard deviation
<i>C. gracilior</i>	5.49	10.34	2.72	2.02
<i>C. mexicana</i>	11.51	19.36	7.36	3.08
<i>C. nelsoni</i>	2.67	4.33	0.81	1.01
<i>C. stipulosa</i>	3.39	5.57	1.40	1.06

DISCUSSION.

The genus *Crataegus* was reported as one of the most difficult taxonomic complexes to be evaluated [10]. Because of this difficulty, to make breeding based on sexual crosses among selected genotypes is not a good strategy for tejocote. Furthermore, Núñez-Colín *et al.* [15] considered useful the development of selection indices to detect the appropriate individuals to be intercrossed to produce progenies with increased fruit size; but, because of these species are polyploid and apomictic [5, 7, 9], Núñez-Colín *et al.* [15] concluded that making crosses among selected individuals is a waste of time and effort. Moreover, no studies were found relative to genetic parameters for this genus. Dickinson and Phipps [16] demonstrated the leaf heteroblasty in *Crataegus crus-galli* L., and, probably, Mexican species have this problem too, but there is no information about all of them. However, similarities between leaves of vegetative shoots and leaves of seedling plants may exist, and leaf traits of vegetative shoots can be used as morphological markers in seedling plants. Nevertheless, taxonomical confusion exists even among taxonomists mainly to distinguish *C. mexicana* DC from *C. gracilior* Phipps (correct name of *C. pubescens* (H. B. K.) Steud. and this species belongs to the same series as *C. crusgalli*), despite that Eggleston [1] described them as different species since the beginning of the twentieth century. Both species grow side by side (sympatrically) in the few commercial orchards of tejocote. In this case, to search for propagation material of tejocote, the researcher

could select a genotype based on the morphometric traits correlated with fruit weight, even without identifying the taxonomic species, especially if the researcher does not have experience in *Crataegus* taxonomy. Moreover, to breed *Crataegus* species for fruit quality, the starting point should be the superior germplasm that is available or collectable [17], mainly because *Crataegus mexicana* DC, native of Mexico, is one of the oldest species of the genus, embraces high variability [18] in fruit characters, and possesses the biggest *Crataegus* fruit reported [10]. When collecting superior germplasm of tejocote, two cases are possible:

- First, when the taxonomic identity is available, the best option is to select *C. mexicana* because this species has the best fruit characteristics such as size, weight, and shape (table IV) [10, 19]. Then, in the retained *C. mexicana* individuals, the traits to be considered for selection are large and elongated leaves with at least 15 veins because these variables are the most highly correlated with fruit weight (table III), and, thereby, they allow indirect selection of superior germplasm, even at the juvenile stage.
- The second scenario is when the taxonomic identity is unknown. *Crataegus mexicana* is easier to be confused with *C. gracilior* because they only differ in a few characters as pubescence in leaves (*C. mexicana* is more pubescent), inflorescence pubescence (*C. mexicana* is densely pubescent), calyx remnants in the fruit (only present in *C. mexicana*), number of endocarps (*C. gracilior* shows 2 or 3 of them, while *C. mexicana* shows 4 or 5). These two species are more easily distinguishable from other species because they are very wild and their fruits are very small (table IV) [1, 2, 10, 19].

The most important trait correlated with fruit weight in the two most important species is the number of veins (at least 15 veins are desirable). In addition, as the first scenario, this variable is

measurable even at the juvenile stage, to select indirectly superior germplasm for fruit weight. Obviously, early selection of genotypes would save time.

CONCLUSIONS

Selection for fruit weight in species of the *Crataegus* genus where the taxonomic identity is not clearly defined should be based on morphological markers, particularly on the presence of leaves with at least 15 veins. Further, whenever the species are distinguishable, *C. mexicana* germplasm should be selected, and then plants, whose leaves have at least 15 veins, are large (at least 7 cm), and are elongated (an elongation ratio of 2 or greater) have to be identified.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported in part by the scholarship 169581 of the Mexican National Council for Science and Technology (CONACYT). The authors give a special acknowledgment to the anonymous referees because of their comments on this paper.

REFERENCES

- [1] Eggleston W.W., The Crataegi of Mexico and Central America, Bull. Torrey Bot. Club 36 (1909) 501–514.
- [2] Phipps J.B., Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae subfam. Maloideae), SIDA Bot. Misc. 15 (1997) 1–94.
- [3] Núñez-Colín C.A., Pérez-Ortega S.A., Segura S., Nieto-Ángel R., Barrientos-Priego A.F., Variabilidad morfológica de tejocote (*Crataegus* spp.) en México, Proc. Interam. Soc. Trop. Hortic. 48 (2004) 144–148.

- [4] Pérez-Ortega S.A., Núñez-Colín C.A., Segura S., Nieto-Ángel R., Barrientos-Priego A.F., Los recursos genéticos de *Crataegus* (Rosaceae) en México: Variación eco-climática, Proc. Interam. Soc. Trop. Hortic. 48 (2004) 149–151.
- [5] Talent N., Dickinson T.A., Polyploidy in *Crataegus* and *Mespilus* (Rosaceae, Maloideae): evolutionary inference from flow cytometry of nuclear DNA amounts, Can. J. Bot. 83 (2005) 1268–1304.
- [6] Grant V., Especiación vegetal, Editor. Limusa, Mex. city, Mex., 1989.
- [7] Talent N., Dickinson T.A., Apomixis and hybridization in Rosaceae subtribe Pyrineae Dumort.: a new tool promises new insights, In: Hörandl E., Grossniklaus U., Van Dijk P.J., Sharbel T. (Eds.), Apomixis: evolution, mechanisms and perspectives, Int. Assoc. Plant Taxon. and Koeltz Sci. Books, Vienna, Austria, 2007, pp. 301–316.
- [8] Muniyamma M., Phipps J.B., Cytological proof of apomixis in *Crataegus* (Rosaceae), Am. J. Bot. 66 (2) (1979) 149–155.
- [9] Talent N., Dickinson T.A., Endosperm formation in aposporous *Crataegus* (Rosaceae, Spiraeoideae, tribe Pyreae): parallels to Ranunculaceae and Poaceae, New Phytol. 173 (2007) 231–249.
- [10] Phipps J.B., O’Kennon R.J., Lance R.W., Hawthorns and medlars, Timber Press, Portland, USA, 2003.
- [11] El-Gazaar A., The taxonomic significance of leaf morphology in *Crataegus* (Rosaceae), Bot. Jahrb. Syst. 101 (1980) 457–469.
- [12] Way R.D., Sanford J.C., Lakso A.N., Fructificación y productividad, in: Moore J.N., Janick J. (Eds.), Métodos genotécnicos en frutales, AGT Ed., Mexico city, Mexico, 1988, pp. 477–495.

- [13] Wilcox D., Dove B., McDavid D., Greer D., Image tool Version 3, Users guide, Univ. Tex. Health Sci. Cent., San Antonio, USA, 1995.
- [14] Anon., SAS/STAT software: changes and enhancements through release 8, SAS Inst., Cary, USA, 1999.
- [15] Núñez-Colín C.A., Nieto-Ángel R., Barrientos-Priego A.F., Índices de selección para aumentar tamaño de fruto en tejocote (*Crataegus* spp.), Proc. Interam. Soc. Trop. Hortic. 49 (2005) 146–148.
- [16] Dickinson T.A., Phipps J.B., Studies in *Crataegus* (Rosaceae, Maloideae). IX. Short shoot leaf heteroblasty in *Crataegus crus-galli sensu lato*, Can. J. Bot. 62 (1984) 1775–1780.
- [17] Zagaja S.W., Exploración de recursos genéticos, in: Moore J.N., Janick J. (Eds.), Métodos genotécnicos en frutales, AGT Ed., Mex. city, Mex., 1988, pp. 3–12.
- [18] Phipps J.B., Problems of hybridity in the cladistics of *Crataegus* (Rosaceae), in: Grant W.F. (Ed.), Plant Biosystematics, Acad. Press Can., Tor., Can., 1984, pp. 417–438.
- [19] Büttner R., Rosaceae, in: P. Hanelt and Inst. Plant Genet. Crop Plant Res. (Eds.), Mansfeld's Encycl. Agric. Hortic. Crops: except ornam., Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2001, pp 417–532.

DISCUSIÓN GENERAL.

En esta tesis se corroboró que existen serios problemas taxonómicos en el género *Crataegus* en México (Capítulo 1), por lo que se necesitan hacer estudios sobre la taxonomía de este género, sobre todo para el sur de México en especial en los estados de Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas, donde faltan claves taxonómicas actualizadas. Para reidentificar los ejemplares de este género en los herbarios nacionales es recomendable utilizar para las zonas centro y norte del país las claves desarrolladas por Phipps (1997) y se deben desarrollar nuevas claves para el sur basándose en las claves de Eggleston (1909).

Así mismo se tiene que el tejocote se desarrolla en tres diferentes condiciones climáticas (Capítulo 2; Núñez-Colín *et al.*, 2008a), la primera en la zona norte de México con un clima semidesértico relacionado en su mayoría a los ejemplares contemplados por Phipps (1997) excepto por *C. mexicana* DC y *C. gracilior* Phipps principalmente, aunque podrían encontrarse más especies, *C. mexicana* DC y *C. gracilior* Phipps se encuentran en la segunda zona climática que es más templada y corresponden al eje neo-volcánico en el centro de México. En esta zona es donde podemos encontrar material frutícola de interés agronómico. La tercera zona climática es tendiente a un clima subtropical, en las zonas montañosas de Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Chiapas así como zonas de Centroamérica, esta región desde el punto de vista taxonómico (mencionado en el capítulo 1) es el que necesita un mayor esfuerzo para hacer un estudio de exploración botánica y definir la riqueza específica de este género.

En cuanto a la gestión del germoplasma del banco de la Universidad Autónoma Chapingo, se puede concluir que se tienen representadas accesiones de dos acervos genéticos

(Capítulo 3; Núñez-Colín *et al.*, 2008b) y que al menos existen 5 diferentes especies (Capítulo 4) por lo que falta colecta de germoplasma de la zona centro-norte y noreste del país para coleccionar todas las especies, en especial las endémicas de México. Además de que es la zona con mayor riqueza específica de México, así como la diversificación del germoplasma colectando material silvestre del centro de México y buscar material en Veracruz y Guerrero, para completar la colecta de las zonas centro y sur de México.

Además que con la agrupación del capítulo 4 se puede intentar hacer una colección núcleo (core collection) de la colección existente. Esto puede reducir el costo de mantenimiento del banco de germoplasma.

La variación por lo estudiado en esta tesis es mayormente inter-específica (Capítulo 4), por lo que para hacer un programa de selección de germoplasma superior desde un punto de vista frutícola por lo que también se examinaron posibles marcadores de selección para selección de genotipos (Capítulo 5; Núñez-Colín *et al.*, 2009), dejando un avance en este aspecto.

LITERATURA CITADA

- EGGLESTON, W. W. 1909. The *Crataegi* of Mexico and Central America. Bull. Torrey Bot. Club 36: 501-514
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; SEGURA, S.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. 2008^a. Distribución y caracterización eco-climática del género *Crataegus* (Rosaceae subfam. Maloideae) en México. Revista Chapingo serie Horticultura 14: 177-184

- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; NIETO-ÁNGEL, R.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; SEGURA, S.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. 2008b. Variability of three regional sources of germplasm of Tejocote (*Crataegus* spp.) from central and southern Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution (On line first) Doi: 10.1007/s10722-008-9316-z
- NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; SEGURA, S.; NIETO-ÁNGEL, R. 2009. Identification of morphometric traits for screening of tejocote (*Crataegus* spp.) germplasm for better yield potential. Fruits 64(1): *In press*.
- PHIPPS, J. B. 1997. Monograph of Northern Mexican *Crataegus* (Rosaceae, subfam. Maloideae). SIDA Botanical Miscellany 15: 1-94