



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Caracterización morfo-agronómica
de tres especies silvestres de
tomate (*Physalis*, Solanaceae)
nativas de México.**

Tesis

que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias en
Biosistemática y Manejo de Recursos
Naturales y Agrícolas (BIMARENA)**

Presenta

Luis Enrique Valdivia Mares

Zapopan, Jalisco

Diciembre 4 de 2014



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Caracterización morfo-agronómica
de tres especies silvestres de
tomate (*Physalis*, Solanaceae)
nativas de México.**

Tesis

que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias en
Biosistemática y Manejo de Recursos
Naturales y Agrícolas (BIMARENA)**

Presenta

Luis Enrique Valdivia Mares

Directora

Dra. Ofelia Vargas Ponce

Zapopan, Jalisco

Diciembre 4 de 2014

DEDICATORIA

A las personas más importantes en la vida, mi esposa Gloria, mis hijos Luis Enrique, Jesús Eduardo y Juan Pablo, mi padre Irineo (†), mi madre María de la Luz, por su apoyo incondicional, por soportar horas de abandono, mal carácter, olvidos y limitaciones, prueba de su abnegado apego e invaluable amor, por lo que vale la pena todo mi esfuerzo y sacrificio, a ustedes les dedico todos mis logros.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Dra. Ofelia Vargas Ponce su acertada dirección en los trabajos de tesis y en mi formación académica. Su paciencia, amistad, entusiasmo, experiencia y conocimientos en pro de mi formación para llevar a buen fin este proyecto. Gracias por haber creído en mí.

Al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) perteneciente a la Universidad de Guadalajara, por todo el apoyo brindado para mi formación de posgrado y por las facilidades prestadas para la realización del proyecto experimental de tesis.

A mi comité de tesis integrado por la Dra. Ofelia Vargas Ponce, el Dr. Fabián Rodríguez Zaragoza y el Dr. J. Jesús Sánchez González, quienes colaboraron invaluablemente durante todo el proceso de tesis con conocimientos, consejos y correcciones en el trabajo experimental, analítico, estadístico y revisión de tesis, todo mi reconocimiento y admiración. Al Dr. José Ron Parra y a la Dra. Patricia Zarazúa Villaseñor por la revisión de la tesis y por todo su consejo y apoyo incondicional.

Agradezco el apoyo económico recibido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de la beca que me fue otorgada.

Gracias a M.C. Jesús Sánchez Martínez, Walter Zavala J., L.B. Brenda Hernández, Dra. Luz Adriana García y todos los compañeros del Instituto de Botánica y del herbario IBUG por compartir sus conocimientos, tiempo y esfuerzo para la realización de la fase experimental de la tesis y sobretodo su amistad.

Un reconocimiento y gratitud para todos los maestros, técnicos y todas aquellas personas que de manera directa o indirecta participaron en mi preparación académica y en la realización de la presente tesis. A mi familia por apoyarme siempre y ceder mi tiempo y dedicación para la realización de la tesis.

ÍNDICE

	Página
LISTADO DE CUADROS.....	i
LISTADO DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
CAPÍTULO 1. Introducción general.....	1
Antecedentes.....	2
El género <i>Physalis</i>	2
Aprovechamiento actual de <i>Physalis</i>	2
Caracterización vegetal.....	3
Descriptores.....	4
Escala de codificación BBCH para los estadios fenológicos.....	5
Objetivo general.....	7
Objetivos particulares.....	7
Hipótesis.....	7
Estrategia experimental.....	8
Contenido de los capítulos.....	8
Referencias.....	10
CAPÍTULO 2. Caracterización morfoagronómica de tres especies silvestres de tomate de cáscara (<i>Physalis</i> , Solanaceae) de México.....	
Resumen.....	15
Introducción.....	15
Materiales y métodos.....	18
Resultados.....	22
Discusión.....	31
Conclusiones.....	34
Referencias.....	35
CAPÍTULO 3. Fenología, potencial agronómico y nutricional de tres especies silvestres de tomate de cáscara (<i>Physalis</i> , Solanaceae) de México.....	
Resumen.....	41
Introducción.....	41
Materiales y métodos.....	44

ÍNDICE (cont.)

Resultados.....	49
Discusión.....	55
Conclusiones.....	61
Referencias.....	62
CAPÍTULO 4. Conclusiones generales y perspectivas.....	70

LISTADO DE CUADROS

Pág.

Cuadro 2.1. Ubicación geográfica en México de accesiones de <i>Physalis</i> utilizadas en el estudio.....	19
Cuadro 2.2. Listado de descriptores utilizados en la caracterización del germoplasma.....	20
Cuadro 2.3. Relación de los tipos de variable, valores del coeficiente de correlación (ACP), repetitividad (R) y heredabilidad en sentido amplio (H) para 46 descriptores.....	23
Cuadro 2.4. Análisis de varianza multidimensional basado en permutaciones (PERMANOVA) para 22 descriptores morfológicos en <i>P. acutifolia</i> , <i>P. angulata</i> , <i>P. chenopodifolia</i> y <i>P. pubescens</i>	27
Cuadro 2.5. Registros de 19 atributos morfológicos, fenológicos y agronómicos relevantes en el análisis ACP, para cuatro especies de <i>Physalis</i> . Datos promediados de los ciclos 2012 y 2013.....	30
Cuadro 2.6. Análisis de varianza multidimensional basado en permutaciones (PERMANOVA) para 12 descriptores de interés agronómico en 10 poblaciones de <i>P. acutifolia</i> , <i>P. angulata</i> , <i>P. chenopodifolia</i> y <i>P. pubescens</i>	30
Cuadro 3.1. Accesiones de <i>Physalis</i> utilizadas en el estudio y su ubicación geográfica en México.....	45
Cuadro 3.2. Listado de atributos utilizados en la evaluación del material vegetal.....	47
Cuadro 3.3. Promedios por población para ocho descriptores utilizados en el estudio.....	49
Cuadro 3.4. Análisis de varianza con 10 000 permutaciones (PERMANOVA) para atributos agronómicos en tres especies silvestres de tomate de cáscara.....	50
Cuadro 3.5. Códigos en la escala BBCH y periodos para las fases y subfases fenológicas de cuatro especies silvestres de <i>Physalis</i>	56
Cuadro 3.6. Porcentajes de variables químicas y bromatológicas del fruto para las especies evaluadas y referencias de solanáceas cultivadas. Datos extrapolados a un nivel de materia seca del 5.8 %.....	58

LISTADO DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Especies de *Physalis* con aprovechamiento multi-regional en el mundo (*P. alkekengi*, *P. peruviana*) y de aprovechamiento regional en México y Centroamérica (*P. philadelphica* y *P. angulata*), respectivamente3

Figura 1.2. Detalle del fruto, flor, hoja y estructura vegetal de 9 poblaciones pertenecientes a las especies *Physalis acutifolia*, *P. chenopodifolia*, *P. pubescens* var. *pubescens* y *P. pubescens* var. *grisea*. Fotografías tomadas de los ciclos de cultivo 2012 y 20136

Figura 2.1. Análisis de componentes principales (ACP) para 22 atributos morfológicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones = íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ (códigos de poblaciones en Cuadro 2.1). Ciclos= 1: 2012, 2: 2013.....25

Figura 2.2. Resultado del análisis de clasificación bajo el método UPGMA y distancias euclidianas para 22 atributos morfológicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones que corresponden a *P. acutifolia*: AS, AL, AM; *P. angulata*: Ang; *P. chenopodifolia*: CC, CI, CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: PM, PC, var. *grisea*: PZ (códigos del Cuadro 2.1). Ciclos de cultivo= 1: 2012, 2: 2013.....26

Figura 2.3. Análisis de componentes principales (ACP) para 12 atributos agronómicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones = íconos que corresponden a las especies *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ (códigos de poblaciones del Cuadro 2.1). Datos promediados de los ciclos de cultivo 2012 y 2013.....28

Figura 2.4. Resultado del análisis de clasificación bajo el método UPGMA y distancias euclidianas, para 12 atributos agronómicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones = íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ (códigos de poblaciones en Cuadro 2.1). Datos promediados de los ciclos 2012 y 2013.....29

Figura 3.1. Componentes principales (ACP) para seis atributos de interés agronómico en poblaciones de *Physalis acutifolia*, *P. angulata*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*. Datos promediados de los ciclos de cultivo 2012 y 2013. Poblaciones = íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ.....52

Figura 3.2. Resultado del análisis de agrupamiento jerárquico bajo el criterio de UPGMA, para seis atributos de interés agronómico en *Physalis acutifolia*, *P. angulata*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*. Poblaciones = íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. grisea: ● PZ (códigos de poblaciones en Cuadro 3.1).....53

RESUMEN

La familia Solanaceae contiene especies de importancia económica y cultural a nivel mundial, como *Solanum lycopersicum*, *S. tuberosum* y *Capsicum annuum*. *Physalis* dentro de esta familia ocupa el cuarto lugar en riqueza, con más de 90 especies. En México, *P. philadelphica* por sus frutos comestibles, es la cuarta hortaliza en superficie cultivada. A pesar de ello y de la megadiversidad contenida en el país, el acervo natural de este género no ha sido evaluado con el objeto de determinar su verdadero valor. La caracterización morfológica y la evaluación agronómica generan información primordial para conocer el valor potencial de las especies y que permite su consideración para programas de fitomejoramiento. Del total de accesiones en las colecciones de germoplasma, más del 80% no ha sido caracterizado y un 95% de éste, no ha tenido una evaluación agronómica. Por esto, el objetivo de este estudio fue la caracterización agromorfológica, fenológica y nutricional, para así conocer la diversidad y el potencial productivo de tres especies silvestres de *Physalis* que tienen un uso tradicional en México: *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*. Para ello, se seleccionaron tres poblaciones para cada especie y una de *P. angulata* como control. El diseño experimental fue de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones. Los datos se analizaron por métodos multivariados y análisis estadísticos utilizando 46 descriptores. Además, se estimó la repetitividad, heredabilidad y correlación de los descriptores para identificar los más aptos en la discriminación de accesiones. Los resultados refieren que, el material vegetal mostró una respuesta favorable al manejo agrícola, una excelente adaptabilidad y un notable potencial agronómico en la mayoría de las poblaciones. Las tres especies silvestres presentaron variabilidad inter e intra específica, morfológica y agronómica, con el uso de 34 descriptores de baja correlación (r). El 78% de las poblaciones mostraron un potencial agronómico cercano al de solanáceas cultivadas. El registro del desarrollo fenológico bajo el sistema de escala BBCH identificó ocho fases principales. El análisis de correlaciones (r) identificó alta correlación en la mayoría de descriptores fenológicos, permitiendo predecir precocidad. Once descriptores resultaron aptos para la discriminación entre accesiones en relación a los valores de correlación (r), repetitividad (R), heredabilidad (H) y calidad discriminante en los análisis multivariados. Finalmente, los frutos en las tres especies silvestres mostraron una calidad nutricional semejante al de solanáceas cultivadas. Estos resultados, permiten considerar a las tres especies silvestres como material promisorio para el desarrollo de nuevos cultivos con calidad nutricional.

ABSTRACT

The Solanaceae family has economic and cultural worldwide importance species, like *Solanum lycopersicum*, *S. tuberosum* y *Capsicum annuum*. *Physalis* ranks fourth in family's richness with more than 90 species. In Mexico for its edible fruit, is the fourth in vegetable plantings. Despite this and the country' mega-diversity contained, the natural richness of *Physalis* and most native genera, has not been evaluated to determinate its actual value. Morphological characterization and agronomic evaluation generate basic information to know the potential value of species and allows its consideration for breeding programs. Of all wild accessions, more than 80% not has been characterized and 95% has not been evaluated. Therefore, in order to have a more comprehensive knowledge of the genera, the aim of this study was the characterization agro-morphological, phenological, and nutritional, to know diversity and productive potential of three species of *Physalis* having a traditional use in Mexico: *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*. There were selected three populations per species and as a control, one of *P. angulata*. The experimental design was randomized complete blocks (RCBD) with three replications and the data were analyzed whit multivariate and statistical methods. Forty six descriptors were used. Furthermore, repeatability, heritability and correlation of the descriptors were estimated to identify the most suitable for the discrimination among accessions. The results refer, the plant material showed a favorable response to agricultural management, excellent adaptability and agronomic significant potential in most populations. The three wild species showed inter and intra specific variability, both morphologically and agronomic, with the use of 34 low correlation descriptors. 78% of populations showed a close agronomic potential of cultivated solanaceous. Registration of phenological development under the BBCH scale system identified eight main phases. Correlation analysis (r) identified high correlation in most phenological descriptors, allowing predicting precocity. Eleven descriptors were apt for discrimination between accessions regarding the correlation values (r), repeatability (R), heritability (H) and discriminant quality in multivariate analysis. Finally, the three species wild fruits showed similar nutritional quality of cultivated solanaceous. These results allow to consider the three wild species as promising material for the development of new crops of nutritional quality.

CAPÍTULO 1

Introducción general

Domesticación y variabilidad de plantas silvestres

La domesticación es un proceso milenario que involucra inicialmente el aprovechamiento de las especies silvestres *in situ* y posteriormente, su establecimiento *ex situ* como cultivo (Doebley *et al.* 2006). La selección y cultivo continuo a través del tiempo conduce a la fijación, vía selección humana, de diferencias morfológicas y por ende genéticas que distinguen a las variantes domesticadas de su progenitor silvestre (Doebley *et al.* 2006; Pickersgill 2007; Olsen y Wendel 2013). En el caso de las plantas, las especies en su estado natural tienen una dinámica evolutiva continua que genera variabilidad. El hombre ha tomado ventaja de la variabilidad visible y la no aparente para identificar, aprovechar y cultivar gran cantidad de especies con atributos particulares (Hidalgo 2003; Vaughan *et al.* 2007). A partir del proceso de selección y manejo de variantes particulares transformó cientos de especies silvestres en cultivos domesticados, la mayor parte destinados a la alimentación y otras necesidades esenciales (Harlan 1992; Zohary 2001). Actualmente, las especies que sustentan la alimentación humana corresponden a sólo algunas decenas de las 300,000 que existen a nivel mundial (Gepts 2004; Olsen y Wendel 2013).

Diversidad de especies silvestres en Mesoamérica

En el continente americano han ocurrido procesos de domesticación independientes en cuatro regiones geográficas. Estas incluyen al Este de Norteamérica, Mesoamérica, región Andina y tierras bajas de Sudamérica (Doebley *et al.* 2006; Pickersgill 2007; Sarukhán *et al.* 2009). La región cultural Mesoamericana es megadiversa, esta diversidad contiene una gran variabilidad genética contenida en el acervo silvestre. México es parte nuclear de Mesoamérica y poseedor de una gran riqueza de especies vegetales (Zohary 2001; Sarukhán *et al.* 2009); el 60% de ellas son endémicas con cerca de 13,800 especies (Sarukhán *et al.* 2009; Rzedowski y Calderón 2013). Además, México es centro de origen y centro de domesticación de cultivos de importancia mundial como el maíz (*Zea mays* L.), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), calabaza (*Cucurbita* spp. L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.), vainilla (*Vanilla odorata* C. Presl), algodón (*Gossypium hirsutum* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.) y chile (*Capsicum annuum* L.). En adición, se refiere que 5,000 plantas silvestres tienen algún tipo de aprovechamiento (Casas *et al.* 1996) y de algunas de ellas se han derivado cultivos de relevancia regional (e.g. el tomate verde *Physalis philadelphica* Lam.), mientras que otras son subutilizadas o desaprovechadas (Pickersgill 2007; Zizumbo y Colunga 2010; García *et al.* 2013). La presencia de variantes cultivadas y sus poblaciones silvestres relacionadas hace más rico el acervo genético de Mesoamérica.

Antecedentes

La diversidad genética de las plantas nativas de la región mesoamericana se encuentra amenazada. La adopción de variedades comerciales de reducida base genética y factores como el cambio de uso del suelo, la deforestación, la sobreexplotación, la fragmentación de hábitats y el sobrepastoreo contribuyen a la pérdida de genes, individuos, poblaciones e incluso especies (Hernández 2002). Para contrarrestar esta amenaza, en México se realizan actividades que intentan disminuir estos efectos y concientizar a la sociedad sobre la importancia de conocer, conservar y utilizar racionalmente los recursos fitogenéticos (Sarukhán *et al.* 2009; Hernández 2002). Para ello, se han desarrollado dos estrategias principales de conservación, el establecimiento de bancos de germoplasma *ex situ* y la conservación *in situ* de la agrobiodiversidad, siendo ambas tácticas complementarias (FAO-Bioversity 2014).

En el informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo (FAO 1996), se enfatiza que los recursos genéticos son de escasa utilidad a menos que vayan acompañados de información adecuada y útil. Por lo tanto es de capital importancia identificar y describir el material genético de cada región. Para ello se requiere en primera instancia recolectar y resguardar el germoplasma en bancos especializados. De ahí se prosigue a caracterizar e identificar aquellos materiales que resulten relevantes para su utilización posterior (Aramendiz *et al.* 2006).

El género *Physalis*

Como recurso genético, el género *Physalis* es relevante para su estudio, conservación y aprovechamiento. Posee un amplio acervo silvestre y cultivado que forma parte de la cultura alimentaria en Centro y Norteamérica desde tiempos ancestrales (Montes y Aguirre 1994; Martínez 1998; Long 2001; Kindscher *et al.* 2012). *Physalis* contiene 90 especies que se distribuyen de forma natural en América. Es en México donde tiene su origen y diversificación con más de 70 especies que crecen de forma silvestre (D'Arcy 1991; Martínez *et al.* 2011). Las plantas de este género son herbáceas anuales o perenes que crecen en regiones tropicales y algunas en subtropicales. Su fruto tipo baya es llamado comúnmente tomate verde y tomatillo, alcanza de 1 a 2 cm de diámetro en especies silvestres y hasta 4.5 a 5.3 cm en variedades cultivadas de *P. philadelphica* (Ponce *et al.* 2011; Jiménez *et al.* 2012). El fruto, según la especie, presenta una variedad de colores desde el blanquecino, amarillento a amarillo, verde, violáceo, naranja y verde amarillento o verde violáceo. Cada baya se envuelve totalmente por el cáliz floral, que se torna acrescente durante la fructificación, adquiriendo en la madurez un color pardo claro y textura papirácea, por lo que recibe el nombre de "cáscara u hoja" (D'Arcy 1991; Vargas *et al.* 2003).

Aprovechamiento actual del recurso genético de *Physalis*

La mayoría de especies de *Physalis* se clasifican como espontáneas, ruderales, arvenses, toleradas y sólo algunas son cultivadas (D'Arcy 1991; Sánchez *et al.* 2006, 2008). Éstas tienen importancia económica, alimentaria, medicinal, ornamental y cultural a nivel local o regional (Figura 1.1), donde destacan el tomate verde comercial (*P. philadelphica* Lam.) y milpero (*P. philadelphica* y *P. angulata* L.), mientras que la uchuva (*P. peruviana* L.) y la linterna china (*Physalis alkekengi* L.) lo hacen a una escala multiregional (Whitson y Manos 2005; Sánchez *et al.* 2006; Herrera *et al.* 2011). En adición,

las especies de *Physalis* representan un cultivo potencial para América, Europa, África y Asia debido a la versatilidad del fruto y a la importancia nutricional y medicinal reportada (Santiaguillo *et al.* 1998; Yen *et al.* 2010; Hassanien 2011; Puente *et al.* 2011; Kindscher *et al.* 2012). En el territorio nacional, el tomate verde junto con la papa, el jitomate y el chile, ocupan los primeros cuatro lugares en superficie cultivada de hortalizas (Peña *et al.* 2007).



Figura 1.1. Especies de *Physalis* con aprovechamiento multi-regional en el mundo (*P. alkekengi*, *P. peruviana*) y de aprovechamiento regional en México y Centroamérica (*P. philadelphica* y *P. angulata*), respectivamente.

Es en México donde, los frutos de 16 especies de *Physalis* silvestres son recolectados para autoconsumo o venta en mercados de oportunidad, principalmente *P. acutifolia* (Miers) Sandwith, *P. angulata* L., *P. chenopodifolia* Lam., *P. cinerascens* (Dunal) Hitchc., *P. cordata* Mill., *P. coztomatl* Dunal, *P. gracilis* Miers., *P. grisea* (Waterf.) M. Martínez, *P. orizabae* Dunal, *P. philadelphica* Lam., *P. pubescens* L. y *P. waterfallii* O. Vargas, M. Martínez & Dávila (Montes y Aguirre 1994; Martínez 1998; Sánchez *et al.* 2006; Santiaguillo y Blas 2009; Vargas *et al.* 2011). Recientemente en países de Norte y Sudamérica, Asia, África y Europa se ha incrementado el interés por el conocimiento y manejo de especies silvestres subutilizadas (Jaenicke y Höschle 2006; Bharucha y Pretty 2010; Tardío *et al.* 2011; García *et al.* 2013), también conocidas como menores, secundarias o alternativas. Entre ellas se mencionan *P. alkekengi* (Helvacı *et al.* 2010; Tong *et al.* 2011), *P. gracilis* (Gheno *et al.* 2011), *P. longifolia* (Kindscher *et al.* 2012), *P. pubescens* (El Sheikha *et al.* 2009; Dinakaran *et al.* 2011) y *P. virginiana* (Gibson *et al.* 2012). Como cultivadas emergentes se refiere a *P. peruviana* (Madruga *et al.* 2009; Herrera *et al.* 2011; Ramadan 2011) y *P. angulata* (Sánchez *et al.* 2008; Nanumala *et al.* 2012; Rengifo y Vargas 2013) por el valor económico agregado debido a las propiedades nutricionales y medicinales descubiertas en sus raíces, tallos y frutos.

Caracterización vegetal

Dentro del género *Physalis* existe una gran diversidad genotípica y alta variabilidad fenotípica (Martínez, 1998; Vargas *et al.* 2003, 2011). Para un aprovechamiento más eficiente de este recurso fitogenético, es necesario tener un conocimiento claro del potencial agronómico de cada especie y la variabilidad genética inherente, lo cual se logra a través de la caracterización y evaluación agronómica (Navarro *et al.* 2010).

La caracterización de especies vegetales permite estimar la variabilidad del genoma entre los individuos que integran las poblaciones (Aramendiz *et al.* 2006; Trillos *et al.* 2008; Herrera *et al.* 2011); la variación es producto de su respuesta adaptativa a los cambios y presiones de los factores

bióticos y abióticos del medio. Esta variabilidad puede ser evaluada a través de rasgos visibles del fenotipo, denominándose como caracterización morfológica y agronómica, o evaluada a partir de rasgos no aparentes relativos a procesos internos, denominándose caracterización química, isoenzimática y molecular según el tipo de descriptores que se utilicen en el estudio (Franco e Hidalgo 2003).

En la caracterización morfológica y agronómica se miden atributos cualitativos y cuantitativos. En el tipo morfológico, los caracteres seleccionados son de alta heredabilidad y se manifiestan homogéneamente en varios ambientes mientras que en la agronómica los atributos están influenciados por cambios en los factores ambientales, con fenotipos muy variables y por ende se consideran de menor heredabilidad. Los atributos morfológicos se transmiten a la descendencia en cualquier ambiente donde se desarrollen, esto permite determinar el grado de similitud por medio de su apariencia morfológica o fenotipo y el grado de variabilidad en las colectas (Franco e Hidalgo 2003). Para las plantas superiores se refieren 400,000 genes funcionales que presentan variación por efectos evolutivos y del medio ambiente; las variantes generadas se acumulan entre los diferentes miembros de la especie y la suma de todos los efectos de los genes y sus variantes se conoce como variabilidad genética (Franco e Hidalgo 2003).

En especies de importancia agrícola, la caracterización morfológica implica la medición de un conjunto de atributos llamados descriptores para identificar la variabilidad fenotípica y la evaluación de atributos de manejo agronómico como el rendimiento, la adaptabilidad y la resistencia a enfermedades, que son de interés para fitomejoradores y agrónomos; con ello, se logra identificar los mejores fenotipos (Franco e Hidalgo 2003; Herrera *et al.* 2011; Jedrzczyk *et al.* 2012). No obstante, las propiedades registrables de los fenotipos son producto de la interacción del genotipo y el ambiente; por lo que expresan amplia variabilidad en respuesta a la heterogeneidad en espacio-tiempo y a la influencia de factores ambientales (Sánchez y Goodman 1992).

Descriptores

El descriptor es un atributo cuya expresión es fácil de observar, medir, registrar o evaluar y que hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión o colecta específica. Los descriptores son útiles en la caracterización y evaluación de poblaciones debido a que permiten evitar duplicaciones, identificar variabilidad entre accesiones, diferenciar la expresión de los atributos de forma precisa y uniformemente, así como, minimizar la sobreestimación de la diversidad existente. Esto simplifica la clasificación, el almacenamiento, la recuperación, el manejo y análisis de los datos (Aramendiz *et al.* 2006; Trillos *et al.* 2008). Los descriptores han sido definidos y probados para la mayoría de las especies cultivadas de importancia mundial y los parientes silvestres relacionados (Aramendiz *et al.* 2006; Navarro *et al.* 2010; Herrera *et al.* 2011), no así en especies silvestres con potencial para generar nuevos cultivos.

En la caracterización de especies vegetales, el análisis de la variación utilizando métodos multivariados y basándose en caracteres morfológicos es uno de los principales enfoques empleados. Es útil para conocer con fundamento la diversidad entre poblaciones vegetales y para inferir relaciones entre cultivares-variedades y cultivares-parientes silvestres (Castañón *et al.* 2010;

Jedrszczyk *et al.* 2012). El objeto de analizar la variación al interior de los descriptores por métodos numéricos es establecer los niveles de relación y similitud entre individuos, poblaciones y especies de una forma objetiva y repetible (Sneath y Sokal 1973; Sánchez y Goodman 1992; Franco e Hidalgo 2003).

La escala BBCH y estadios fenológicos

La escala BBCH extendida es un sistema para la codificación uniforme de las fases de desarrollo vegetal similares entre especies vegetales. Esta escala es el resultado del trabajo conjunto entre el Centro Federal Alemán de Investigaciones Biológicas para la Agricultura y Silvicultura (BBA, por sus siglas en alemán), la Oficina Federal Alemana de Variedades Vegetales (BSA), la Asociación Agroquímica Alemana (IVA) y el Instituto para Vegetales y Ornamentales en Grossbeeren/Erfurt, Alemania (IGZ). La escala se divide en fases principales y secundarias y utiliza el código decimal basado en el código para cereales desarrollado por Zadoks *et al.* (1974) con el objeto de evitar cambios mayores de esta clave fenológica utilizada ampliamente. La abreviación BBCH deriva de Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry.

Los principios básicos del sistema BBCH son: i) La escala general conforma el marco con el cual son derivadas escalas individuales. ii) Ésta puede ser utilizada para especies vegetales para las cuales no existe una escala especial disponible. iii) A las fases fenológicas similares de cada planta se le asigna un mismo código, para cada código, está dada una descripción y para algunas fases típicas se incluyen esquemas (en el manual original). iv) Para la descripción de las fases, se usan características morfológicas clara y fácilmente reconocibles, excepto donde se establezca lo contrario, solamente se toma en consideración el desarrollo del tallo principal. v) Las fases de crecimiento refieren a plantas individuales representativas dentro del cultivo establecido y características establecidas del cultivo podrán también ser consideradas. vi) Los valores de medidas finales pertenecientes a especies y/o variedades específicas son utilizados para la indicación de tallas. vii) Las fases secundarias de crecimiento 0 a 8 corresponden a los respectivos números ordinarios o valores porcentuales, por ejemplo, la fase 3 puede representar: tercera hoja verdadera, tercera rama, tercer nodo o 30% del largo final o medida típica de la especie o 30% de apertura floral. viii) Post-cosecha o manejo de almacenamiento se codifica como 99 y el tratamiento de la semilla antes de la siembra se codifica como 00.

El ciclo de desarrollo completo de la planta esta subdividido en 10 fases de desarrollo claramente distinguibles y de duración amplia. Estas etapas principales de desarrollo son descritas usando un número del 0 al 9 en orden ascendente. Debido a la existencia de un gran número de especies diferentes, estas etapas pueden cambiar en el transcurso del desarrollo o ciertas etapas pueden ser omitidas. Las etapas principales de crecimiento no requieren proceder estrictamente en una secuencia definida por el orden ascendente del sistema de codificación, por lo que pueden ocasionalmente proceder paralelamente, por ejemplo, desarrollo de flores y de fruto al mismo tiempo.



Figura 1.2. Detalle del fruto, flor, hoja y estructura vegetal de 9 poblaciones pertenecientes a las especies *Physalis acutifolia*: AS 230 (1), AL 482 (2), AM 555 (3); *P. chenopodiifolia*: CC 536 (4), CI 538 (5), CH 539 (6); *P. pubescens* var. *pubescens*: PM 253 (7), PC 546 (8); *P. pubescens* var. *grisea*: PZ 547 (9). Fotografías de los ciclos de cultivo 2012 y 2013.

Objetivo General

Realizar una caracterización morfoagronómica, nutricional y la documentación fenológica de tres especies silvestres de tomate de cáscara que tienen un aprovechamiento tradicional e incipiente en México.

Objetivos particulares

1. Caracterizar morfo-agronómicamente a *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*.
2. Conocer el potencial de establecimiento y adaptación de las poblaciones estudiadas bajo condiciones de cultivo a cielo abierto.
3. Documentar su fenología bajo el sistema de escala extendido BBCH.
4. Evaluar el potencial productivo bajo manejo agronómico.
5. Analizar los niveles nutricionales de los frutos.

Preguntas a contestar

Los resultados de este estudio respondieron a cuestionamientos relacionados con el conocimiento y aprovechamiento de las tres especies estudiadas ¿Cuál es la respuesta al manejo agrícola del germoplasma perteneciente a las tres especies silvestres? ¿Las especies estudiadas tienen una capacidad de adaptación que permita su desarrollo en un ambiente diferente al de origen? ¿Cuáles descriptores son útiles para la identificación en campo de las tres especies estudiadas? ¿Existe variabilidad morfológica entre y dentro de las tres especies silvestres? ¿Las especies estudiadas cuentan con potencial agronómico que les permita ser consideradas en futuros trabajos de mejoramiento y selección? ¿Qué valor nutricional tienen sus frutos en relación a especies cultivadas que tienen uso similar? ¿Qué aplicabilidad tiene el sistema de escala BBCH para el registro y codificación de la fenología en especies de *Physalis* silvestres?

Hipótesis

Para cada objetivo particular se planteó una hipótesis:

1) Las poblaciones naturales exhiben amplia variación morfológica producto de su historia natural. Asimismo el principio de predictibilidad indica que los parientes silvestres de las plantas cultivadas tendrán cualidades similares a las cultivadas. Por ello se postula que las tres especies silvestres de *Physalis* bajo estudio poseen suficiente variación morfológica y agronómica y utilizando métodos de caracterización vegetal es posible identificar entre ellas accesiones promisorias para futuros programas de selección y fitomejoramiento.

2). Varias especies de *Physalis* son cultivadas, bajo el principio de predictibilidad se asume que las especies silvestres estudiadas poseen una adecuada capacidad de adaptación a condiciones de cultivo en suelo abierto, la cual puede evaluarse por medio de su sobrevivencia y rendimiento. A su vez, esta capacidad, permite su manejo agrícola y aprovechamiento como ocurre con otras especies cultivadas de *Physalis*.

3) Los descriptores son útiles para reconocer los atributos morfológicos y cualidades agronómicas particulares de las especies cultivadas. Por tanto se predice que es posible caracterizar morfológica y agronómicamente varias especies silvestres de *Physalis* utilizando un reducido grupo de descriptores, sin atenuar la calidad de los resultados. Los descriptores de mayor poder discriminante, no relacionados entre sí y de mayor valor, se identificarán por medio de análisis de correlación y análisis multivariados utilizados comúnmente en la caracterización vegetal. Tales descriptores sentarán una base confiable para la caracterización de especies del género.

4.) Diversas Solanáceas cultivadas como hortalizas poseen frutos con excelentes cualidades para consumo directo o como productos procesados. En este sentido, se plantea la hipótesis de que los frutos de las especies silvestres de *Physalis* poseen niveles nutricionales semejantes al de las especies cultivadas emparentadas y propiedades organolépticas deseables, que pueden evidenciarse a través de los análisis químicos y bromatológicos. De comprobarse lo anterior, se podrán considerar a los frutos de especies silvestres de *Physalis* como una opción nutritiva y agradable al paladar en las regiones donde estas especies se distribuyen de forma natural.

5) El sistema de codificación de las fases fenológicas BBCH es útil para el registro del desarrollo de especies vegetales cultivadas. Se postula que el desarrollo fenológico de las tres especies silvestres estudiadas es similar al de especies cultivadas de *Physalis*, como *P. peruviana* y *P. angulata*. Asimismo, la codificación de las etapas de desarrollo bajo el sistema de escala BBCH, permitirá identificar coincidencias entre las especies y será un antecedente en la codificación de la fenología de especies silvestres en este género.

Estrategia experimental

El enfoque metodológico en este estudio integró métodos de caracterización vegetal así como información sobre la capacidad de adaptación a condiciones de cultivo, diversidad morfológica, potencial agronómico, fases fenológicas típicas y secundarias y atributos químico-bromatológicos del fruto de las especies silvestres evaluadas. Para un manejo más objetivo y eficiente de los resultados, la información obtenida de los registros fue analizada a través del uso de métodos multivariados y de estadística univariada y multivariada.

Contenido de los capítulos

El **capítulo 1** expone el marco teórico del estudio y en los **capítulos 2, 3 y 4**, se exponen los resultados centrales del estudio.

El capítulo 1 es una referencia introductoria a los temas abordados en la tesis, que resalta la importancia de los estudios sobre la variabilidad en poblaciones silvestres y cultivadas en vías de un mejor aprovechamiento del recurso fitogenético. Se enfatiza la importancia de realizar estudios sobre la diversidad genética en la región Mesoamericana, que es centro de origen, diversidad y domesticación de especies relevantes para la alimentación regional y mundial. En adición, se resume la estrategia para la conservación de los recursos fitogenéticos dentro de dos enfoques: el estudio y el aprovechamiento del germoplasma. Se hace referencia a la trascendencia de México

como núcleo de la región Mesoamericana y su importancia como país megadiverso. Se enuncia el incipiente aprovechamiento que se da a los recursos fitogenéticos en el país y del género *Physalis*. Este género, representado con más de 70 especies de distribución natural en el país, tiene un 95% de especies con un aprovechamiento bajo o nulo. Esto puede deberse en parte, a la escasa producción de estudios y el consecuente conocimiento limitado del género. Se trata brevemente del aprovechamiento de especies cultivadas de *Physalis* a nivel mundial, así como la importancia de caracterizar especies silvestres como un avance en el conocimiento del recurso fitogenético. Al final del capítulo, se introduce al sistema de escala BBCH para el registro y codificación de las fases de desarrollo vegetal, sistema ampliamente utilizado en Europa para especies cultivadas.

El **capítulo 2** presenta los resultados de la caracterización morfoagronómica de tres especies silvestres de *Physalis*. En ella se evalúa la variabilidad inter e intra específica para nueve poblaciones pertenecientes a las tres especies, incluidas dos variedades de *P. pubescens*. Para ello, se probaron 46 descriptores utilizados en la caracterización de especies afines. De éstos, 22 descriptores morfológicos y 12 agronómicos mostraron mayor utilidad por su capacidad discriminante. Además, se evaluó su capacidad de establecimiento y adaptación bajo condiciones de cultivo en suelo abierto, así como su potencial agronómico. En el diseño experimental se incluyó una población cultivada de *P. angulata* como control. Los resultados indicaron la presencia de variabilidad morfológica y agronómica inter e intra específica. Además, siete de nueve poblaciones pertenecientes a las tres especies silvestres (78%) mostraron un potencial agronómico y una capacidad de adaptación que permite considerarlas como promisorias para estudios sobre fitomejoramiento.

El **capítulo 3** expone el potencial agronómico de las tres especies silvestres con el uso de seis descriptores de interés agronómico. Además se presenta el análisis de los niveles nutricional del fruto, en relación a dos atributos químicos: dulzor y acidez, y siete bromatológicos: proteínas, lípidos, azúcares, humedad, materia seca, fibra y minerales; esto, con el fin de conocer comparativamente su valor nutricional en relación a las especies cultivadas de Solanaceae. Asimismo, se incluye la documentación de las fases fenológicas de desarrollo bajo el sistema de escala BBCH, especificando la duración de cada periodo. Los resultados refieren que las especies estudiadas muestran un potencial agronómico cercano al control (*P. angulata*). Esto, muestra la factibilidad de su cultivo e introducción a programas de fitomejoramiento. En adición, los frutos pertenecientes a las tres especies silvestres, poseen un valor nutricional semejante al de especies cultivadas de *Physalis*, como son la especie control (*P. angulata*), el tomate verde (*P. philadelphica*), la uchuva (*P. peruviana*) y especies con un mayor aprovechamiento como el jitomate (*S. lycopersicum*). La versatilidad de los frutos es una cualidad interesante que también se estudió. Los frutos dulces de *P. pubescens* var. *grisea* y *P. chenopodifolia* mostraron menor acidez (pH) y mayor dulzor (°Brix) que frutos de amplio consumo como la piña, limón, naranja y melón cantaloupe; donde, el valor nutricional y la versatilidad de sus frutos pueden resultar de interés para la industria de alimentos. Finalmente, el **capítulo 4** comprende las conclusiones generales de este estudio.

Referencias

- Aramendiz, H., J.R. Robles, C.E. Cardona, J.D. Llano y E.A. Arzuaga. 2006. Caracterización morfológica de la berenjena (*Solanum melongena* L.). *Temas Agrarios* 11: 5-14.
- Bharucha, Z. y J. Pretty. 2010. The roles and values of wild foods in agricultural systems. *Philosophical Transactions of The Royal Society of Biological Sciences* 365: 2913-2926.
- Casas, A., M.C. Vázquez, J.L. Viveros y J. Caballero. 1996. Plant management among the Nahua and the Mixtec of the Balsas river Basin: an ethnobotanical approach to the study of plant domestication. *Human Ecology* 24: 455-478.
- Castañón N., G., L. Latournerie, J.M: Leshner E. de la Cruz y M. Mendoza. 2010. Identificación de variables para caracterizar morfológicamente colectas de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo* 26(3): 225-234.
- D'Arcy, W. G. 1991. The Solanaceae since 1976, with Review of its Biogeography. En: J. G. Hawkes, R.N. Lester, M. Nee y N. Estrada (eds.) *Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry and Evolution*. Royal Botanical Garden, Kew. Pp. 75-138.
- Dinakaran, S.K., N.R. Saraswathi, V.R. Rao Nalini, Srisudharson, V.R. Reddy Bodanapu, H. Avasarala y D. Banji. 2011. Anti lipid peroxidation activity of *Piper trioicum* Roxb. and *Physalis minima* L. extracts. *Pakistan Journal of Pharmacology Science* 24: 411-413.
- Doebley, J.F., B.S. Gaut y B.D. Smith. 2006. The Molecular Genetics of Crop Domestication. *Cell* 127: 1309-1321.
- El Sheikha, A.F., F. Ribeyre, M. Larroque, M. Reynes y D. Montet. 2009. Quality of *Physalis* (*Physalis pubescens* L.) juice packed in glass bottles and flexible laminated packs during storage at 5°C. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 9: 1388-1405.
- FAO. 1996. Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo. Conferencia técnica Internacional. 17-23 junio. Leipzig, Alemania. 85 p. En: <http://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/016/aj633s.pdf>. Acceso: enero 2014.
- FAO-Bioversity. 2014. Recolección de recursos fitogenéticos en América latina y el Caribe: historia y perspectivas. PGR Newsletter. En: http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/PGR/article-issue_128-art_28-lang_es.html. Acceso: febrero 2014.
- Franco, T. L. y R. Hidalgo. 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico núm. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, eds.). Cali, Colombia. 89 p.
- García, R., E. Ibarra y R. Nieto. 2013. Compuestos antioxidantes en frutos de tejocote (*Crataegus* spp.) de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 1298-1304.

- Gepts, P. 2004. Crop Domestication as a Long-term Selection Experiment. *Plant Breeding Reviews* 24(2): 1-44.
- Gheno, Y.A., G. Nava, A.R. Martínez y E. Sánchez. 2011. Las plantas medicinales de la organización de parteras y médicos indígenas tradicionales de Ixhuatlancillo, Veracruz, México y su significancia cultural. *Polibotánica* 31: 199-251.
- Gibson, K.A., R.N. Reese, F.T. Halaweish y Y. Ren. 2012. Isolation and characterization of a bactericidal withanolide from *Physalis virginiana*. *Pharmacognosy Magazine* 8: 22-28.
- Harlan, J.R. 1992. *Crops and man*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI. 284 p.
- Hassanien, M.F. 2011. *Physalis peruviana*: A Rich Source of Bioactive Phytochemicals for Functional Foods and Pharmaceuticals. *Food Reviews International* 27: 259-273.
- Helvacı, S., G. Kökdil, M. Kawai, N. Duran, G. Duran y A. Güvenc. 2010. Antimicrobial activity of the extracts and physalin D from *Physalis alkekengi* and evaluation of antioxidant potential of physalin D. *Pharmaceutical Biology* 48: 142-150.
- Hernández, J.M. 2002. Glosario de términos útiles para el manejo de los recursos fitogenéticos. Nidia Priscila Henríquez (comp.), 1° ed., REMERFI. San Salvador, El Salvador. 80 p.
- Herrera, A., J. Ortíz, G. Fischer y M. Chacón. 2011. Behavior in yield and quality of 54 cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) accessions from north-eastern Colombia. *Agronomía Colombiana* 29: 189-196.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico núm. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. Pp. 2-26.
- Jaenicke, H. e I. Höschle (eds). 2006. Strategic Framework for Underutilized Plant Species Research and Development, with Special Reference to Asia and the Pacific, and to Sub-Saharan Africa. International Centre for Underutilised Crops, Colombo, Sri Lanka and Global Facilitation Unit for Underutilized Species. Rome, Italy. 33 p.
- Jedrszczyk, A.M. Ambroszczyk, J. Kopcińska, B. Skowera y A. Sękara. 2012. Comparison of morphological characteristics of twelve cultivars of tomato determinate plants and their impact on yield and its structure. *Vegetable Crops Research Bulletin* 76: 89-97.
- Jiménez, E., V. Robledo, A. Benavides, F. Ramírez, H. Ramírez y E. de la Cruz. 2012. Calidad del fruto de genotipos tetraploides de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo* 28: 153-161.
- Kindscher, K., Q. Long, S. Corbett, K. Bosnak, H. Loring, M. Cohen y B. Timmermann. 2012. The Ethnobotany and Ethnopharmacology of Wild Tomatillos, *Physalis longifolia* Nutt., and Related *Physalis* Species: A review. *Economic Botany* 66: 298-310.

- Long, J. 2001. Una semblanza de las Solanaceae. *Etnobiología* 1:18-24.
- Madrugá, C.S., J. Severo, R. Manica, J.A. Silva, L. Rufato y A. de Rossi. 2009. Características físico-químicas de *Physalis* en diferentes colores de cáliz y sistemas de conducción. *Revista Brasileña de Fruticultura Jaboticabal* 31: 1060-1068.
- Martínez, M. 1998. Revisión de *Physalis* Sección Epeteiorhiza (Solanaceae). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, serie Botánica* 69: 71-117.
- Martínez, M., A. Rodríguez, O. Vargas y F. Chiang. 2011. Catálogo nomenclatural de las Solanaceae de México. Universidad Autónoma de Querétaro. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto HS004. México, D.F. 41 p.
- Mera, L.M. 1987. Estudio comparativo del proceso de cultivo de la arvense *Physalis chenopodifolia* Lamarck, y *Physalis philadelphica* var. *philadelphica* cultivar Rendidora. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, México. 115 p.
- Montes, S. y A. Aguirre. 1994. Etnobotánica del tomate mexicano (*Physalis philadelphica* Lam.). *Revista de Geografía Agrícola* 1: 163-172.
- Navarro, C., L.C. Bolaños y T.C. Lagos. 2010. Caracterización morfoagronómica y molecular de 19 genotipos de papa guata y chaucha (*Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz et Buk) cultivados en el departamento de Nariño. *Revista de Agronomía* 27: 27-39.
- Nanumala, S.K., R. Kannadhasan, K. Gunda, G. Sivakumar y P. Somasekhar. 2012. Anti ulcer activity of the ethanolic extract of leaves *Physalis angulata* L. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science* 4: 1-3.
- Olsen, K.M. y J.F. Wendel. 2013. A Bountiful Harvest: Genomic Insights into Crop Domestication Phenotypes. *Annual Review of Plant Biology* 64: 47-70.
- Peña, A., J.F. Santiaguillo y N. Magaña. 2007. Recursos y Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). En: Producción de tomate de cáscara. M. Bautista y P.C. Chavarín (eds.). Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. Pp: 31-71.
- Pickersgill, B. 2007. Domestication of Plants in the Americas: Insights from Mendelian and Molecular Genetics. *Annals of Botany* 1-16. En: <http://aob.oxfordjournals.org/content/100/5/925.full>. Acceso: Febrero 2013.
- Ponce, J.J., A. Peña, F. Sánchez, J.E. Rodríguez, R. Mora, R. Castro y N. Magaña. 2011. Evaluación de podas en dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horm.) cultivado en campo. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 17: 151-160.
- Puente, L., C. Pinto, E. Castro y M. Cortés. 2011. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International* 44: 1733-1740.

- Ramadan, M. 2011. Bioactive phytochemicals nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): An overview. *Food Research International* 44: 1830-1836.
- Rengifo, E., y G. Vargas. 2013. *Physalis angulata* L. (Bolsa Mullaca): a review of its traditional uses, chemistry and pharmacology. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 12: 431-445.
- Rzedowski, J. y G. Calderón. 2013. Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio de México. *Acta Botánica Mexicana* 102: 1-23.
- Sánchez G., J.J. y M.M. Goodman. 1992. Relationships among the Mexican races of maize. *Economic Botany* 46: 72-85.
- Sánchez M., J., J. Padilla, B. Bojorquez, M.C. Arriaga, R. Sandoval, E. Sánchez. 2006. Tomate de cáscara cultivado y silvestre del occidente de México. SAGARPA, SNICS, Universidad de Guadalajara, CUCBA. Prometeo (eds.), México. Pp. 75-79.
- Sánchez M., J., O. Vargas y P. Zamora. 2008. Cultivo tradicional de *Physalis angulata* L. (Solanaceae) una especie de tomatillo silvestre de México. *Avances en la investigación científica en el CUCBA*. En: [http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola\(pp%201-86\)/SanchezMartinezJose/75-80.pdf](http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola(pp%201-86)/SanchezMartinezJose/75-80.pdf). Acceso: junio 2013.
- Santiagoullo, J.F., A. Peña y D. Montalvo. 1998. Evaluación de variedades de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) en Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 4: 83-88.
- Santiagoullo, F. y S. Blas. 2009. Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola* 43: 81-86.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, s. Anta y J. de la Maza. 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México. 104 p.
- Sneath, P.H.A. y R.R. Sokal. 1973. *Numerical taxonomy*, W.H. Freeman and Co. (eds.), San Francisco CA., 573 p.
- Tardío, J., M. Molina, L. Aceituno, M. Pardo, R. Morales, V. Fernández, P. Morales, P. García, M. Cámara y M.C. Sánchez. 2011. *Montia fontana* L. (Portulacaceae), an interesting wild vegetable traditionally consumed in the Iberian Peninsula. *Genetic Resource of Crop Evolution* 58: 1105-1118.
- Tong, H., M. Zhu, K. Feng y L. Sun. 2011. Purification, characterization and *in vitro* antioxidant activities of polysaccharide fractions isolated from the fruits of *Physalis alkekengi* L. *Journal of Food Biochemistry* 35: 524-541.

- Trillos, O., J.M. Cotes, C.I. Medina, M. Lobo y A.A. Navas. 2008. Caracterización morfológica de cuarenta y seis accesiones de uchuva (*Physalis peruviana* L.), en Antioquía (Colombia). *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal* 30: 708-715.
- Vargas, O., M. Martínez y P. Dávila. 2003. La familia Solanaceae en Jalisco: El género *Physalis*. Colección Flora de Jalisco, Boletín Núm. 16. Inst. de Botánica, Depto. de Botánica y Zoología, CUCBA, U. de G., México. 130 p.
- Vargas, O., L. Pérez, P. Zamora y A. Rodríguez. 2011. Assessing Genetic Diversity in Mexican Husk Tomato Species. *Plant Molecular Biology Reporter* 29: 733-738.
- Vaughan, D.A., E. Balázs y J.S. Heslop-Harrison. 2007. From Crop Domestication to Super-domestication. *Annals of Botany* 100: 893-901.
- Withson, M. y P.S. Manos. 2005. Untangling *Physalis* (Solanaceae) from the Physaloids: A Two-Gene Phylogeny of the Physalinae. *Systematic Botany* 30: 216-230.
- Yen, Ch., Ch. Chiu, F. Chang, J. Chen, Ch. Hwang *et al.* 2010. 4 β -Hydroxywithanolide E from *Physalis peruviana* (golden berry) inhibits growth of human lung cancer cells through DNA damage, apoptosis and G₂/M arrest. *BMC Cancer* 10(46): 1-8.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang y C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.
- Zizumbo, D. y P. Colunga. 2010. Origin of agriculture and plant domestication in west Mesoamerica. *Genetic Resource and Crop Evolution* 57: 813-825.
- Zohary, D. 2001. Domestication of crop plants. En: S.A. Levin (eds.), *Encyclopedia of biodiversity*. Academic Press, San Diego. Vol. 2. Pp. 217-227.

CAPÍTULO 2

Caracterización morfoagronómica de tres especies silvestres de tomate de cáscara (*Physalis*, Solanaceae) de México

Luis E. Valdivia¹, Ofelia Vargas Ponce^{1*}, Fabián A. Rodríguez Zaragoza² y J. Jesús Sánchez González³. ¹Depto. Botánica y Zoología, ² Depto. Ecología, ³ Instituto para el Manejo de Recursos Fitogenéticos, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km 15.5 carr. Guadalajara-Nogales, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. *Autor para correspondencia vargasofelia@gmail.com

Resumen. La caracterización vegetal genera información fundamental del germoplasma que puede ser incorporado en programas de fitomejoramiento. *Physalis* tiene una importancia hortícola y pese a su alta riqueza de especies, sólo el 5% son cultivadas. Este estudio evaluó la variabilidad intra e inter-específica a través de la caracterización morfoagronómica y la adaptabilidad al cultivo de tres especies silvestres (*Physalis acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*) que son sujetas de aprovechamiento tradicional. Se seleccionaron 10 poblaciones, tres de cada especie y una como control (*P. angulata*) que es cultivada en el estado de Jalisco. El diseño experimental consistió en bloques completos al azar con tres repeticiones y la evaluación se realizó en dos ciclos productivos en Zapopan, Jalisco. Para la caracterización se utilizaron 46 descriptores y métodos multivariados. La identificación de los descriptores apropiados fue con base en los criterios de repetitividad (**R**), de heredabilidad (**H**) en el sentido amplio, del nivel de correlación (*r*) y el comportamiento en los análisis multivariados. Dieciocho descriptores presentaron correlaciones altas ($r > 0.90$) y 24 fueron relevantes en **R** (> 1.2) y **H** (> 0.54). Se registró alta variabilidad morfológica y agronómica entre especies y poblaciones utilizando 22 descriptores morfológicos y 12 agronómicos. Con base en los criterios de identificación, 8 descriptores morfológicos y 3 agronómicos resultaron más apropiados. El 78% de las poblaciones, correspondientes a dos de *P. acutifolia*, tres de *P. chenopodifolia* y dos de *P. pubescens* tuvieron un potencial agronómico sobresaliente por precocidad y rendimiento. Los resultados evidenciaron que las tres especies silvestres son promisorias para su incorporación en proyectos de fitomejoramiento.

Palabras claves: cultivos anuales, fenología, fitomejoramiento, *Physalis*, recursos genéticos.

Introducción. México es parte del centro de origen de la agricultura y núcleo de domesticación en Mesoamérica (Harlan 1971; Pickersgill 2009). Además es un centro geográfico cultural favorable para el estudio de especies silvestres y arvenses sujetas a aprovechamiento y con potencial para incorporarse al desarrollo de proyectos productivos que permitan su uso y potenciación (Casas *et al.* 1996; Zizumbo y Colunga 2010).

Dentro de la familia Solanaceae, *Physalis* con 90 especies es el cuarto género de mayor riqueza. *Physalis* tiene distribución natural en América, donde 70 de estas especies crecen en México, siendo su centro de origen y diversidad (D'Arcy 1991; Vargas *et al.* 2003). Tal diversidad dentro del género propicia su aprovechamiento en casi todo el país (Vargas *et al.* 2011). Conocidas con el nombre de tomate de cáscara o tomatillo, varias especies de *Physalis* han sido empleadas desde el año 900 a.C. para la alimentación, herbolaria, ornamento y artesanía; siendo desde Norteamérica a Centroamérica, un elemento cultural importante en la cocina tradicional (Martínez 1998; Jiménez *et al.* 2012; Kindscher *et al.* 2012). En este contexto es relevante caracterizar y evaluar

germoplasma de especies silvestres de *Physalis* que tienen potencial para su desarrollo como cultivo hortícola y a la vez, identificar la presencia de rasgos útiles para programas de fitomejoramiento (Estrada *et al.* 1994; Berretta y Rivas 2001; Franco e Hidalgo 2003).

A pesar de la riqueza y el potencial de aprovechamiento del género, sólo dos especies de *Physalis* son cultivadas a escala comercial para consumo interno y exportación. *Physalis peruviana* L. se produce en áreas de distribución natural en Sudamérica, África (como introducida) y algunos países europeos, la producción se exporta principalmente a Europa Occidental (Herrera *et al.* 2011). Por su parte, *P. philadelphica* L. es la quinta hortaliza de mayor cultivo en México, se exporta a los EUA (Peña 2001; Santiaguillo *et al.* 2004) y también se cultiva en Guatemala y Nicaragua (Sánchez *et al.* 2006; López *et al.* 2009). Sus poblaciones arvenses forman parte del sistema de producción de cultivos tradicionales (Montes y Aguirre 1994), donde son toleradas por sus frutos. De igual forma en el centro y occidente de México, las variantes de tomate de cáscara con frutos pequeño son apreciadas por su sabor y precio elevado (Sánchez *et al.* 2006); a los frutos se les nombra y comercializa como tomatillo y tomate milpero por su origen putativo en el agrosistema milpa. Estos tomatillos pueden corresponder a diferentes especies silvestres, que crecen como arvenses, ruderales o en áreas cercanas a asentamientos humanos, donde se incluyen *P. acutifolia* (Miers) Sandwith, *P. angulata* L., *P. chenopodifolia* Lam., *P. cordata* Mill., *P. cinerascens* (Dunal) Hitchc., *P. philadelphica* L. y otras 12 especies que son recolectadas para autoconsumo o venta local (Martínez 1998; Vargas *et al.* 2003; Kindscher *et al.* 2012). De manera paralela, el interés por el aprovechamiento de tomatillos ha dado como resultado su cultivo a baja escala. Por ejemplo, *P. grisea* (Waterf.) M. Martínez (= *P. pruinosa* L.) y *P. longifolia* Nutt., son cultivadas en jardines y huertos familiares en los EUA y hay disponibilidad de fruto fresco y venta de semillas por catálogo. En México, *P. angulata* se cultiva a escala comercial y se siembra en parcelas no mayores a una hectárea en el centro de Jalisco (región Los Altos). Sus frutos se comercializan con el nombre de tomate milpero (Sánchez *et al.* 2008; Vargas *et al.* 2014 en prep.).

En este escenario toman importancia tres especies silvestres de tomate que son de interés popular por su aprovechamiento. *Physalis chenopodifolia* es una herbácea endémica de México, semi arbustiva y perenne. Produce frutos de color amarillo y sabor dulce, similares en aroma y brillo a los de *P. peruviana* (Mera 1987; Vargas *et al.* 2003); éstos tienen alta preferencia de consumo por los grupos Mazahuas del centro del país en los estados de Puebla, Estado de México y Tlaxcala quienes permiten su desarrollo como arvense en áreas de cultivo del maíz (Williams 1993). Por su parte, *P. acutifolia* es una herbácea anual que crece en ambientes tropicales de baja altitud desde el suroeste de los EUA hasta Centroamérica (Vargas *et al.* 2003; Kindscher *et al.* 2012), produce abundantes frutos de sabor ácido, color verde violáceo y hasta de 1.2 cm de diámetro; éstos se recolectan y aprovechan como alimento por tribus en el desierto del suroeste de los EUA y algunas etnias en la costa Nayarita de México; no existe antecedente de cultivo para este taxón (Martínez y Fernández 1969; Sánchez *et al.* 2006; Kindscher *et al.* 2012). En adición, *P. pubescens* es una herbácea anual que se distribuye desde los EUA hasta Argentina, incluyendo Las Antillas. Tiene una vasta amplitud de adaptación ecológica por lo que presenta amplia variación morfológica. Su variabilidad en sentido amplio fue ordenada por Waterfall (1967) dentro dos variedades. En México, *P. pubescens* var. *pubescens* es muy frecuente, tiene una amplia distribución en bosques tropicales, de pino-encino y áreas antropogénicas, donde es aprovechada por su fruto de sabor

ácido a dulce, color verde a verde amarillento y aromático. Por su parte, *P. pubescens var. grisea* Waterf. (= *P. pruinosa* L.) fue elevada a nivel de especie por Martínez (1998) y señaló su presencia natural en el SE de los EUA y Canadá, ésta produce frutos de sabor dulce y color amarillo en la madurez, se cultiva en huertos y jardines familiares (Martínez 1998; Vargas *et al.* 2003).

La caracterización morfoagronómica de accesiones resguardadas en los bancos de germoplasma es fundamental en proveer de información útil para programas de fitomejoramiento (FAO 1996). A través de ésta es posible conocer el potencial como recurso fitogenético por su valor agronómico y la capacidad de adaptación a diversas condiciones de cultivo (Lin 1991; Berretta y Rivas 2001; Franco e Hidalgo 2003; Vallejo *et al.* 2010). En la actualidad, el 80% del germoplasma silvestre en colecciones de bancos no ha sido caracterizado y el 95% no tiene una evaluación agronómica (Berretta y Rivas 2001). Sin embargo, alrededor del mundo aumenta el interés por la caracterización de especies silvestres y arvenses, con el objetivo de incursionarlas al cultivo intensivo como nuevos cultivares. Esto, con el fin de mejorar la calidad y variedad alimentaria de la población e impulsar la economía del sector agrícola en regiones con pobreza (Fisher 2000, 2005).

En la caracterización de especies cultivadas se utilizan frecuentemente descriptores sugeridos por Bioversity Intl. (1996) o aquellos reportados como útiles en estudios previos (Franco e Hidalgo 2003); para las especies silvestres generalmente no existe tal facilidad, por ello, se recomienda el uso de descriptores utilizados en especies cercanas (Berretta y Rivas 2001). Así, en estudios con material silvestre, el número de caracteres puede alcanzar un medio centenar, con la consecuente medición de variables irrelevantes en perjuicio de los costos y esfuerzos.

Para optimizar el uso de los recursos y unificar los criterios de análisis y caracterización, la identificación de los descriptores apropiados es una estrategia viable. Para ello, algunos criterios utilizados en la depuración de descriptores son: facilidad de observación y el no requerir de equipo o capacitación especial de medición (Bioversity 1996; Franco e Hidalgo 2003), mostrar valores no relevantes de correlación entre sí (Castañón *et al.* 2010; Navarro *et al.* 2010), contar con valores mayores de repetitividad y heredabilidad (Goodman y Paterniani 1969; Sánchez *et al.* 1993; Bioversity 1996), presentar mayor correlación con los primeros componentes del análisis ACP (Martínez *et al.* 2010; Zapata *et al.* 2012) y contar con suficiente poder discriminante en los análisis de componentes (ACP) y para la construcción de dendogramas robustos en el análisis de clasificación (Trillos *et al.* 2008; Navarro *et al.* 2010). Estos criterios pueden complementarse entre sí para una selección confiable de los descriptores más importantes. Goodman y Paterniani (1969) refieren que en estudios intra específicos es común que las medias obtenidas de las colecciones de germoplasma puedan estar sujetas al sesgo ambiental aún y cuando sean estimadas con precisión; dicho sesgo está determinado por la variación ambiental e interacción ambiental, en relación al tamaño de las diferencias entre las medias de las poblaciones. Por ello, la selección de caracteres apropiados debe incluir aquellos que expresen mayor estabilidad y que estén sujetos a un menor sesgo ambiental (Sánchez *et al.* 1993).

Empero la riqueza del género *Physalis* y el aprovechamiento incipiente de sus especies silvestres, sólo se ha caracterizado morfo-agronómicamente a tres especies cultivadas: *P. peruviana* (Trillos *et al.* 2008; Herrera *et al.* 2011; Morillo *et al.* 2011), *P. philadelphica* y *P. angulata* (Sánchez *et al.* 2005, 2006). Nuevos trabajos de caracterización de especies silvestres permitirán identificar

taxones y poblaciones con atributos deseables por productores e investigadores; ello con el objeto de desarrollar nuevos cultivos, mejorar características agronómicas de los existentes y generar un conocimiento más integral de este recurso. Por ello, el objetivo de este estudio fue la caracterización morfológica y la evaluación agronómica de tres especies silvestres de tomate de cáscara que tienen un uso tradicional en México: *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*.

Materiales y métodos

Selección de germoplasma, diseño experimental y manejo agrícola

El estudio se llevó a cabo en terrenos experimentales de la Universidad de Guadalajara ubicados en Zapopan, Jalisco, México. La altitud del sitios es 1,640 msnm con suelo de tipo regosol éutrico, con pH de 5.38, el clima es semi-cálido templado con verano cálido lluvioso (García, 1988). El promedio anual de temperatura media es 19.6 °C, 979.6 mm de precipitación promedio anual y el 60% de humedad relativa. Se seleccionaron 10 poblaciones de *Physalis* procedentes del norte, centro y occidente de México, que se encuentran depositadas en el banco de germoplasma del Centro de Investigaciones en tomate de cáscara (CITOCA). Las especies *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* se representaron con tres poblaciones cada una. Dos poblaciones de *P. pubescens* corresponden a la variedad *pubescens* y una a la variedad *grisea* para representar la variación natural del taxón. Una población de *P. angulata* cultivada en la región centro de Jalisco se utilizó como control (Cuadro 2.1). Para la obtención de plántulas, 180 semillas por población se germinaron en charolas bajo condiciones de invernadero, en enero y febrero de 2012 y 2013. Como sustrato se utilizó una mezcla de musgo-regolita-humus (3:2:1).

El trasplante se hizo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. A la presencia de la cuarta hoja verdadera (P4°HV), diez plántulas por repetición se trasplantaron en suelo directo en parcelas de 4.5 m², a una distancia de 60 cm entre planta y 150 cm entre surcos, resultando una densidad de 13,778 plantas-ha⁻¹. El manejo agrícola consistió en acolchado del suelo con película plástica, riego mediante cintilla de goteo y buenas prácticas agrícolas como limpieza de maleza, uso de fertilizantes orgánicos e insecticidas específicos.

El registro de datos se realizó aleatoriamente en cinco individuos por repetición, para un total de 15 por población y 45 por especie. Se crearon dos bases de datos: la primera incluyó descriptores de tipo morfológico y para la descripción varietal, referidos en este trabajo en su conjunto, como descriptores morfológicos. La segunda base integró los descriptores agronómicos, fenológicos y para la calidad del fruto, referidos en conjunto como agronómicos.

Cuadro 2.1. Ubicación geográfica en México de accesiones de *Physalis* utilizadas en el estudio

Especie	Código	Muestra	Estado	Municipio	Localidad	Georeferencia
<i>P. acutifolia</i>	AS	JS 230	Nayarit	Santiago Ixcuintla	El pulpo Sauta	N 21° 43' 13" W 105° 10' 47.3" 11 msnm
	AL	JS 482	Michoacán	Lombardía	Lombardía	N 19° 05' 58.44" W 102° 03' 27.2" 533 msnm
	AM	OVP 555	Baja California	Mexicali	Mexicali	N 32° 37' 41.82" W 115° 30' 58.3" 3 msnm
<i>P. angulata</i>	AngC	JS 312	Jalisco	Cuquío	Ocotic	N 20°59' 31.1" W 103°05' 26.8" 1854 msnm
<i>P. chenopodifolia</i>	CC	OVP 536	Tlaxcala	Calpulualpan	Españita	N 19° 28' 0.1" W 98° 27' 6.8" 2642 msnm
	CI	OVP 538	Tlaxcala	Ixtenco	La Malinche	N 19° 14' 12.9" W 97°57' 5.4" 2798 msnm
	CH	OVP 539	Puebla	Huejotzingo	Sn. Nicolás de los Ranchos	N 19° 04' 17.6" W 98° 30' 4.07" 2502 msnm
<i>P. pubescens</i>	PM	JS 253	Michoacán	Maravatío	Maravatio	N 19° 51' 55" W 100° 27' 32.2" 2039 msnm
	PC	JS 546	Jalisco	Cuquío	Palos Altos	N 21° 01' 07.65" W 103° 06' 52.7" 1928 msnm
	PZ	AR 547	Jalisco	Zapopan	Tepopote	N 20° 43' 45.19" W 103° 34' 07.6" 1610 msnm

AR: Aarón Rodríguez Contreras, JS: José Sánchez Martínez, OVP: Ofelia Vargas Ponce.

Descriptorios seleccionados, identificación de caracteres apropiados y análisis de correlación

Al no existir un listado de descriptorios específicos para caracterizar especies del género, se eligieron 46 descriptorios utilizados en solanáceas afines cultivadas (Cuadro 2.2), siguiendo la estrategia de Berretta y Rivas (2001). Dieciocho de ellos se han utilizado en *P. philadelphica* (Jiménez *et al.* 2012), 22 en *P. peruviana* (Herrera *et al.* 2011) y seis en *Solanum lycopersicum* L. (Jedrzczyk *et al.* 2012; Bioversity 1996). De ellos, 29 correspondieron al tipo morfológico y 17 al agronómico; 18 están relacionados a variables cualitativas y 28 a cuantitativas. Para registrar los estados de carácter de las variables cualitativas se consideró el trabajo de Peña *et al.* (2011), excepto para color de máculas en la corola (CM), para la cual se utilizó una escala arbitraria del autor.

El peso de fruto (PPF) y de 100 semillas (TS) se registró con una balanza digital con precisión 0.01 g. La acidez de los frutos se midió como \log_n pH (pHF) con un potenciómetro digital resolución 0.01 y la sacarosa como sólidos suspendidos totales en °Brix (SST) con un refractómetro resolución 0.1. La medición se realizó por triplicado en frutos frescos dentro de las 24 horas de cosecha.

Cuadro 2.2. Listado de descriptores utilizados en la caracterización del germoplasma.

Núm	Nombre del descriptor	Código	Tipo	Unidades
1	Altura de la planta a los	Al15d	M	cm
2	Altura de la planta a los	Al30d	M	cm
3	Altura de la planta a los	Al60d	M	cm
4	Longitud de la hoja	LH	M	Corta= 3, mediana= 5, larga= 7
5	Dentado del margen de	DMH	M	Débil= 1, media= 2, fuerte= 3
6	Longitud del peciolo	LPec	M	Corto= 3, medio= 5, largo= 7
7	Área del dosel a los 60	Do60d	M	cm ²
8	Área del dosel a los 90	Do90d	M	cm ²
9	Área del dosel a los 120	Do120d	M	cm ²
10	Hábito de crecimiento	HCT	M	Erecto= 1, semi-erecto= 2, postrado= 3
11	Color principal del fruto	CF	M	Blanco= 1, verde= 2, amarillo= 3,
12	Intensidad del color del	InCF	M	Claro= 1, medio= 2, oscuro= 3
13	Presencia de	PPT	M	Ausente= 1, parcial=5 total= 9
14	Forma elíptica de la hoja	FEIH	M	Estrecha= 3, media= 5, ancha= 7
15	Color de la hoja	CH	M	Verde amarillento= 1, verde= 2, verde
16	Intensidad del color de la	InCH	M	Débil= 1, intermedio= 5, fuerte= 7
17	Color de las máculas en	CM	M	Amarillas o ausentes= 1, Café= 9
18	Longitud del pedicelo	LPed	M	Corto= 3, medio= 5, largo= 7
19	Presencia de	PPC	M	Ausente= 1, presente= 9
20	Intensidad acostillado del	InAC	M	Ausente= 1, presente= 9
21	Núm. costillas	NCC	M	5, 10
22	Pigmentación	PigAC	M	Ausente= 1, presente= 9
23	Altura a la primera	Al1°BiT	M	mm
24	Diámetro máximo del	DMT	M	mm
25	Diámetro de la corola de	DiaFl	M	Muy pequeño= 1, pequeño= 3, medio= 5,
26	Longitud polar del fruto	LPF	M	mm
27	Diámetro ecuatorial del	DEF	M	mm
28	Color de la pulpa	CP	M	Blanco= 1, amarillo= 2, amarillo verdoso= 3,
29	Número total de frutos	NTF	A	Conteo
30	Tamaño del fruto	TF	A	Muy pequeño= 1, pequeño= 3
31	Peso promedio fruto	PPF	A	gr
32	Cantidad de semilla	CS	A	Conteo
33	Periodo de germinación	PG	F	¹
34	% germinación de la	%G	A	%
35	Periodo aparición de 1°	P1°HV	F	¹
36	Periodo aparición la 4°	P4°HV	F	¹
37	Periodo a primera	P1°BiT	F	¹
38	Periodo aparición del	P1°BoFl	F	¹
39	Periodo a la apertura	PApFl	F	¹
40	Periodo al desarrollo del	PD1°F	F	¹
41	Periodo de madurez	PMFF	F	¹
42	Periodo de madurez	PMCF	F	¹
43	Producción por hectárea	PHa	A	t·ha ⁻¹
44	Sólidos solubles, dulzor	SST	A	Grados Brix
45	Acidez del fruto	pHF	A	Log _n potencial de H
46	Tamaño de la semilla	TS	A	g, peso de 100 semillas

Unidades: ¹Atributo observado a los DDS (días después de siembra de la semilla) en el 50% de los individuos.

Tipo: A= agronómico, F= fenológico, M= morfológico.

En medición de longitud, se utilizó un calibrador digital (precisión ± 0.01 mm) o un flexómetro comercial (cinta métrica, resolución ± 0.001 m). Los registros para atributos de fruto son el promedio de 10 frutos seleccionados al azar provenientes de la segunda cosecha (Jedrszczyk *et al.* 2012).

Los periodos registrados para los descriptores fenológicos representan los días transcurridos después de la siembra de la semilla (DDS). El registro de datos inició en enero de 2012 y febrero de 2013, finalizando en agosto de ambos años a la muerte de los individuos. Las mediciones de la arquitectura vegetal se realizaron en campo al reducirse la velocidad de crecimiento del tallo e inició del desarrollo de frutos (Cuadro 1). El rendimiento se estimó como el producto del número de frutos promedio por planta, por el peso promedio del fruto y la densidad de siembra en campo, $PHa = NTF \times PPF \times \text{densidad de siembra}$ (Vallejo *et al.* 2010; Jedrszczyk *et al.* 2012).

Para la identificación de los caracteres apropiados, se siguieron los criterios de Goodman y Paterniani (1969) y Sánchez (1993) en la distinción de los descriptores que están sujetos a un menor sesgo ambiental y muestren altos valores de repetitividad (R) y heredabilidad (H). Se realizó un análisis de varianza univariada en cada uno de los 46 descriptores, con un diseño mixto de factores aleatorios cruzados y anidados (ciclo, poblaciones, repeticiones dentro de ciclo e interacción ciclo x población). Con los componentes de varianza para cada variable se estimaron los valores de la repetitividad $R = V_p / (V_c + V_{pc} + V_e)$. De la misma manera, se obtuvieron estimaciones de la heredabilidad en el sentido amplio (Cuadro 6) como $H = V_p / (V_p + V_c + V_r + V_{pc} + V_e)$, donde "V" es la varianza para poblaciones (p), repeticiones (r), ciclos (c), interacción ciclo x población (pc) y error experimental (e).

Se aplicó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de Pearson (r) en los 46 descriptores para conocer su comportamiento (Torres *et al.* 2000). Siguiendo a Castañón *et al.* (2010) y Navarro *et al.* (2010), descartar de los análisis multivariados aquellos con valores de correlación y número de correlaciones altos. Para esto, se fijó como valor alto una $r \geq 0.90$ (Rodríguez *et al.* 2011; Graham 2003).

Evaluación de la variabilidad morfo-agronómica

Para identificar variabilidad intra e inter específica, los registros de 22 descriptores morfológicos y 12 agronómicos, de forma independiente se sometieron a tres análisis multivariados: i) Análisis de Componentes Principales (ACP) para identificar grupos con características relevantes (Herrera *et al.* 2011). ii) Análisis de Clasificación jerárquica, utilizando el algoritmo UPGMA y la distancia euclidiana, útil para la identificación de grupos con atributos semejantes (López *et al.* 2005; Trillos *et al.* 2008; Vásquez 2011). Este análisis se complementó con la prueba de SIMPROF para una mayor exactitud en la construcción del fenograma (Torres *et al.* 2000). iii) Análisis de Varianza multidimensional basado en permutaciones (PERMANOVA) de tres vías, con un diseño mixto de factores cruzados y anidados, un factor fijo (especie) y dos aleatorios (población, ciclo de cultivo) dentro de un modelo tipo III. El PERMANOVA se realizó con datos no promediados y de ambos ciclos de cultivo. Este análisis evaluó la variación entre ciclos de cultivo, especies y poblaciones

anidadas en las especies. El PERMANOVA se construyó con una matriz de distancia euclidiana. El pretratamiento a los datos fue una transformación a raíz cuarta y estandarización a valores z para reducir la dispersión y poner en una misma escala las variables de diferente naturaleza y escala de medición (McCune y Grace 2002; Clarke y Gorley 2006). La significancia estadística se probó con 10,000 permutaciones. Todos los análisis de clasificación y PERMANOVA se corrieron en el programa Primer 6 +PERMANOVA (Anderson *et al.* 2008).

Resultados

Identificación de caracteres apropiados y correlaciones entre descriptores

El Cuadro 2.3 presenta las estimaciones para repetitividad (R) y heredabilidad (H) de cada uno de los 46 descriptores. Veinticuatro descriptores mostraron valores de R mayores a 1.20 y valores de H mayores a 0.54. De éstos, 18 son morfológicos (DiaFI, CP, LH, DMH, Lpec, HCT, CF, InCF, PPT, FEIH, CH, InCH, CM, LPed, PPC, InAC, NCC, PigAC) y 6 son agronómicos (TF, PPF, CS, SST, pHF, TS). Dieciocho descriptores, que representan el total de las variables cualitativas ($H = 0.61-1.00$, 0.92 promedio) y seis, de las 28 cuantitativas (NCC, PPF, CS, SST, pHF, TS, $H = 0.54-1.00$, 0.27 promedio), presentaron los más altos valores de heredabilidad.

El análisis de correlación identificó 19 correlaciones con valores altos ($r \geq 0.90$). Éstas, incluyeron a ocho descriptores morfológicos y ocho fenológicos, observándose correlaciones fuertes entre descriptores del mismo tipo, excepto entre tamaño e intensidad del color del fruto (TF-InCF). Las correlaciones altas en descriptores morfológicos fueron entre longitud polar y diámetro ecuatorial del fruto (LPF-DEF, $r = 0.92$), forma elíptica de la hoja y tres descriptores como color del fruto (FEH-CF, $r = 0.98$), presencia de pubescencia del tallo (FEH-PPT, $r = 0.90$) y color de las máculas (FEH-CM, $r = 0.90$). Además, presencia de pubescencia en tallo se relacionó con pubescencia en cáliz (PPT-PPC, $r = 1.0$) y con color de máculas (PPT-CM, $r = 1.0$), y tamaño del fruto se correlacionó con intensidad de color del fruto (TF-InCF, $r = -1.0$).

Los ocho descriptores fenológicos con correlaciones fuertes ($r = 0.91-0.99$) fueron: periodos a la germinación (PG), a la formación de la 1° y 4° hoja verdadera (P1°HV, P4°HV), a la bifurcación del tallo (P1°BiT), al primer botón floral (P1°BFI), a la apertura de la flor (P1°ApFI), a la maduración comercial y a la madurez fisiológica del fruto (PMCF, PMFF). Del total de 16 descriptores con correlaciones altas se descartaron 12, logrando de esta forma evitar las correlaciones fuertes entre ellos ($r \geq 0.90$). Así, 34 descriptores se utilizaron en los análisis multivariados (Cuadro 2.2). Además, se observó una correlación importante entre rendimiento y número total de frutos por planta (PHa-NTF, $r \geq 0.86$), no así entre rendimiento y peso promedio del fruto (PHa-PPF, $r < 0.26$).

Cuadro 2.3. Relación de los tipos de variable, valores del coeficiente de correlación (ACP), repetitividad (R) y heredabilidad en sentido amplio (H) para 46 descriptores.

Núm	Nombre del descriptor	Código	Tipo de variable	Forma de correlación n r	correlación con el componente principal ()	Repetitividad R	Heredabilidad H
1	Altura de la planta a los 15 DDS	Al15d	CN	B	n.r.	0.008841	0.008707
2	Altura de la planta a los 30 DDS	Al30d	CN	B	n.r.	0.301594	0.231932
3	Altura de la planta a los 60 DDS	Al60d	CN	B	n.r.	0.019449	0.019883
4	Longitud de la hoja	LH	CL	B	0.354 (CP2)	2.488889	0.713376
5	Dentado del margen en hoja	DMH	CL	B	0.417 (CP2)	∞*	1.0000**
6	Longitud del peciolo	LPec	CL	B	0.360 (CP2)	2.370370	0.703297
7	Área del dosel a los 60 DDS	Do60d	CN	B	n.r.	0.093105	0.085184
8	Área del dosel a los 90 DDS	Do90d	CN	B	0.396 (CP3)	0.014634	0.014911
9	Área del dosel a los 120 DDS	Do120d	CN	B	0.408 (CP3)	0.057256	0.054257
10	Hábito de crecimiento del tallo	HCT	CL	B	n.r.	∞*	1.0000**
11	Color principal del fruto	CF	CL	A	0.355 (CP1)	∞*	1.0000**
12	Intensidad del color del fruto	InCF	CL	A	n.r.	∞*	1.0000**
13	Presencia pubescencia en tallo	PPT	CL	A	0.365 (CP1)	∞*	1.0000**
14	Forma elíptica de la hoja	FEIH	CL	A	n.r.	∞*	1.0000**
15	Color de la hoja	CH	CL	B	n.r.	∞*	1.0000**
16	Intensidad del color de la hoja	InCH	CL	B	n.r.	1.629630	0.619718
17	Color de las máculas en corola	CM	CL	A	0.365 (CP1)	∞*	1.0000**
18	Longitud del pedicelo	LPed	CL	B	n.r.	1.592593	0.614286
19	Presencia pubescencia en cáliz	PPC	CL	A	n.r.	∞*	1.0000**
20	Intensidad acostillado del cáliz	InAC	CL	B	n.r.	∞*	1.0000**
21	Costillas sobresalientes en cáliz	NCC	CN	B	-0.345 (CP2)	∞*	1.0000**
22	Pigmentación antocianina cáliz	PigAC	CL	B	n.r.	∞*	1.0000**
23	Altura a 1ª bifurcación en tallo	Al1°BiT	CN	B	n.r.	0.090012	0.099101
24	Diámetro máximo del tallo	DMT	CN	B	0.423 (CP3)	0.414782	0.296172
25	Diámetro de la corola de la flor	DiaFl	CL	B	n.r.	∞*	1.0000**
26	Longitud polar del fruto	LPF	CN	A	n.r.	0.328675	0.248363
27	Diámetro ecuatorial del fruto	DEF	CN	A	n.r.	0.283957	0.223285
28	Color de la pulpa	CP	CL	B	-0.351 (CP1)	∞*	1.0000**
29	Número total frutos por planta	NTF	CN	B	n.r.	0.012966	0.012797
30	Tamaño del fruto	TF	CL	A	0.493 (CP2)	∞*	1.0000**
31	Peso promedio fruto	PPF	CN	B	n.r.	2.266134	0.698399
32	Cantidad de semilla del fruto	CS	CN	B	-0.557 (CP2)	2.288948	0.695951
33	Periodo de germinación	PG	CN	A	-0.406 (CP1)	0.295249	0.227948
34	% germinación de la semilla	%G	CN	B	n.r.	0.052014	0.049442
35	Periodo aparición 1ª hoja	P1°HV	CN	A	-0.421 (CP1)	0.368142	0.269082
36	Periodo aparición 4ª hoja	P4°HV	CN	A	n.r.	0.413760	0.292666
37	Periodo 1ª bifurcación del tallo	P1°BiT	CN	A	n.r.	0.168478	0.144186
38	Periodo aparición 1º botón	P1°BoFl	CN	A	n.r.	0.113568	0.101986
39	Periodo a la apertura floral	PApFl	CN	A	n.r.	0.020490	0.020079
40	Periodo al desarrollo 1º fruto	PD1°F	CN	B	n.r.	0.751519	0.429067
41	Periodo madurez fisiol. fruto	PMFF	CN	A	n.r.	0.461336	0.315695
42	Periodo madurez comercial fr.	PMCF	CN	A	-0.550 (CP3)	0.708374	0.414648
43	Producción por hectárea	PHa	CN	B	0.408 (CP1)	0.052172	0.049585
44	Sólidos solubles, dulzor fruto	SST	CN	B	n.r.	1.195952	0.544617
45	Acidez del fruto	pHF	CN	B	0.611 (CP3)	1.347748	0.574060
46	Tamaño de la semilla	TS	CN	B	n.r.	1.898990	0.655052

Tipo Tipo de variable: CN= cuantitativa, CL= cualitativa; Forma de correlación: A= Alta ($r \geq 0.90$), B= Media o Baja ($r < 0.90$); n.r.= valor no relevante; *El valor de R tiende a infinito cuando la varianza en el denominador tiene un valor cercano a cero; **El valor de H tiende a la unidad cuando la suma de varianzas de ciclos, repeticiones, error experimental e interacción ciclo por repetición, se aproxima a cero.

Variabilidad morfológica

El ACP mostró que los tres primeros componentes explicaron el 64.8% de la variación total. El componente principal 1 contribuyó con el 30.2% de la variación y se relacionó principalmente con el color de fruto (CF), el color de pulpa (CP), el color de máculas (CM) y la presencia de pubescencia en el tallo (PPT). El segundo componente principal explicó el 20.7% de la variación y se relacionó con el dentado del margen de la hoja (DMH), longitud del pecíolo (LPec), longitud de la hoja (LH) y número de costillas del cáliz (NCC). El tercer componente definió el 13.9% de la variación y estuvo relacionado con el diámetro máximo del tallo (DMT) y el área del dosel a los 90 DDS (Do90d) y 120 DDS (Do120d).

Los análisis ACP y de clasificación formaron cuatro grupos (Figura 2.1 y 2.2). El grupo A incluyó a las tres poblaciones de *P. acutifolia* y se caracterizó por la pulpa del fruto color verde (CP), máculas de la corola ausentes o de color amarillo (CM), tallo glabro (PPT), hoja de longitud media a larga (LH), longitud del pecíolo de corto a medio (LPec), diámetro máximo del tallo (DMT) de 2.19 cm (Cuadro 2.5). El grupo B, formado por las tres poblaciones de *P. chenopodifolia* y las dos poblaciones de *P. pubescens* var. *pubescens* (Cuquíú y Maravatío). *Physalis chenopodifolia* se diferenció por la pulpa de color amarillo, hoja de longitud corta y área de dosel hasta 26,226 cm²; mientras que, *P. pubescens* var. *pubescens* se distinguió por su pulpa color verde amarillenta, hoja de longitud corta a media y área de dosel hasta 19,120 cm². El grupo C con *P. angulata* (especie control) se caracterizó por su pulpa color verde amarillenta, pubescencia en la parte distal del tallo, longitud de hoja larga, de pecíolo media, margen de hoja de dientes profundos y área del dosel de 12,384 cm². El grupo D con *P. pubescens* var. *grisea* se distinguió por la longitud larga de hoja y pecíolo, margen de la hoja de dientes profundos, cáliz penta angulado y diámetro máximo del tallo de 2.13 cm.

En relación al diámetro ecuatorial del fruto (DEF), se registraron los valores menores en *P. pubescens* var. *pubescens* (11.26 mm), valores medios en *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* var. *grisea* (12.70 mm) y valores mayores en *P. acutifolia* (13 mm) y *P. angulata* (12.63 mm, Cuadro 2.5).

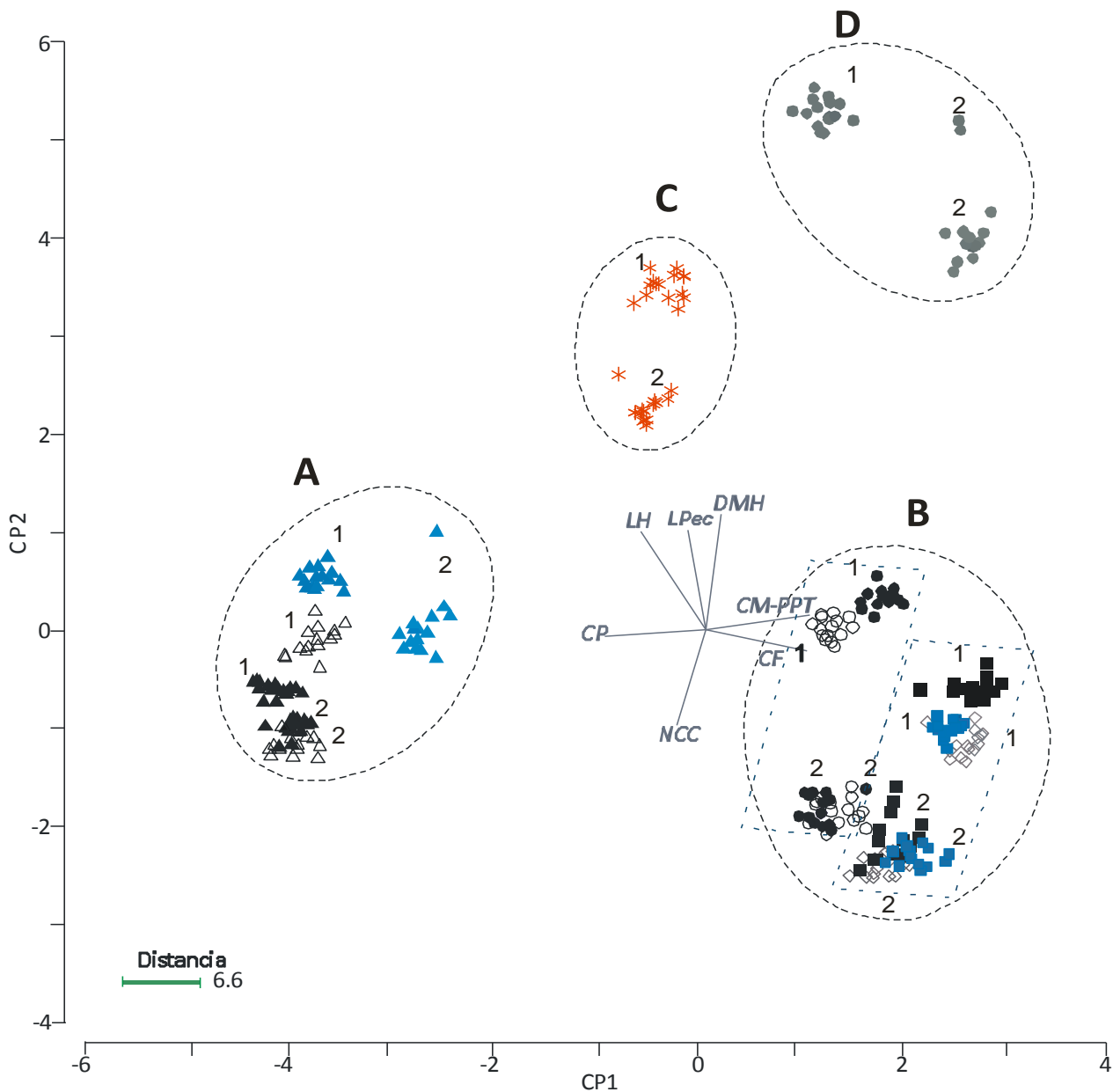


Figura 2.1. Análisis de componentes principales (ACP) para 22 atributos morfológicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones = íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, △ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ (códigos de poblaciones en Cuadro 2.1). Ciclos= 1: 2012, 2: 2013.

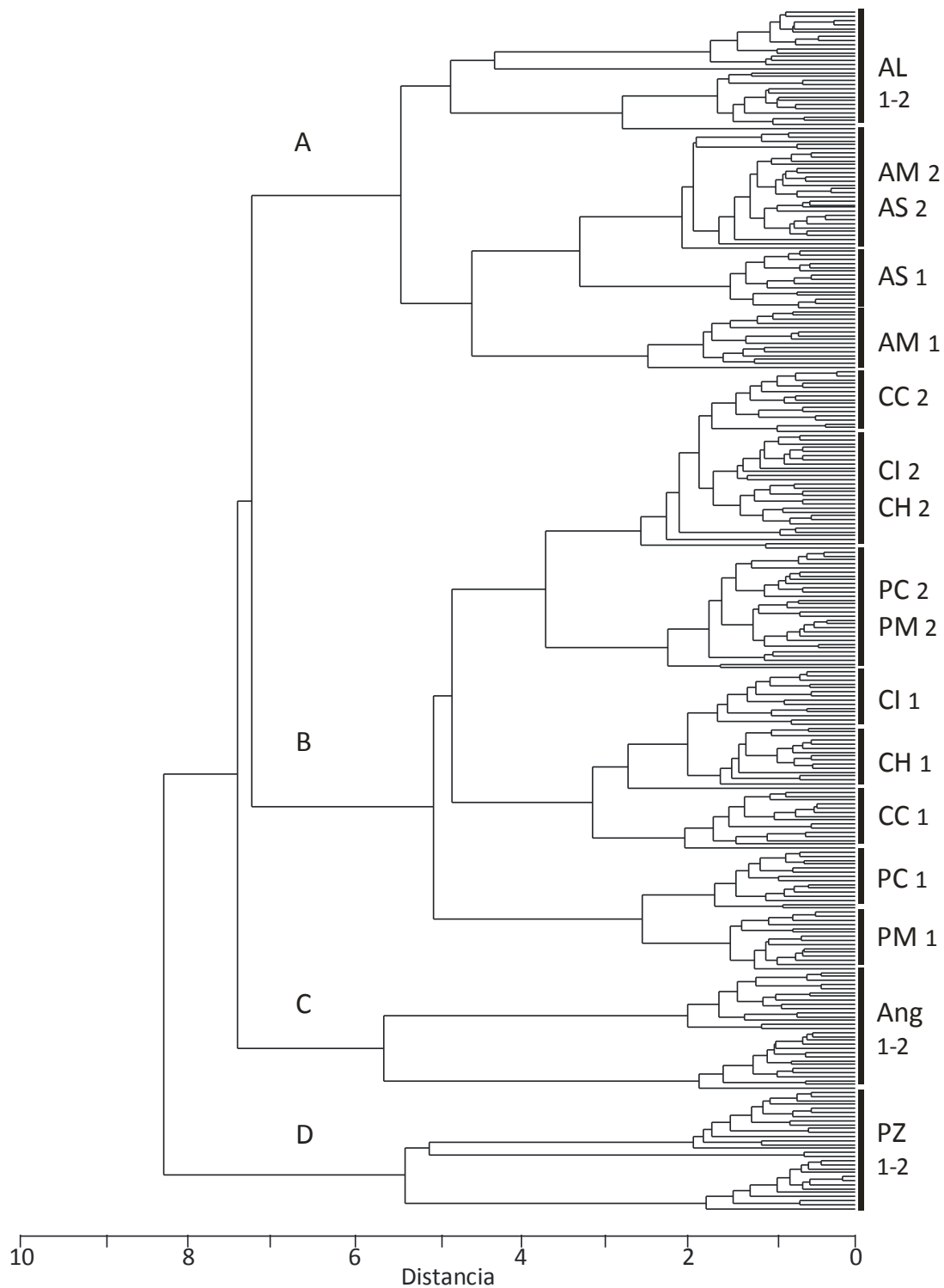


Figura 2.2. Resultado del análisis de clasificación bajo el método UPGMA y distancias euclidianas para 22 atributos morfológicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones que corresponden a *P. acutifolia*: AS, AL, AM; *P. angulata*: Ang; *P. chenopodifolia*: CC, CI, CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: PM, PC, var. *grisea*: PZ (códigos del Cuadro 2.1). Ciclos de cultivo= 1: 2012, 2: 2013.

El PERMANOVA de tres vías con un diseño mixto mostró una variación morfológica significativa entre las especies y poblaciones de cada especie a través de ambos ciclos de cultivo (Cuadro 2.4). Por su parte, todos los factores individuales como ciclos de cultivo, especies y el anidado de poblaciones (especies) mostraron también diferencias significativas. Las pruebas *a posteriori* (Pseudo-t) evidenciaron diferencias entre la mayoría de las especies ($0.0029 < P < 0.0463$), excepto entre *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* ($P = 0.2197$).

Cuadro 2.4. Análisis de varianza multidimensional basado en permutaciones (PERMANOVA) para 22 descriptores morfológicos en *P. acutifolia*, *P. angulata*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*.

Fuente de variación	GL	SC	MC	Pseudo-F	P	Permutaciones
Ciclo	1	618.84	618.84	11.1100	0.0012	9950
Especies	3	3226.50	1075.50	2.8208	0.0106	9934
Poblaciones(Especies)	6	1457.70	242.95	4.3616	0.0008	9941
Especies x Ciclo	3	474.21	158.07	2.8378	0.0068	9927
Poblaciones(Especies) x Ciclo	6	334.21	55.70	39.9540	0.0001	9875
Residual	280	390.36	1.39			
Total	299	6578.00				

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: cuadrados medios, P: valor de probabilidad.

Variabilidad agronómica

El ACP de la variabilidad agronómica mostró que los tres primeros componentes explicaron el 80.7 % de la variabilidad. El componente principal uno fue responsable del 41.6% de la variación total y se asoció con el periodo a la germinación (PG), periodo a la primer hoja verdadera (P1^aHV) y la producción por hectárea (PHa). El componente principal dos explicó el 24.0% de la variación y se relacionó con el tamaño del fruto (TF) y la cantidad de semillas (CS). El componente principal tres correspondió al 15.2% de la variación total y correspondió al período a la madurez comercial del fruto (PMCF) y la acidez del fruto (pHF).

El ACP y el análisis de clasificación formaron seis grupos (Figuras 2.3 y 2.4). El grupo **A** integrado por *P. pubescens* var. *grisea* se distinguió por tener los mayores periodos de germinación (PG), a la primera hoja verdadera (P1^aHV) y a la madurez comercial (PMCF), menor productividad (PHa) y menor acidez del fruto (pHF, Cuadro 2.5). El grupo **B** con *P. acutifolia* de Lombardía se caracterizó por periodos grandes de germinación, a la primera hoja verdadera y a la madurez comercial, mayor cantidad de semilla (CS) y menor rendimiento. El grupo **C** con las tres poblaciones de *P. chenopodifolia* se diferenció por un mayor rendimiento, mayor acidez del fruto, periodo mayor de madurez comercial y una menor cantidad de semilla. El grupo **D** con *P. pubescens* var. *pubescens* se diferenció por menores periodos de germinación, a la primera hoja verdadera y a la madurez comercial y una menor acidez. El grupo **E** con *P. angulata* (control) sobresalió por los periodos menores de germinación, a la primera hoja y a la madurez comercial y un mayor rendimiento.

El grupo F con las poblaciones de *P. acutifolia* de Santiago Ixcuintla y Mexicali se caracterizó por periodos menores de germinación, a la primera hoja y a la madurez comercial, un tamaño menor de fruto, pero mayor productividad y cantidad de semilla.

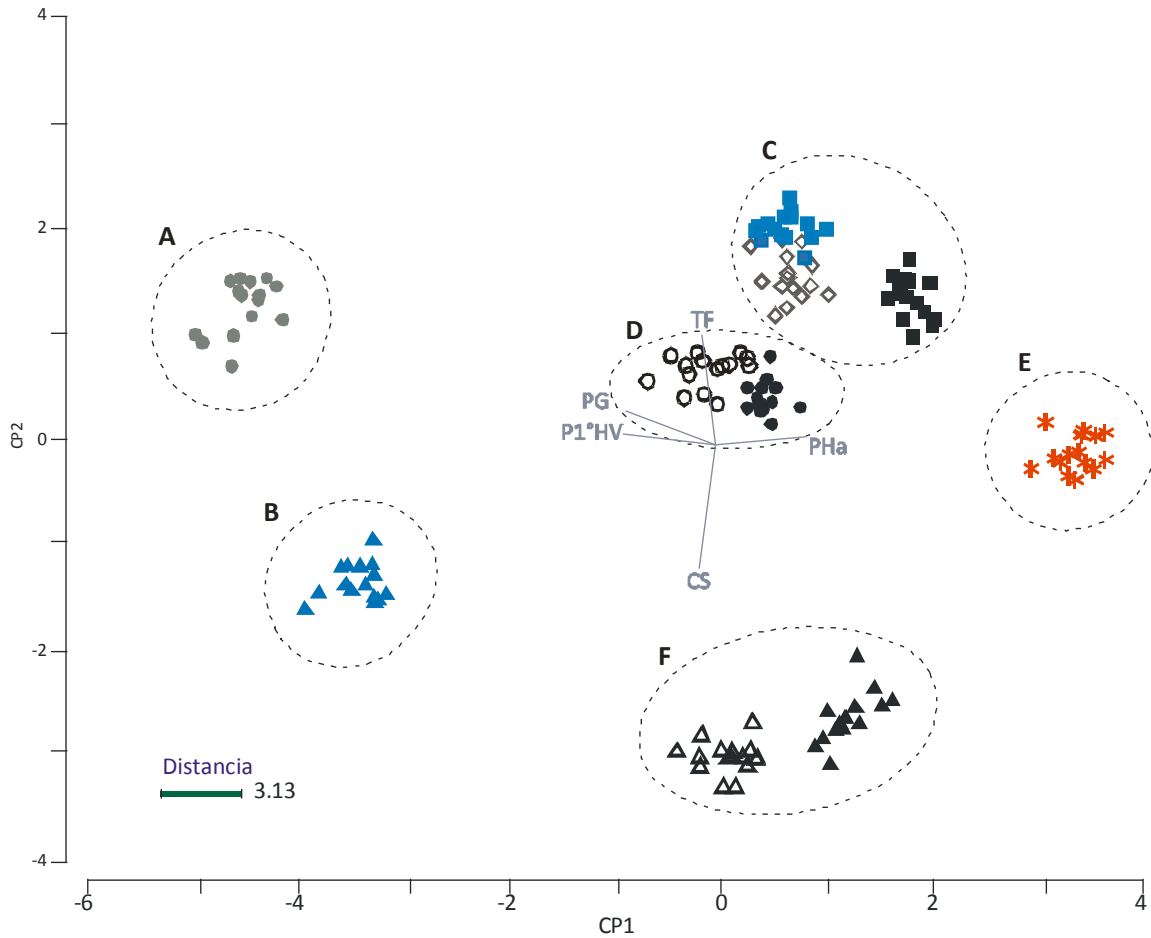


Figura 2.3. Análisis de componentes principales (ACP) para 12 atributos agronómicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones= íconos que corresponden a las especies *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodiifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ (códigos de poblaciones del Cuadro 2.1). Datos promediados de los ciclos de cultivo 2012 y 2013.

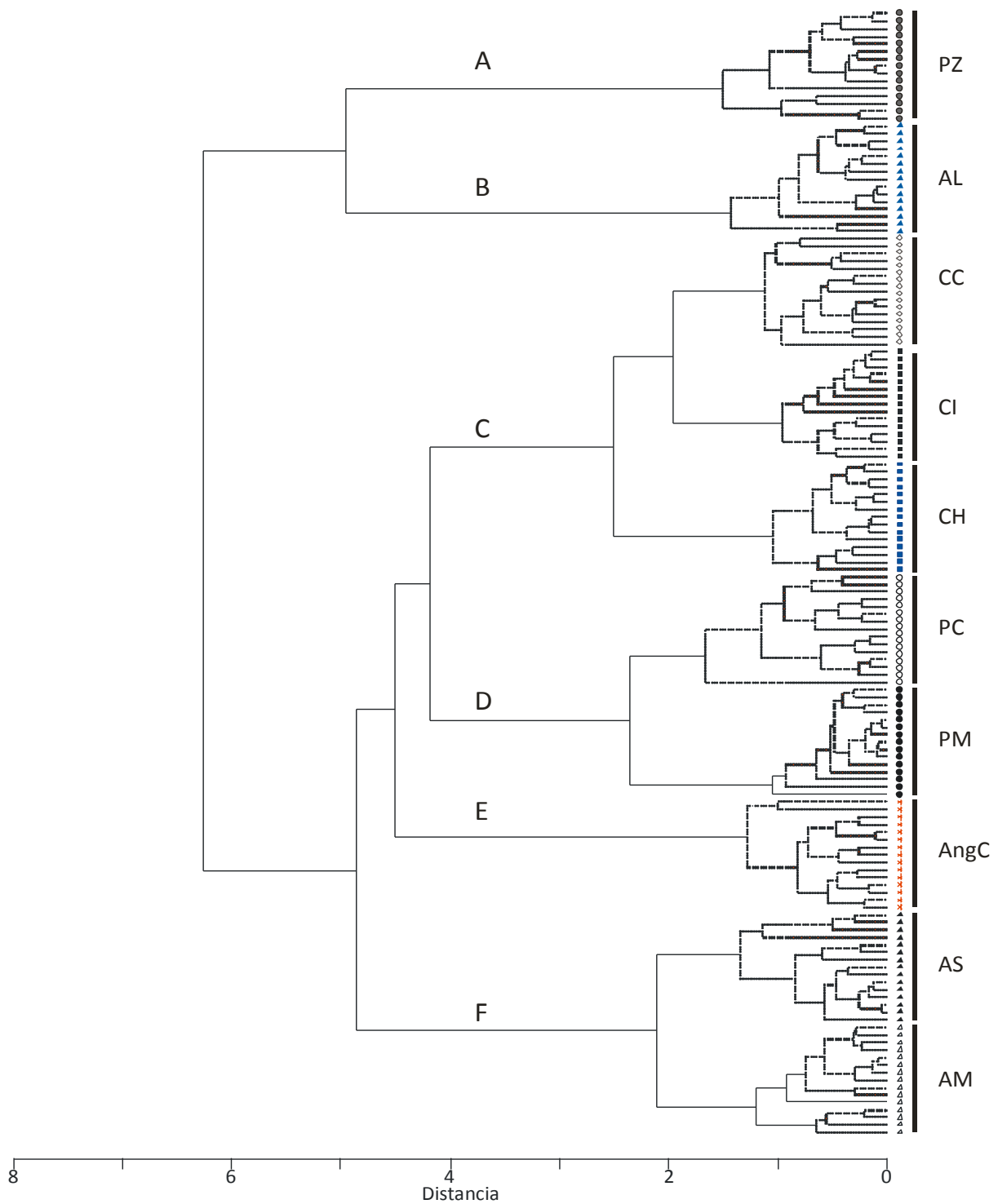


Figura 2.4. Resultado del análisis de clasificación bajo el método UPGMA y distancias euclidianas, para 12 atributos agronómicos en cuatro especies de *Physalis*. Poblaciones= íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodiifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ (códigos de poblaciones en Cuadro 2.1). Datos promediados de los ciclos 2012 y 2013.

Cuadro 2.5. Registros de 19 atributos morfológicos, fenológicos y agronómicos relevantes en el análisis ACP, para cuatro especies de *Physalis*. Datos promediados de los ciclos 2012 y 2013.

Atributo	Unidad	<i>P. acutifolia</i>			<i>P. angulata</i>	<i>P. chenopodifolia</i>			<i>P. pubescens</i>		
		AS	AL	AM	AngC	CC	CI	CH	PM	PC	PZ
CF	*	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2
CP	*	4	4	4	3	2	2	2	3	3	2
CM	**	1	1	1	9	9	9	9	9	9	9
PPT	*	1	1	1	5	9	9	9	9	9	9
DMH	*	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3
LPec	*	4	4	4	5	3	3	3	3	3	7
LH	*	6	6	6	7	3	3	3	4	4	7
NCC	n.a.	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5
DMT	cm	1.68	2.19	1.48	1.47	1.73	1.68	1.75	1.77	1.8	2.13
Do90d	cm ²	5,751	8,589	8,001	7,589	8,993	3,463	5,046	9,005	7,454	10,004
Do120d	cm ²	13,546	12,788	15,974	12,384	26,226	17,211	21,471	19,120	17,121	15,537
PG	DDS	11.5	31.0	15.0	10.0	20.0	16.0	18.5	17.0	13.5	36.5
P1°HV	DDS	20.5	41.0	26.5	15.0	25.0	25.0	25.0	22.0	21.0	49.0
PHa	t·ha ⁻¹	20.82	4.95	13.29	27.27	18.68	20.55	16.28	12.58	9.80	7.57
TF	*	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2
CS	n.a.	164.0	174.0	182.0	110.0	86.0	81.0	56.5	109.5	89.0	91.5
PMCF	DDS	107	123.5	100.5	91.5	136.5	136.5	136	91.5	97	127.5
pHF	log _n	4.17	4.34	4.26	4.21	4.08	3.79	4.46	4.68	5.06	4.77
DEF	mm	14.38	12.99	13.88	12.63	12.73	12.57	12.16	11.65	11.26	12.88

Categorización de acuerdo con Peña *et al.* (2011)*, por el autor**; DDS= días después de la siembra de la semilla; n.a.= no aplica.

El PERMANOVA de tres vías con un diseño mixto mostró una variación significativa de los atributos agronómicos entre las poblaciones de cada especie a través de los dos ciclos de cultivo (Cuadro 2.6). Así como, diferencias significativas entre ciclos de cultivo, especies y las poblaciones dentro de cada especie. Sin embargo, la interacción del ciclo de cultivo y especies resultó no significativa. Las pruebas *a posteriori* (Pseudo-t) confirmaron diferencias entre la mayoría de las especies ($0.0017 < P < 0.0471$), excepto entre *P. angulata* y *P. pubescens* ($P = 0.1438$).

Cuadro 2.6. Análisis de varianza multidimensional basado en permutaciones (PERMANOVA) para 12 descriptores de interés agronómico en 10 poblaciones de *P. acutifolia*, *P. angulata*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*.

Fuente de variación	GL	SC	MC	Pseudo-F	P	Permutaciones
Ciclo	1	593.04	593.04	9.8942	0.0015	9942
Especies	3	1372.60	457.55	2.4189	0.0074	9933
Poblaciones(Especies)	6	845.32	140.89	2.3505	0.0122	9927
Especies x Ciclo	3	219.13	73.04	1.2187	0.3122	9934
Poblaciones(Especies) x Ciclo	6	359.63	59.94	131.68	0.0001	9904
Residual	280	127.45	0.46			
Total	299	3588.00				

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: cuadrados medios, P: valor de probabilidad.

Discusión

Identificación de caracteres apropiados y correlaciones entre descriptores

Los valores altos de repetitividad (R) y de estimación de la heredabilidad (H), mostrados por 18 descriptores morfológicos relacionados a las variables cualitativas (DiaFl, CP, DMH, HCT, CF, InCF, PPT, CH, InCH, CM, LPed, InAC, PPC, PigAC, TF, LH, LPec, FEIH) y seis agronómicos relacionados a cuantitativas (TF, PPF, CS, SST, pHF, TS), infieren que la expresión de estos descriptores fue similar en ambos ciclos de cultivo y presentaron menor influencia del sesgo ambiental en relación al resto de caracteres. En coincidencia con Lobo (2006) y Morillo *et al.* (2011), las variables cualitativas pueden considerarse de notable heredabilidad y resultan útiles en los análisis multivariados para la discriminación intra e interespecífica (Arbeláez y Mora 1990; Berretta y Rivas 2001); el promedio de las estimaciones de heredabilidad en las variables cualitativas, tres veces mayor respecto a las cuantitativas ($0.92 / 0.27 = 3.4$), confirma este señalamiento. Los seis descriptores agronómicos de mayor repetitividad (tamaño, peso, dulzor y acidez del fruto, cantidad y peso de semillas), estuvieron relacionados mayormente con el componente genético de cada accesión. Por ello, es posible que estos caracteres puedan ser manejados con mejores resultados en programas de fitomejoramiento genético y no priorizando las condiciones ambientales.

Descartar 12 descriptores con correlaciones fuertes, precisó un total de 34 descriptores de baja correlación para caracterizar especies silvestres de *Physalis*, sin afectar la calidad de los resultados (Santiaguillo *et al.* 1998; Castañon *et al.* 2010; Navarro *et al.* 2010). Dentro de los 34 descriptores de baja correlación, estuvieron incluidos 23 de los 24 caracteres con mayor valor de heredabilidad y repetitividad (excepto FEIH). Además, a partir de ocho descriptores fenológicos con correlaciones fuertes, es posible pronosticar precocidad en poblaciones de *Physalis*, si éstas relacionan etapas iniciales y finales de desarrollo. Por ejemplo, si los períodos de germinación (PG) y presencia de la primera hoja verdadera (P1°HV) son cortos, la maduración comercial y fisiológica de los frutos (PMCF y PMFF) se alcanza en un período relativamente corto. Este resultado corresponde a lo reportado para las fases de floración y de desarrollo del fruto de *P. ixocarpa* (Santiaguillo *et al.* 1998).

La correlación alta entre longitud polar y diámetro ecuatorial del fruto (LPF-DEF) indicó que la forma de fruto predominante en las especies evaluadas fue la esférica, independientemente del tamaño. La correlación entre tamaño e intensidad de color del fruto (TF-InCF) refirió que los frutos de mayor tamaño presentan menor intensidad de color. La correlación (r) entre el número total de frutos por planta (NTF) y la producción por hectárea resultó alta, esto se debe a que el NTF es considerado en el cálculo del rendimiento. No obstante, la correlación entre el peso promedio del fruto (PPF, también involucrado en el cálculo) y rendimiento fue baja. Este mismo patrón se reportó para *P. peruviana* (Fischer 1995; Herrera *et al.* 2011), pero en consideración de los valores de heredabilidad y repetitividad, PPF resultó muy superiores en comparación a NTF; en discordancia con Fischer (1995) y Herrera *et al.* (2011), se sugiere que en programas de fitomejoramiento para mejorar el rendimiento, la selección de individuos se realice considerando ambos caracteres (NTF y PPF). Atributos como forma de la hoja, pubescencia del tallo y de cáliz, color, intensidad del color, longitud polar, diámetro y tamaño del fruto, color de las máculas de la corola y periodos

fenológicos, mostraron las correlaciones más altas entre sí ($r > 0.89$). Los análisis multivariados en estos atributos evidencian que poseen poder discriminante a nivel de especie y variedad.

Variación morfológica

La variabilidad morfológica entre especies y variedades identificada en los análisis ACP y de clasificación, se relacionó con un conjunto reducido de 11 descriptores, estos fueron color de la pulpa (CP) y fruto (CF), color de máculas (CM), presencia de pubescencia en el tallo (PPT), longitud de hoja (LH) y peciolo (LPec), diámetro máximo del tallo (DMT), área del dosel a los 90 días (Do90d) y 120 días (Do120d), dentado del margen de la hoja (DMH) y número de costillas del cáliz (NCC). La distribución de esta variabilidad se explicó con la formación de cuatro grupos (Figuras 2.1 y 2.2).

En este contexto, *P. acutifolia* (grupo A) se identificó por la pulpa color verde, tallo glabro, máculas de color amarillo y hoja lanceolada de longitud media a larga y borde de dientes profundos, por lo cual recibe el epíteto específico su nombre. Además, la población Lombardía (AL) mostró el tallo de mayor diámetro en relación al resto de accesiones. *Physalis chenopodifolia* y *P. pubescens* var. *pubescens* (grupo B), como conjunto se diferenció por el fruto color amarillo, peciolo de menor longitud, mayores áreas de dosel y menor cantidad de semilla. *P. chenopodifolia* presentó como rasgos únicos la pulpa color amarillo, hoja de longitud menor y la mayor área de dosel. A su vez, *P. pubescens* var. *pubescens* mostró pulpa color verde amarillenta y longitud de hoja de corta a media. Los valores de estos atributos distintivos fueron cercanos, por ello estas dos especies fueron situadas en el mismo grupo. *P. angulata* (grupo C) se distinguió por la pubescencia en la parte distal del tallo, longitud media del peciolo, el área de dosel menor y los periodos de desarrollo fenológico más cortos. Los valores menores en LPec, Do90d, Do120d, PG, P1°HV y PMCF resultan naturales al considerar que *P. angulata* ha experimentado un proceso de selección artificial y manejo agrícola (Sánchez *et al.* 2008), del cual pudo originarse precocidad, fenotipos compactos y mejor rendimiento, pero no un diámetro mayor del fruto, ya que éste fue similar a las tres especies silvestres estudiadas. *P. pubescens* var. *grisea* (grupo D) se caracterizó por el cáliz 5-angulado y valores mayores para DMH, LPec, LH y DMT; estos rasgos se reflejaron en hojas, tallos y peciolos con las mayores dimensiones. Estos atributos, junto con la base de la hoja desigual hasta 5 cm y anteras de color amarillo (en lugar de azules), fueron algunos de los principales atributos utilizados para su reconocimiento como una especie distinta (*P. grisea* (Waterf.) M. Martínez, Martínez 1998). El material evaluado en este trabajo evidencia que su área de distribución incluye a México y no sólo al SE de los EUA y Canadá como refirió Martínez (1998).

En relación al diámetro ecuatorial del fruto (DEF), los valores obtenidos en *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* var. *grisea*, fueron semejantes al de la especie control (*P. angulata*). Así mismo, similares a lo reportado en uchuvas cultivadas y silvestres bajo cultivo (12.5-25.0 mm, Herrera *et al.* 2011; Muniz *et al.* 2014) y a los mínimos reportados para criollos de *P. philadelphica* (30.0 mm, Sánchez *et al.* 2006).

El PERMANOVA evidenció variaciones morfológicas significativas entre especies, anidado de poblaciones (especie) y ciclos de cultivo. Así como interacciones significativas del ciclo con especie y ciclo con población (Cuadro 3). Por ello, se afirma que los 22 descriptores utilizados fueron de

utilidad para la discriminación intra e inter específica, dando una identidad a cada especie y población. Así mismo, las interacciones entre el ciclo y las especies, además entre ciclo y poblaciones, infiere la influencia de los factores ambientales sobre la expresión de los caracteres morfológicos, principalmente en aquellos de menor heredabilidad y repetitividad.

Variabilidad agronómica

La formación de seis grupos como resultado de los análisis ACP y de clasificación denota variabilidad agronómica entre especies, variedades y poblaciones (Figuras 3 y 4). Tal variabilidad explicada en seis grupos, está asociada con descriptores relativos a rendimiento (PHa), fenología (PG, P1°HV y PMCF) y atributos de fruto (TF, CS y pHF). Así, dos grupos se diferencian mayormente del resto: **1)** *Physalis pubescens* var. *grisea* (grupo A) mostró periodos tardíos para PG (31 DDS), P1°HV (41 DDS), PMCF (123.5 DDS), menor rendimiento (PHa = 7.567 t·ha⁻¹), mayor cantidad de semillas (CS = 174) y fruto con menor acidez (pHF = 4.34). **2)** *P. acutifolia* de Lombardía (grupo B) fue semejante a *P. pubescens* var. *grisea* en rendimiento (PHa = 4.947 t·ha⁻¹), cantidad de semillas (CS = 165), PMCF (109 DDS) y acidez (pHF = 4.24). Pero resultó menos tardía para PG (18.4 DDS), P1°HV (28 DDS) y PMCF (109 DDS). Por lo que se asemeja a *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* var. *pubescens*.

En contraste, *P. chenopodifolia* (grupo C), las dos poblaciones de *P. pubescens* var. *pubescens* (grupo D) y las poblaciones de *P. acutifolia* de Santiago Ixcuintla y Mexicali (grupo F) fueron precoces para PG (13.2 a 18.2 DDS) y P1°HV (21.5 a 25 DDS) y mayor rendimiento (PHa = 11.192 a 18.500 t·ha⁻¹) en comparación a *P. pubescens* var. *grisea* y *P. acutifolia* de Lombardía (grupos A y B). Su rendimiento, precocidad, tamaño de fruto y acidez fueron similares al control (*P. angulata*, PG = 10 DDS, P1°HV = 15 DDS, PHa = 27.265 t·ha⁻¹, TF = 2, y pHF = 4.21); siendo el rendimiento, similar al promedio nacional para *P. philadelphica* cultivada y superior a *P. philadelphica* silvestre bajo cultivo (12 t·ha⁻¹ y 2.5 - 7.1 t·ha⁻¹, López *et al.* 2009). Además, estos valores son similares al nivel inferior reportado para la uchuva cultivada y silvestre bajo cultivo (15-28 t·ha⁻¹, Herrera *et al.* 2011; Muniz *et al.* 2014). No obstante, el potencial de las especies evaluadas puede ser mayor al observado, como ha ocurrido en variedades silvestres de *P. philadelphica* cultivadas bajo condiciones agroclimáticas ideales (López *et al.* 2009).

Por su parte, *Physalis chenopodifolia* mostró menor cantidad de semillas (CS = 74.5) en comparación con *P. acutifolia*, *P. pubescens* y *P. angulata* (CS = 99-174) y menor a la referida para uchuva cultivada (CS = 100-300, Fischer 2000). La cantidad de semillas mostró valores de correlación medios ($r = -0.64 - 0.56$) con atributos de fruto como tamaño (TF), peso (PPF), diámetro ecuatorial (DEF) y longitud polar (LPF). Esto sugiere que una polinización eficiente conlleva una mayor cantidad de semilla, mejor desarrollo y talla de fruto (Jiménez *et al.* 2012; Rosas *et al.* 2014). Los resultados de este trabajo están en concordancia con lo reportado por Jiménez *et al.* (2012) en *P. philadelphica*, donde caracteres del fruto como DEF y LPF se relacionaron en diferente grado con variables climáticas, la polinización y el factor genético. En este trabajo, DEF y LPF mostraron valores bajos de heredabilidad y repetitividad confirmando la influencia del factor ambiental.

La proporción de frutos agrietados (<1%) resultó no relevante para su evaluación y fue contrario a lo reportado en *P. peruviana* (Fischer 2005; Herrera *et al.* 2011). La primera cosecha en ambos ciclos de cultivo mostró menor producción, un predominio de frutos inmaduros que dificultaron el corte, menor tamaño y mayor variabilidad de talla y peso, como se ha reportado en otras solanáceas como *S. lycopersicum*. Por ello su evaluación se realizó con el producto de la segunda cosecha (Jedrszczyk *et al.* 2012).

Para el resto de las especies evaluadas la cantidad de semilla fue numerosa. El porcentaje de germinación (80.8 a 90.7%) fue similar a lo observado en el control (87.9%), al reportado en *P. philadelphica* (Sánchez *et al.* 2006) y *P. peruviana* cultivadas (85-90%, Fischer *et al.* 2005; Muniz *et al.* 2014). El peso promedio de los frutos totales por planta fue relevante en las especies silvestres, *P. acutifolia* y *P. chenopodifolia* generaron un 68% (1,279 g y 1,244 g) y *P. pubescens* un 38% (843 g) con respecto al observado en *P. angulata* (2,196 g). Estos valores resultan similares a lo reportado en *S. lycopersicum* cultivado y silvestre bajo cultivo (1,195 y 1,608 g, Vallejo *et al.* 2010). Esto, refiere un buen potencial agronómico para el tomate de cáscara. Con un incremento en la demanda comercial nacional y de exportación, el tomatillo podría consolidarse como un cultivo redituable y alcanzar la importancia que tenía en la época prehispánica (Long 1995) antes de ser desplazado por el jitomate rojo (*S. lycopersicum*).

En adición, el valor que alcanzan los atributos relacionados a la calidad del fruto como acidez (pHF) y dulzor (SST), resultó superior al reportado en *P. philadelphica* (pHF = 3.79-3.88, SST = 5.58-6.56 °Brix, Jiménez *et al.* 2012). Lo anterior, permite afirmar que los frutos del material evaluado son de calidad y poseen sabor agradable debido a su tamaño, menor acidez y mayor dulzor (Herrera *et al.* 2011; Jiménez *et al.* 2012). Ello muestra su utilidad y versatilidad, puesto que los frutos dulces son preferibles para uso hortícola (Sivalingam *et al.* 2011) y frutal (Fischer 2005).

El PERMANOVA en datos agronómicos (Cuadro 4) denotó variabilidad significativa dentro de los factores ciclos de cultivo, especie y población anidado en especie; además, una significativa interacción del ciclo con población. Por ello, se infirió que los 12 descriptores utilizados fueron útiles en la identificación de la variabilidad dentro de los tres factores. Asimismo, por la significativa interacción del factor ciclo con población, se infiere que el sesgo ambiental tuvo una notable influencia sobre el factor población y no sobre especie. Esto, explica el hecho de que las especies mantuvieron un mismo patrón agronómico entre ciclos de cultivo, es decir, las especies que presentaron los valores mayores fueron las mismas en ambos ciclos, no así las poblaciones. La significativa interacción del factor ciclo con el factor población se relacionó principalmente con *P. acutifolia* de Lombardía, quien presentó un comportamiento diferente entre ciclos, asemejándose en el ciclo 2013 a *P. pubescens* var. *grisea*.

Conclusiones

Considerando los criterios de selección para los descriptores apropiados en la caracterización del material evaluado, en relación a la alta heredabilidad (H) en sentido amplio, alta repetitividad (R), baja correlación (r) y alta discriminación intra e inter-específica, se concluye que, 8 descriptores morfológicos (color de la pulpa, longitud de la hoja, dentado del margen de la hoja, longitud del

peciolo, color del fruto, presencia de pubescencia en tallo, color de máculas de la corola, número de costillas del cáliz) y tres agronómicos (tamaño del fruto, cantidad de semilla promedio, acidez del fruto) fueron los más apropiados. Asimismo, 11 descriptores que mostraron una alta heredabilidad y correlaciones menores a $r = 0.90$ (diámetro de la flor, hábito de crecimiento, intensidad del color del fruto, color de la hoja, intensidad del color de la hoja, longitud del pedicelo, intensidad del acostillado en cáliz, pigmentación antociánica en cáliz, peso promedio del fruto, dulzor, tamaño de semilla) pudieran resultar útiles en la caracterización de un número mayor de taxa.

El cultivo del material estudiado fue similar al de una hortaliza común por su respuesta positiva al manejo agrícola; su manejo fue similar al de tomate verde, uchuva y jitomate, resultando más económico al de esta última. La abundancia de semilla y excelente germinación en sustratos húmedos (> 80%) y pobres, permitió la expedita obtención de plántula para este estudio.

La caracterización proporcionó una identidad reconocible en campo a cada una de las poblaciones evaluadas utilizando caracteres morfológicos de fácil observación. Además, permitió identificar variabilidad agronómica entre especies y poblaciones y con ello, reconocer aquellas accesiones promisorias para programas de fitomejoramiento. Las accesiones promisorias considerando los promedios en diámetro del fruto, peso total de frutos, número de frutos promedio, rendimiento y precocidad, fueron: *Physalis acutifolia* de Mexicali y Santiago Ixcuintla, *P. pubescens* de Cuquío y Maravatío. Asimismo, las poblaciones de *P. chenopodifolia* de Calpulualpan, Huejotzingo e Ixtenco, pueden ser promisorias considerando sus altos promedios y que al tratarse de una especie perene comúnmente se muestran tardías. Se requiere de más evaluaciones en estas especies de *Physalis* en ambientes y sistemas productivos diversos, con el fin de estimar con mayor exactitud su potencial agronómico y la aptitud de los descriptores utilizados.

Agradecimientos

Al CONACyT por la beca otorgada a LEVM para realizar estudios de maestría en el posgrado BIMARENA. A la SAGARPA-SINAREFI por el financiamiento otorgado a OVP. Agradecemos la asesoría de José Sánchez Martínez en el diseño experimental y establecimiento del cultivo; a Walter Zavala y Brenda Hernández como técnicos de campo; al laboratorio de análisis de nutrición y al Dr. Ramón Macías Rodríguez, por su apoyo para los análisis bromatológicos.

Referencias

Arbeláez, C. y M.A. Mora. 1990. Caracterización fenotípica de uchuva (*Physalis* sp.). Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. 69 p.

- Anderson, M.J., R. N. Gorley y R.K. Clarke. 2008. PERMANOVA+ para PRIMER: Guía para el Programa y Métodos Estadísticos. PRIMER-E: Plymouth, Massey University, U.K. 264 p.
- Berretta, A. y M. Rivas. 2001. Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. En: A. Barretta y M. Rivas, Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. PROCISUR. Uruguay. 144 p.
- Bioversity Intl. 1996. Descriptores para el cultivo del tomate (*Lycopersicon* spp.). IPGRI. Roma, Italia. Acceso en: http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Descriptors_for_tomato_Lycopersicon_spp._286.pdf. Consulta: 11 de julio de 2011.
- Casas, A., M.C. Vázquez, J.L. Viveros y J. Caballero. 1996. Plant Management Among the Nahua and the Mixtec in the Balsas River Basin, Mexico: An Ethnobotanical Approach to the study of Plant Domestication. *Human Ecology* 24: 455-478.
- Castañon, G., L. Latournerie, J.M. Lester, E. de la Cruz y M. Mendoza. 2010. Identificación de variables para caracterizar morfológicamente colectas de chile (*Capsicum* spp) en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia, Tópico Húmedo* 26: 225-234.
- Clarke K.R. y R.N. Gorley. 2006. Primer v6: user manual/tutorial. Primer-E Ltd, Plymouth, G.B. 192 p.
- D'Arcy, W. G. 1991. The Solanaceae since 1976, with Review of its Biogeography. In: J. G. Hawkes, R.N. Lester, M. Nee y N. Estrada (eds) *Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry and Evolution*. Royal Botanical Garden, Kew. Pp. 75-138.
- Estrada, V., A. Peña y M.E. Contreras. 1994. Evaluación de 28 familias de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 2: 135-139.
- FAO. 1996. The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 510 p.
- Fischer, G. 2005. El problema del rajado del fruto y su posible control. pp. 55-82. En: Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (eds.). *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia*. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 221 p.
- Fischer, G. 2000. Crecimiento y desarrollo. Pp. 9-26. En: V.J. Flórez, G. Fischer y A.D. Sora (eds). *Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.)*. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 175 p.
- Fischer, G. 1995. Effect of root zone temperature and tropical altitude on the growth, development and fruit quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). P.D. thesis (Faculty of Agriculture and Horticulture), Humboldt Universität zu Berlin. 171 p.

- Franco, T. L. y R. Hidalgo. 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IPGRI (eds), Cali, Colombia. 89 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A. (eds). México, D.F. Pp.46-52.
- Goodman, M.M. y E. Paterniani. 1969. The Races of Maize: III. Choices of Appropriate Characters for Racial Classification. *Economic Botany* 23: 265-273.
- Graham, M.H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology* 84: 2809–2815.
- Harlan, J.R. 1971. Agricultural origins: centers and no centers. *Science* 174: 468-474.
- Herrera, A., J. Ortíz, G. Fischer y M. Chacón. 2011. Behavior in yield and quality of 54 cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) accessions from north-eastern Colombia. *Agronomía Colombiana* 29: 189-196.
- Jedrszczyk, Elzbieta, A.M. Ambroszczyk, J. Kopcińska, B. Skowera y A. Sękara. 2012. Comparison of morphological characteristics of twelve cultivars of tomato determinate plants and their impact on yield and its structure. *Vegetable Crops Research Bulletin* 76: 89-97.
- Jiménez, E., V. Robledo, A. Benavides, F. Ramírez, H. Ramírez y E. de la Cruz. 2012. Calidad del fruto de genotipos tetraploides de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo* 28: 153-161.
- Kindscher, K., Q. Long, S. Corbett, K. Bosnak, H. Loring, M. Cohen y B. Timmermann. 2012. The Ethnobotany and Ethnopharmacology of Wild Tomatillos, *Physalis longifolia* Nutt., and Related *Physalis* Species: A review. *Economic Botany* 66: 298-310.
- Lin, M.S. 1991. Genetic base of japonica rice varieties released in Taiwan. *Euphytica* 56:43-46.
- Lobo, M. 2006. Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 7: 40-54.
- Long, J. 1995. De tomates y jitomates en el siglo XVI. En: *Estudios de Cultura Náhuatl*, Vol. 25. M. León-Portilla (eds). Instituto de Investigaciones Históricas. UNAM. México, D.F. 534 p.
- López, R., R. Arteaga, M.A. Vázquez, I. López e I. Sánchez. 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 15: 83-89.
- López, G., A. Santacruz, A. Muñoz, F. Castillo, L. Córdova y H. Vaquera. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30: 284-290.

- Martínez, M. 1998. Revisión de *Physalis* Sección Epeteiorhiza (Solanaceae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica 69: 71-117.
- Martínez, D., M. Pérez, J.E. Rodríguez y E.C. Moreno. 2010. Colecta y caracterización morfológica de "chile de agua" (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. Revista Chapingo, Serie Horticultura 16: 169-176.
- McCune, B. y J.B. Grace. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design. Oregon, EUA. 307 p.
- Montes, S. y A. Aguirre. 1994. Etnobotánica del tomate mexicano (*Physalis philadelphica* Lam.). Geografía Agrícola 1: 163-172.
- Morillo, A.T., D. Villota, T.C. Lagos y H.R. Ordóñez. 2011. Morphological and molecular characterization of 18 introductions of Cape Gooseberry *Physalis peruviana* L. collection of the University of Nariño. Revista de Agronomía 64: 6043-6053.
- Muniz, J., A.A. Kretschmar, L. Rufato, T.R. Pelizza, A. de Rossi y T.A. de Macedo. 2014. General aspects of *Physalis* cultivation. Ciencia Rural, Santa María, Online. Acceso en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014005000006>. 7 p.
- Navarro, C., L.C. Bolaños y T.C. Lagos. 2010. Caracterización morfoagronómica y molecular de 19 genotipos de papa guata y chaucha (*Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz et Buk) cultivados en el departamento de Nariño. Revista de Agronomía 27: 27-39.
- Peña, A. 2001. Situación actual y perspectivas de la producción y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. 10 p. Acceso en: http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio1/Ponencia_06.pdf.
- Peña, A., N. Magaña, S. Montes, J. Sánchez, J. Santiaguillo, O. Grimaldo y A. Contreras. 2011. Manual Gráfico para la Descripción Varietal de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot ex Horn). Universidad de Chapingo, México. 87 p.
- Pickersgill, B. 2009. Domestication of plants revisited—Darwin to the present day. Botanical Journal of the Linnean Society 161: 203–212.
- Rodríguez, F., A. Cupul, C. Galván, E. Ríos, M. Ortiz, E. Robles, E. López y J. Arias. 2011. Additive partitioning of reef fish diversity variation: a promising marine biodiversity management tool. Biodiversity and Conservation 20: 1655-1675.
- Rosas, V., R. Aguilar, S. Martén, L. Ashworth, M. Lopezaraiza, J.M. Bastida y M. Quesada. 2014. A quantitative review of pollination syndromes: do floral traits predict effective pollinators?. Ecology Letters 17: 388-400.
- Sánchez, J.J. 1993. Appropriate Characters for Racial Classification in Maize. Economic Botany 47: 44-59.

- Sánchez M. J., J.M. Padilla, O. Vargas, B. Bojórquez, G. Romero, M. Aguilar y S. Padilla. 2005. Colecta, caracterización, conservación y aprovechamiento del tomate de cáscara (*Physalis* spp.) y sus parientes cercanos en el occidente de México. En: Avances en la investigación científica en el CUCBA. Acceso en: [http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances_2005/Agronomia/SanchezMartinezJose/SanchezMartinezJose\(1\).pdf](http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances_2005/Agronomia/SanchezMartinezJose/SanchezMartinezJose(1).pdf).
- Sánchez M., J. Padilla, B. Bojórquez, M.C. Arriaga, R. Sandoval y E. Sánchez. 2006. Tomate de cáscara cultivado y silvestre del occidente de México. SAGARPA, SNICS, Universidad de Guadalajara, CUCBA. Prometeo (eds), México. Pp. 75-79.
- Sánchez M. J., O. Vargas y P. Zamora. 2008. Cultivo tradicional de *Physalis angulata* L. (Solanaceae) una especie de tomatillo silvestre de México. En: Avances de la investigación científica en el CUCBA. Acceso en: [http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola\(pp%201-86\)/SanchezMartinezJose/75-80.pdf](http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionAgricola(pp%201-86)/SanchezMartinezJose/75-80.pdf).
- Santiagoullo, J.F., T. Cervantes y A. Peña. 2004. Selección para rendimiento y calidad del fruto de cruza planta x planta entre variedades de tomate de cáscara. Fitotécnia Mexicana 27: 85-91.
- Santiagoullo, J.F., A. Peña y D. Montalvo. 1998. Evaluación de variedades de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. Revista Chapingo, Serie Horticultura 4: 83-88.
- Sivalingam, P.N., D.K. Samadia, D. Singh, H.K. Changal, H. Khan y S.K. Sharma. 2011. Characterization of *Prosopis cineraria* (L.) Druce germplasm with suitable horticultural traits from the hot arid region of Rajasthan, India. Genetic Resources and Crop Evolution 58: 1095-1103.
- Torres, J., H. Vargas, G. Corredor y L.M. Reyes. 2000. Caracterización morfoagronómica de diecinueve cultivares de quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) en la Sabana de Bogotá. Agronomía Colombiana 17: 60-68.
- Trillos, O., J. Cotes, C. Medina, M. Lobo y A. Navas. 2008. Caracterización morfológica de cuarenta y seis accesiones de uchuva (*Physalis peruviana* L.), en Antioquia, Colombia. Revista Brasileira de Fruticultura 30: 708-715.
- Vallejo, F.A., E.R. Osorio y T.A. Sierra. 2010. Caracterización y evaluación de recursos genéticos del género *Lycopersicon*. Acta Agronómica 44: 25-36.
- Vargas, O., M. Martínez y P. Dávila. 2003. La familia Solanaceae en Jalisco: El género *Physalis*. Colección Flora de Jalisco, No. 16. Inst. de Botánica, CUCBA, Universidad de Guadalajara, México. 130 p.

- Vargas, O., L.F. Pérez; P. Zamora y A. Rodríguez. 2011. Assessing Genetic Diversity in Mexican Husk Tomato Species. *Plant Molecular Biology Reporter* 29: 733-738.
- Vásquez, L.R. 2011. Caracterización, rescate y conservación de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en las provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra. 123 p.
- Waterfall, U. T. 1967. *Physalis* in México. Central America and the West Indies. *Rhodora* 69: 82-120, 203-239, 319-329.
- Williams, D.E. 1993. *Lycianthes moziniana* (Solanaceae): An Underutilized Mexican Food Plant with "New" Crop Potential. *Economic Botany* 47: 387-400.
- Zapata, N., M. Vargas, V.L. Finot y B. Vallejos. 2012. Caracterización fenológica y morfológica de veinte accesiones de maní (*Arachis hypogaea* L.) establecidas en la provincia de Ñuble, Chile. *Agro-Ciencia, Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 28: 127-137.
- Zizumbo, D. y P. Colunga. 2010. Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resource and Crop Evolution* 57: 813-825.

CAPITULO 3

Fenología, potencial agronómico y nutricional de tres especies silvestres de tomate de cáscara (*Physalis*, Solanaceae) de México

Luis E. Valdivia¹, Ofelia Vargas Ponce^{1*}, Fabián A. Rodríguez Zaragoza² y J. Jesús Sánchez González³. ¹Depto. Botánica y Zoología, ² Depto. Ecología, ³ Instituto para el Manejo de Recursos Fitogenéticos, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. *Autor para correspondencia vargasofelia@gmail.com

Resumen. *Physalis* incluye especies cultivadas por sus frutos comestibles. No obstante el acervo natural del género en México y en particular de las especies que tienen un uso local no ha sido evaluado para determinar su valor como cultivo hortícola. Por ello, se evaluó la respuesta a cultivo de *Physalis acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*, así como se documentó su fenología y se determinó el valor nutricional de los frutos. Se seleccionaron tres poblaciones de cada especie y como control una de *P. angulata*, una especie silvestre cultivada en el estado de Jalisco. El diseño experimental en las parcelas consistió en bloques completos al azar con tres repeticiones por población que se evaluaron en dos ciclos productivos, en Zapopan, Jalisco. La fenología se describió y codificó con el sistema de escala propuesto por el equipo de trabajo BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry, Germany). El potencial agronómico se evaluó con seis descriptores y métodos multivariados. El potencial nutricional se determinó con análisis bromatológicos y químicos. Los resultados mostraron que la fenología de las especies evaluadas consta de ocho fases principales y que existe una correlación entre los periodos cortos en las etapas iniciales y etapas subsecuentes ($r= 0.78$ a 0.98), permitiendo pronosticar precocidad. Las tres especies silvestres respondieron positivamente al manejo agrícola, donde la mayoría de ellas alcanzan un rendimiento, desarrollo y potencial agronómico similar a la especie control. El nivel nutricional de los frutos fue semejante al de otras solanáceas cultivadas. Por lo que estos resultados colocan a *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* como candidatas para fitomejoramiento y selección en vías del desarrollo de nuevos cultivos con calidad nutricional.

Keywords: Potencial productivo, *Physalis*, nutrición, fenología, escala BBCH, recursos silvestres.

Introducción. A nivel mundial, la diversidad de la dieta humana está relacionada con el consumo de plantas silvestres. En mayor proporción ésta diversidad se asocia a comunidades indígenas que practican la agricultura y la recolección (Bharucha y Pretty 2010). En México, como parte del centro

mesoamericano del origen de la agricultura y domesticación de plantas, este aprovechamiento ocurre en casi todo su territorio propiciado por su diversidad biológica y cultural (Bye y Linares 2000; Colunga *et al.* 2003). La diversidad vegetal utilizada oscila entre 5000 y 7000 especies, el 90 % de ellas son silvestres (Casas *et al.* 1994; Caballero *et al.* 1998). Por ello, México es un centro geográfico cultural idóneo para estudiar procesos activos de domesticación de especies silvestres aprovechadas *in situ* o manejadas bajo cultivo incipiente (Casas *et al.* 2007; Lira *et al.* 2009). Además, es factible evaluar germoplasma de especies silvestres que tienen potencial para su desarrollo como un cultivo agrícola e identificar rasgos de utilidad para el fitomejoramiento de las especies cultivadas emparentadas. En este estudio se evalúan tres especies de *Physalis* L. (Solanaceae) con potencial de cultivo y comercialización.

Algunas especies de *Physalis* tienen importancia económica y cultural para varias etnias de América (Sahagún 1938; Montes y Aguirre 1994; Kindscher *et al.* 2012). El género integra 90 especies distribuidas desde Norteamérica hasta Argentina y México y alberga 70 de ellas (Martínez 1998; Vargas *et al.* 2003, 2011). Los frutos de *Physalis* son empleados desde tiempos precolombinos para la alimentación (Sahagún 1938; Ostrzycka *et al.* 1988). La variación de sabor entre las especies es de ácido a dulce, los frutos ácidos son un elemento imprescindible en la cocina tradicional mesoamericana (Santiaguillo y Blas 2009; Kindscher *et al.* 2012), mientras que los de mayor dulzor se ingieren en fresco como fruta (Herrera *et al.* 2011). Los frutos, raíces, hojas y cálices se emplean en la herbolaria, las plantas vivas se utilizan como ornamentales y también se hacen arreglos de naturaleza muerta (Martínez y Hernández 1969; Martínez 1998). A pesar de la riqueza del género sólo cinco especies son cultivadas para aprovechamiento del fruto en sus áreas de distribución natural. En EUA se cultivan en jardines familiares a *P. pruinosa* L. y *P. longifolia* Nutt. En Colombia, Chile y Perú se cultiva *P. peruviana* L. (uchuva) en parcelas familiares y en parcelas para producción comercial; la misma especie es introducida como cultivo en África Ecuatorial y Europa (Piva *et al.* 2013; Ramírez *et al.* 2013). En México se cultivan *P. philadelphica* L. en la mayoría de los estados, siendo la de mayor cultivo (Santiaguillo *et al.* 2004) y *P. angulata* L. a menor escala en el estado de Jalisco (Sánchez *et al.* 2006); *P. philadelphica* también es cultivada en Centroamérica (López *et al.* 2009).

Solanaceae junto con Poaceae y Fabaceae, se encuentran entre las familias botánicas con mayor número de especies silvestres utilizadas tradicionalmente como alimento en México (Benz *et al.* 1994; Lira *et al.* 2009). Para *Physalis*, en particular, se ha señalado que los frutos de las especies silvestres *P. acutifolia* (Miers) Sandwith, *P. angulata* L., *P. chenopodifolia* Lam., *P. cinerascens*

(Dunal) Hitchc., *P. cordata* Mill., *P. coztomatl* Dunal, *P. gracilis* Miers, *P. philadelphica* Lam. y *P. pubescens* L. son recolectadas para consumo (Martínez 1998; Santiaguillo y Blas 2009; Vargas *et al.* 2011). Además, los frutos de *P. philadelphica* y *P. angulata* de tamaño menor a los 2 cm se ofrecen a la venta en mercados locales con el nombre de tomate milpero, miltomate o tomatillo, sugiriendo su cosecha dentro del sistema agrícola de la milpa. Los tomatillos suelen tener una menor acidez, semillas diminutas y olor fragante, atributos que son preferidos en ciertas regiones del país, como el occidente. Esto promueve una mayor ganancia, puesto que el precio por este tipo de tomate triplica al del tomate verde cultivado, cuyo tamaño oscila entre 3 y hasta 6 cm de diámetro (Santiaguillo *et al.* 1998; Sánchez *et al.* 2006).

El acervo silvestre puede emplearse para el desarrollo de proyectos productivos que permitan el uso y potenciación del germoplasma (Casas *et al.* 1996; Zizumbo y Colunga 2010). El acervo natural de *Physalis* en México y en particular de aquellas especies que ya tienen un uso local no ha sido evaluado para determinar su valor como cultivo hortícola. En este contexto, destacan las especies anuales *P. acutifolia* y *P. pubescens* y la perenne *P. chenopodifolia*, que tienen un uso tradicional, frutos de tamaño mediano (1-1.5 cm diám.) y producción abundante de éstos, características que las hacen elegibles para evaluar su comportamiento bajo cultivo. Los frutos de *P. acutifolia* de sabor ácido, se utilizan como alimento en algunos sitios del suroeste de EUA (Martínez y Hernández 1969; Kindscher *et al.* 2012). *P. chenopodifolia* tiene un uso más diversificado, sus tallos, cálices y raíces son utilizados en la medicina tradicional (Santiaguillo y Blas 2009) y sus frutos de sabor dulce con un cierto toque amargo tienen una alta preferencia de consumo por grupos mazahuas de la región central de México, en los estados de Edo. México, Puebla y Tlaxcala (Mera 1987; Williams 1993; obs. pers.). Por su parte, *P. pubescens* tiene frutos aromáticos con sabor agradable que va del ácido al dulce, por lo que se consumen a partir de la recolección en diversas poblaciones del país (Montes y Aguirre 1994; Martínez 1998).

La contribución nutricional de las especies cultivadas que son la base de la alimentación mundial ha sido bien documentada. Más del 50% de los requerimientos de proteínas y carbohidratos en el consumo mundial de alimentos proviene del maíz, trigo, frijol y arroz (Jaenicke y Hóschle-Zeledon 2006) y con el uso de sólo 12 especies a nivel mundial se cubre el 80% de los requerimientos alimenticios (Bharucha y Pretty 2010). En el caso de *Physalis*, el análisis nutricional de frutos de las dos especies con mayor cultivo, *P. peruviana* (Puente *et al.* 2011; Ramadan 2011) y *P. philadelphica* (Arriaga *et al.* 2005; Jiménez *et al.* 2012) evidenció que son una fuente importante de vitaminas A, B y C, minerales, azúcares solubles, fósforo, fibra y pectina. Esto resalta la importancia de su uso en

la dieta tradicional y la relevancia de los estudios para determinar el valor nutricional de otras especies silvestres de *Physalis*. De acuerdo con los estudios bioquímicos y farmacológicos, los frutos y hojas de *Physalis* son fuente importante de antioxidantes, antiinflamatorios, antisépticos y anticancerígenos, debido principalmente a dos activos: las physalinas y los withanolidos (Yen *et al.* 2010; Hassanien 2011; Puente *et al.* 2011; Ramadan 2011; Kindscher *et al.* 2012).

Es indispensable conocer la fenología de las especies promisorias sobre las cuales se desean desarrollar proyectos de investigación y producción con fines comerciales (Meier 1997). Para la definición y codificación de las fases fenológicas han sido propuestos varios sistemas que permiten documentar el desarrollo del individuo durante el ciclo de vida (Feller *et al.* 1995; Meier 1997). El sistema de escalas BBCH extendido, propuesto por el Centro Federal de Investigaciones Biológicas de la Oficina Federal de Variedades Vegetales y la industria química Alemana, es uno de los sistemas más utilizados en Europa. Éste, codifica las fases y sub fases fenológicas de especies vegetales de mono y dicotiledóneas de manera uniforme, utilizando un valor de tres dígitos. Este sistema fue empleado con éxito para los cultivos tradicionales como cereales (Zadoks *et al.* 1974), el mango (Rajan *et al.* 2011), el limonero (Conesa *et al.* 2013) y en especies de *Physalis* cultivadas como *P. philadelphica* y *P. peruviana* (López *et al.* 2009; Ramírez *et al.* 2013). Por ello, es importante utilizarlo en especies silvestres de interés para conocer su ciclo de vida y emplearlo en su manejo agrícola (Ramírez *et al.* 2013).

La evaluación de atributos de interés agronómico y nutricional en las especies silvestres, permite una mejor apreciación de su valor económico y es esencial para mejorar sus características agrícolas para un uso sustentable (Tardío *et al.* 2011). Con base en lo anterior el objetivo de este estudio fue: evaluar la respuesta a cultivo de *Physalis acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*, documentar su fenología y determinar los atributos nutricionales de los frutos. Este conocimiento permitirá incorporar estas especies a programas de fitomejoramiento y selección para el desarrollo de nuevos cultivos que interesen a productores de tomate de cáscara.

Materiales y métodos

Selección de germoplasma, diseño experimental y manejo agrícola

El estudio se llevó a cabo en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara en Zapopan, Jalisco, México (20°44'41" N, 103°30'58" O, altitud 1640 msnm). La temperatura media anual registrada es 19.6°C, la precipitación media anual de 979.6

mm y humedad relativa media anual de 60.6%; con fórmula climática (A)Ca(w1)(w)(i')g: semi cálido templado con verano cálido lluvioso según la clasificación climática Köppen modificada por García(1988). Se seleccionaron de manera aleatoria 10 poblaciones de *Physalis* depositadas en el banco de germoplasma del Centro de Investigaciones en tomate de cáscara (CITOCA). Las especies silvestres *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* se representaron con tres poblaciones cada una. Dos poblaciones de *P. pubescens* corresponden a la variedad *pubescens* y una a la variedad *grisea* para representar la variación natural del taxón. Una población de *P. angulata* que se cultiva en la región centro de Jalisco se utilizó como control (Cuadro 3.1). Para la obtención de plántulas, 180 semillas por población se germinaron en charolas bajo condiciones de invernadero, en enero y febrero de 2012 y 2013. Como sustrato se utilizó una mezcla de musgo-regolita-humus (3:2:1).

Cuadro 3.1. Accesiones de *Physalis* utilizadas en el estudio y su ubicación geográfica en México

Especie	Código	Colector	Colecta	Estado	Municipio	Localidad	Georeferencia
<i>P. acutifolia</i>	AS	JS	230	Nayarit	Santiago Ixcuintla	El pulpo Sauta	N 21° 43' 13" W 105° 10' 47.3" 11 msnm
	AL	JS	482	Michoacán	Lombardía	Lombardía	N 19° 05' 58.44" W 102° 03' 27.22" 533 msnm
	AM	OVP	555	Baja California	Mexicali	Mexicali	N 32° 37' 41.82" W 115° 30' 58.30" 3 msnm
<i>P. angulata</i>	AngC	JS	312	Jalisco	Cuquío	Ocotic	N 20°59' 31.1" W 103°05' 26.8" 1854 msnm
<i>P. chenopodifolia</i>	CC	OVP	536	Tlaxcala	Calpulualpan	Españita	N 19° 28' 0.1" W 98° 27' 6.8" 2642 msnm
	CI	OVP	538	Tlaxcala	Ixtenco	La Malinche	N 19° 14' 12.9" W 97°57' 5.4" 2798 msnm
	CH	OVP	539	Puebla	Huejotzingo	Sn. Nicolás de los Ranchos	N 19° 04' 17.6" W 98° 30' 4.07" 2502 msnm
<i>P. pubescens</i>	PM	JS	253	Michoacán	Maravatío	Maravatio	N 19° 51' 55" W 100° 27' 32.2" 2039 msnm
	PC	JS	546	Jalisco	Cuquío	Palos Altos	N 21° 01' 07.65" W 103° 06' 52.71" 1928 msnm
	PZ	AR	547	Jalisco	Zapopan	Tepopote	N 20° 43' 45.19" W 103° 34' 07.63" 1610 msnm

AR: Aarón Rodríguez Contreras, JS: José Sánchez Martínez, OVP: Ofelia Vargas Ponce.

A la presencia de la cuarta hoja verdadera (P4°HV), diez plántulas por población para cada repetición, se trasplantaron en suelo directo en parcelas de 4.5 m², a una distancia de 60 cm entre planta y 150 cm entre surcos, resultando en una densidad de siembra 13,778 plantas·ha⁻¹. El trasplante se hizo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. El suelo de la parcela es de tipo regosol éutrico con pH de 5.38 promedio; el manejo agrícola consistió en el acolchado del suelo, el riego por goteo (500 l·h⁻¹) y buenas prácticas agrícolas como la limpieza de maleza, el uso de fertilizantes orgánicos e insecticidas específicos (FAO 2013). El registro de los datos se realizó en 5 individuos por repetición, para un total de 15 por cada población y 45 por especie.

Para evaluar el manejo agrícola se registró el establecimiento y adaptación de las plantas a las condiciones de las parcelas. El establecimiento representó la proporción de plantas sobrevivientes después del trasplante. La adaptación involucró tres rasgos: i) el porcentaje de individuos sanos, sin daño atribuible a efectos ambientales como deshidratación, lesiones solares y quemadura por frío o calor y a los causados por la aplicación de fertilizantes e insecticidas químicos; ii) el número de frutos por planta (NTF); iii) el vigor relacionado al área del dosel a los 120 días (Do120d) y diámetro máximo del tallo (DMT) (Santiaguillo *et al.* 2004). Se usó un análisis de varianza multidimensional basado en permutaciones (PERMANOVA) de dos vías completamente anidado y con efectos mixtos, considerando los descriptores NTF, Do120d y DMT para identificar la variación entre las especies de *Physalis* y entre sus poblaciones, con el objeto de evaluar la adaptabilidad de las especies silvestres a condiciones de cultivo en relación a la especie control (Anderson *et al.* 2008). El PERMANOVA utilizó una matriz de distancia euclidiana con datos de los individuos transformados con raíz cuarta y una estandarización a valores z para reducir la dispersión y poner en una misma escala las variables de diferente naturaleza y escala de medición.

Evaluación del potencial agronómico

El potencial se evaluó con seis descriptores de interés agronómico: el número de frutos por planta (NTF), el peso promedio del fruto (PPF), el diámetro ecuatorial del mismo (DEF), el periodo de germinación (PG), el porcentaje de germinación (%G) y la producción por hectárea (PHa) [Cuadro 3.2]. La PHa se estimó multiplicando el promedio del producto de NTF x PPF por la densidad de siembra de 13,778 plantas·ha⁻¹ (Vallejo *et al.* 2010; Jedrszczyk *et al.* 2012). Estos descriptores han sido utilizados en *P. peruviana* (Fischer 2000, 2005; Ávila *et al.* 2006; Herrera *et al.* 2011) y en *Solanum lycopersicum* L. (Boada *et al.* 2010). Se usó un análisis de varianza multidimensional

basado en permutaciones (PERMANOVA) de dos vías completamente anidado en datos no promediados de ambos ciclos de cultivo, para evaluar la variación del potencial agronómico entre las especies de *Physalis* y entre las poblaciones de estas especies (Anderson *et al.* 2008). El PERMANOVA utilizó una matriz de distancia euclidiana con datos de los individuos transformados con raíz cuarta y una estandarización a valores z para reducir la dispersión y poner en una misma escala las variables de diferente naturaleza y escala de medición. En este modelo las especies fueron consideradas como un factor de efecto fijo, mientras que las poblaciones como aleatorio. La significancia estadística se probó con 10,000 permutaciones. Posteriormente, se construyó una matriz con los promedios de estas variables para los dos ciclos de cultivo, que fue pre-tratada de la misma manera que en el análisis PERMANOVA, para realizar un análisis de componentes principales (ACP) y un análisis de agrupamiento. Este último se basó en una matriz de distancia euclidiana y el método UPGMA. Ambos análisis multivariados fueron utilizados en la identificación de grupos de individuos con características semejantes dentro de cada población y especie. Todos los análisis multivariados se hicieron en PRIMER 6 + PERMANOVA (Anderson *et al.* 2008).

Cuadro 3.2. Listado de atributos utilizados en la evaluación del material vegetal

No	Nombre del descriptor	Código	Tipo	Unidades
1	Diámetro ecuatorial del fruto	DEF	M	mm
2	Diámetro máximo del tallo	DMT	M	mm
3	Área del dosel a los 120 DDS	Do120d	M	cm ²
4	Número total de frutos por planta	NTF	A	Conteo
5	Peso promedio fruto	PPF	A	gr
6	% germinación de la semilla	%G	A	%
7	Producción por hectárea	PHa	A	t·ha ⁻¹
8	Periodo de germinación de la semilla	PG	F	¹
9	Periodo a la aparición de la 1° hoja	P1°HV	F	¹
10	Periodo a la aparición de la 4° hoja	P4°HV	F	¹
11	Periodo a la 1° bifurcación del tallo	P1°BT	F	¹
12	Periodo a la aparición del 1° botón floral	P1°Bo	F	¹
13	Periodo a la apertura floral	PApFI	F	¹
14	Periodo al desarrollo del 1° fruto formado	PD1°F	F	¹
15	Periodo a la madurez fisiológica del fruto	PMFF	F	¹
16	Periodo a la madurez comercial del fruto	PMCF	F	¹
17	Sólidos solubles totales como Dulzor	SST	Q	Grados Brix
18	Acidez	pH	Q	Log _n potencial del hidrógeno
19	Humedad del fruto	HMVf	B	² Humedad y materia volátil
20	Proteína total del fruto	PF	B	² Proteína total
21	Sustancias lipídicas del fruto	EEF	B	² Elementos etéreos
22	Minerales del fruto	CF	B	² Cenizas
23	Fibra del fruto	FCF	B	² Fibra cruda total
24	Azúcares solubles del fruto	ELNF	B	⁴ Elementos libres de nitrógen
25	Materia seca del fruto	MSF	B	² Materia seca

Unidades: ¹Atributo observado a los DDS (días después de la siembra de la semilla) en el 50% de los individuos,

²Porcentaje del peso total de la muestra. Tipo: A= agronómico, B= bromatológico, F= fenológico, M= morfológico y Q= químico.

Desarrollo fenológico

Para documentar la fenología, se registró el desarrollo de la planta desde la siembra de la semilla hasta la senectud (Cuadro 3.2). Al mismo tiempo se registraron las fases principales y subfases típicas, así como, la duración de los periodos desde la siembra de la semilla hasta el inicio de cada fase (DDS). Las fases principales y subfases fueron codificadas en el sistema de escala BBCH acorde a Meier (1997), siguiendo a Ramírez *et al.* (2013) para *P. peruviana* y la adaptación de Feller *et al.* (1995) para miembros de la familia Solanaceae. El registro de la fenología involucró el ciclo de vida de los individuos desde la germinación (fase cero) hasta su senescencia y muerte (fase nueve). En adición se aplicó una correlación de Pearson (r) a los registros de los 46 descriptores para analizar su comportamiento (Santiaguillo *et al.* 1998; Torres *et al.* 2000; Zar 2010) y descartar de los análisis multivariados aquellos altamente correlacionados (Castañon *et al.* 2010; Navarro *et al.* 2010), se fijó como valor alto de $r \geq 0.90$ (Graham 2003; Rodríguez *et al.* 2011).

Análisis químico-nutricional

El nivel nutricional y químico de los frutos en las tres especies se analizó en nueve parámetros: dos químicos (dulzor como sólidos solubles totales, SST y acidez como pH) y siete bromatológicos (humedad, proteínas, lípidos, minerales, fibra, azúcares y materia seca) (Cuadro 3.2), que han sido utilizados en *P. philadelphica* (Jiménez *et al.* 2012), *P. peruviana* (Castro 2008; Puente *et al.* 2011; Ramadan 2011) y *S. lycopersicum* (Ostrzycka *et al.* 1988; FAO 2006). Los sólidos solubles totales (SST) se registraron como °Brix en el jugo del fruto, a partir del promedio de cinco mediciones realizadas con un refractómetro mod. N-1E (Atago Ind.). La acidez se determinó como el potencial de hidrógeno (pH) de la pulpa del fruto fresco, utilizando un potenciómetro digital (Fischer Ins. Co.). Los análisis de pH y SST se realizaron en frutos con madurez fisiológica dentro de las 24 horas posteriores a la cosecha, mientras que los análisis de los parámetros bromatológicos se efectuaron en frutos deshidratados preservados bajo refrigeración. Los análisis bromatológicos se realizaron según los métodos de la Asociación de Comunidades Analíticas (AOAC, por sus siglas en inglés). Para determinar la humedad y materia volátil se utilizó el método 930.36, para las proteínas totales el 954.04, para extracto etéreo relacionado a lípidos el 954.02, para cenizas relacionado a minerales el 942.05 y para fibra cruda el 962.09. Los elementos libres de nitrógeno relativos a los azúcares totales y la materia seca se determinaron por diferencia de peso en la muestra en relación a los cinco parámetros anteriores. De manera complementaria a los análisis bromatológicos y para realizar comparaciones objetivas entre las especies evaluadas y otras estudiadas previamente, los

datos originales fueron extrapolados al considerar un valor de materia seca (MSF) de 5.8, por ser el valor mínimo reportado en frutos frescos de solanáceas (Ostrzycka *et al.* 1988).

Resultados

Respuesta al manejo agrícola

Las tres especies mostraron una respuesta favorable al manejo agrícola. Las plantas de las especies evaluadas, se establecieron y adaptaron fácilmente a las condiciones del sitio experimental tras su trasplante. Se obtuvo un desarrollo estructural vigoroso y una talla mayor en las plantas evaluadas acorde a lo encontrado en plantas silvestres de estas especies. La superficie del dosel promedio por individuo a los 120 días (DDS) osciló entre el valor mínimo de 14,103 cm² registrado en *P. acutifolia* y el máximo de 21,636 cm² en *P. chenopodifolia* (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Promedios por población para ocho descriptores utilizados en el estudio

Especie	Código	DiaMT	Do120d	DEF	NTF	PPF	PG	%G	PHa
<i>P. acutifolia</i>	AS	16.80	13546.90	14.38	874.63	1.71	11.50	84.00	20819.40
	AL	21.90	12788.40	12.99	277.77	1.29	31.00	92.50	4947.07
	AM	14.80	15974.43	13.88	612.37	1.57	15.00	93.50	13293.21
	mínimo	9.50	3024.00	11.60	81.00	0.90	11.00	68.00	3925.13
	máximo	30.70	32895.00	16.35	2614.00	2.22	50.00	100.00	36065.00
	\bar{X}	17.83	14103.24	13.75	588.26	1.52	19.17	90.00	13019.89
<i>P. chenopodifolia</i>	CC	17.30	26226.60	12.73	1176.20	1.11	20.00	77.00	18676.69
	CI	16.80	17211.83	12.57	1133.23	1.21	16.00	90.00	20547.47
	CH	17.50	21471.43	12.16	1023.57	1.04	18.50	90.50	16276.66
	mínimo	12.00	1849.00	10.05	125.00	0.56	12.00	59.00	5423.32
	máximo	24.00	42020.00	15.69	2372.00	2.11	28.00	99.00	34038.00
	\bar{X}	17.20	21636.62	12.49	1111.00	1.12	18.17	85.83	18500.27
<i>P. pubescens</i>	PM	17.70	19120.20	11.65	906.70	0.93	17.00	88.50	12584.22
	PC	18.00	17120.67	11.26	960.37	0.73	13.50	96.50	9799.94
	PZ	21.30	15537.30	12.88	608.03	0.90	36.50	57.50	7567.35
	mínimo	13.00	1036.00	9.56	79.00	0.48	9.00	40.00	2489.88
	máximo	30.20	36091.00	15.55	2518.00	1.49	48.00	100.00	22141.00
	\bar{X}	19.00	17259.39	11.93	825.03	0.85	22.33	80.83	9983.84
<i>P. angulata</i>	AngC	14.70	12384.00	12.63	1339.17	1.64	10.00	87.50	27265.40
	mínimo	10.00	2550.00	10.15	142.00	1.09	6.00	80.00	7164.81
	máximo	19.50	25520.00	14.52	3199.00	2.44	14.00	95.00	47366.00

DMT: diámetro máximo del tallo, Do120DDS: área del dosel a los 120 DDS, DEF: diámetro ecuatorial del fruto, NTF: número promedio total de frutos por planta, PPF: peso promedio del fruto, PG: periodo de germinación, %G: porcentaje de germinación y PHa: producción por hectárea. Poblaciones: AS= Santiago Ixcuintla, AL= Lombardía, AM= Mexicali, CC= Calpulualpan, CI= Ixtenco, CH= Huejotzingo, PM= Maravatío, PC= Cuquío, PZ= Zapopan y AngC= Cuquío.

El promedio en el diámetro del tallo mínimo fue 17.2 mm en *P. chenopodifolia* y máximo de 19.0 mm en *P. pubescens*. El número de frutos por planta promedio tuvo un valor mínimo de 588 en *P. acutifolia* y el máximo de 1,111 en *P. chenopodifolia*, siendo 1.89 veces mayor en el ciclo de cultivo 2013 que en 2012.

El PERMANOVA de dos vías anidado mostró similitud entre especies ($P= 0.1625$) y poblaciones ($P= 0.1896$), en relación a las variables Do120d, DMT y NTF. Además, identificó un efecto significativo del ciclo de cultivo sobre las poblaciones ($P= 0.0001$); mientras que a nivel de especie, el efecto del ciclo resultó no significativo ($P= 0.5882$). Las plantas de las especies evaluadas toleraron la aplicación de fertilizantes e insecticidas sin observarse daño aparente. No existió pérdida o daño en los individuos dentro de las parcelas por efectos climáticos, ni por manejo bajo cultivo. La muerte de individuos fue baja ($\leq 10\%$) y ocurrió principalmente por virosis. Los casos de micosis ($\leq 5\%$) se controlaron con tratamiento químico.

Potencial agronómico

Los resultados del PERMANOVA de dos vías anidado mostró que no existieron diferencias en el potencial agronómico entre las especies ($P= 0.1019$) y poblaciones entre sí ($P= 0.1623$, Cuadro 3.4), únicamente hubo diferencias entre ciclos de cultivo ($P=0.0013$) y una interacción significativa del ciclo de cultivo sobre las poblaciones ($P= 0.0001$), siendo a nivel de especie no significativa ($P= 0.3566$). Estos resultados se confirmaron por los resultados de los análisis ACP y de agrupamiento.

Cuadro 3.4. Análisis de varianza con 10 000 permutaciones (PERMANOVA) para atributos agronómicos en tres especies silvestres de tomate de cáscara

Fuente	GL	SS	MC	Pseudo-F	P	permutaciones únicas
Ci	1	472.37	472.37	13.2170	0.0013	9945
Es	3	387.66	129.22	1.6713	0.1019	9937
Po (Es)	6	336.25	56.041	1.5680	0.1623	9946
CixEs	3	127.98	42.659	1.1936	0.3566	9950
CixPo (Es)	6	214.44	35.74	46.2610	0.0001	9914
Res	280	216.32	0.7726			
Total	299	1794				

GL= grados de libertad, SS = suma de cuadrados, MC = cuadrados medios, P = valor de probabilidad.

El análisis ACP mostró que los tres primeros componentes explicaron el 92.2 % de la variabilidad total (Figura 3.1). El componente principal uno (CP1) estuvo asociado a la producción por hectárea (PHa) y al periodo de germinación (PG), el cual explicó el 45.6 % de la variación. El componente principal dos (CP2) se relacionó con el peso del fruto (PPF) y el diámetro del fruto (DEF), y representó el 28.4 % de esta variación. El componente principal tres (CP3) se correlacionó al

porcentaje de germinación (%G) y número de frutos por planta (NTF), que correspondió al 18.3 % de la variación total. El ACP y el análisis de agrupamiento mostraron la formación de dos grupos (Figura 3.2): i) el grupo A incluyó a ocho poblaciones, de las cuales siete pertenecen a las tres especies silvestres y una de *P. angulata* y el grupo B formado por las poblaciones *P. pubescens* var. *grisea* de Zapopan y *P. acutifolia* de Lombardía. Las especies silvestres del grupo A presentaron una PHa entre 9.983 t·ha⁻¹ (*P. pubescens*) y 18.500 t·ha⁻¹ (*P. chenopodifolia*); PG entre 18.17 DDS (*P. chenopodifolia*) y 22.33 DDS (*P. pubescens*); DEF entre 11.93 mm (*P. pubescens*) y 13.75 mm (*P. acutifolia*); PPF entre 0.85 g (*P. pubescens*) y 1.52 g (*P. acutifolia*) (Cuadro 3.3). Estos valores de potencial agronómico resultaron ser similares a los estimados para *P. angulata*, que presentó valores de PHa = 27.265 t·ha⁻¹, PG = 10 DDS, DEF = 12.63 mm y PPF = 1.64 g. Por su parte, con *P. pubescens* de Zapopan y *P. acutifolia* de Lombardía, presentaron valores promedio menores de PHa = 4.947 y 7.567 t·ha⁻¹, DEF = 12.88 y 12.99 mm, y PG = 31.0 y 36.5 DDS. Por lo que estas poblaciones presentaron un potencial agronómico menor al resto de las poblaciones. Los valores promedio para %G entre las tres especies silvestres fluctuaron entre 80.83% (*P. pubescens*) y 90.00% (*P. acutifolia*), mientras que *P. chenopodifolia* fue %G = 85.83% que presentó una germinación escalonada.

Desarrollo fenológico

De acuerdo con el sistema de escala BBCH se registraron ocho fases fenológicas principales de desarrollo (FFPD). Las fases fenológicas y sus periodos se caracterizaron de la siguiente manera (Cuadro 3.5):

FFPD 0: Proceso de germinación.

El proceso de imbibición de la semilla presentó un periodo de 2 DDS para todas las especies. El periodo para la aparición de la radícula y los cotiledones fuera de la testa varió entre las especies en 12 DDS. El periodo para la germinación entre las especies silvestres fue de 19 DDS; siendo mayor en la población *P. pubescens* variedad *grisea* de Zapopan con 35 DDS y menores en *P. acutifolia* de Santiago Ixcuintla y de Mexicali y *P. pubescens* de Cuquío, entre 11.5 y 13.5 DDS. Estos valores fueron similares al de la testigo con 10 DDS.

FFPD 1: Proceso del desarrollo de hojas verdaderas.

La diferencia entre los periodos a la aparición de la 1° hoja verdadera entre las especies silvestres y la testigo fue de 22 DDS. Mientras que, a nivel de población fue de 42 DDS. El periodo a la presencia de la 4° hoja entre especies promedió 43 DDS, donde *P. pubescens* var. *grisea* mostró el mayor con 64 DDS.

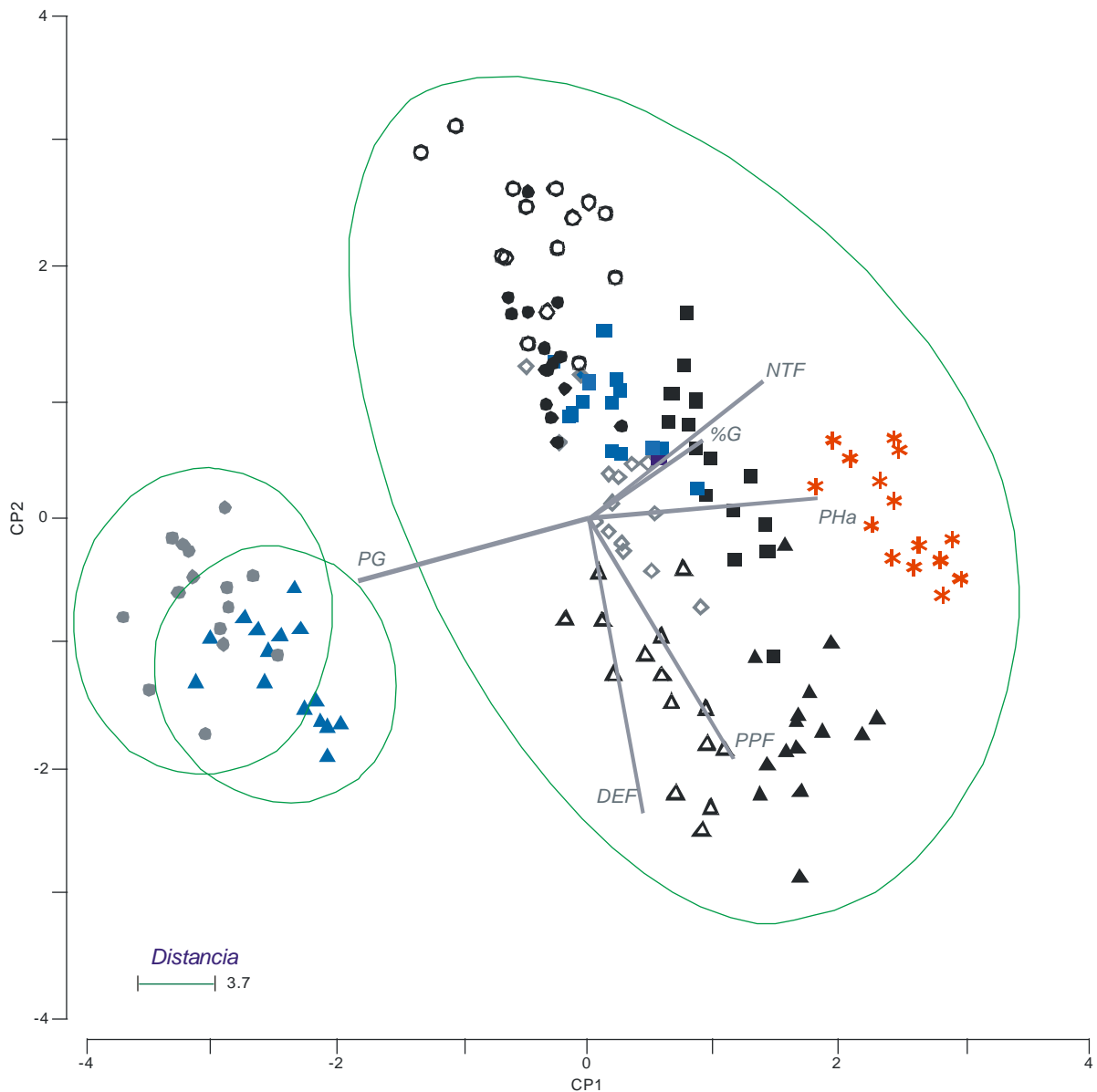


Figura 3.1. Componentes principales (ACP) para seis atributos de interés agronómico en poblaciones de *Physalis acutifolia*, *P. angulata*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*. Datos promediados de los ciclos de cultivo 2012 y 2013. Poblaciones = íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ.

FFPD 2: Proceso de formación de brotes laterales.

Esta fase ocurrió paralelamente con la fase cinco (FFPD5). Los periodos a la primera bifurcación del tallo y a la emergencia de las inflorescencias, presentaron una variabilidad de 25 DDS entre las especies. Las inflorescencias se desarrollaron a partir en la yema axilar de la bifurcación. Las silvestres en este periodo promediaron 68 DDS, resultando tardías en relación a la testigo con 50 DDS. Las poblaciones *P. pubescens* de Zapopan y *P. acutifolia* de Lombardía mostraron los valores mayores de 83 y 89 DDS.

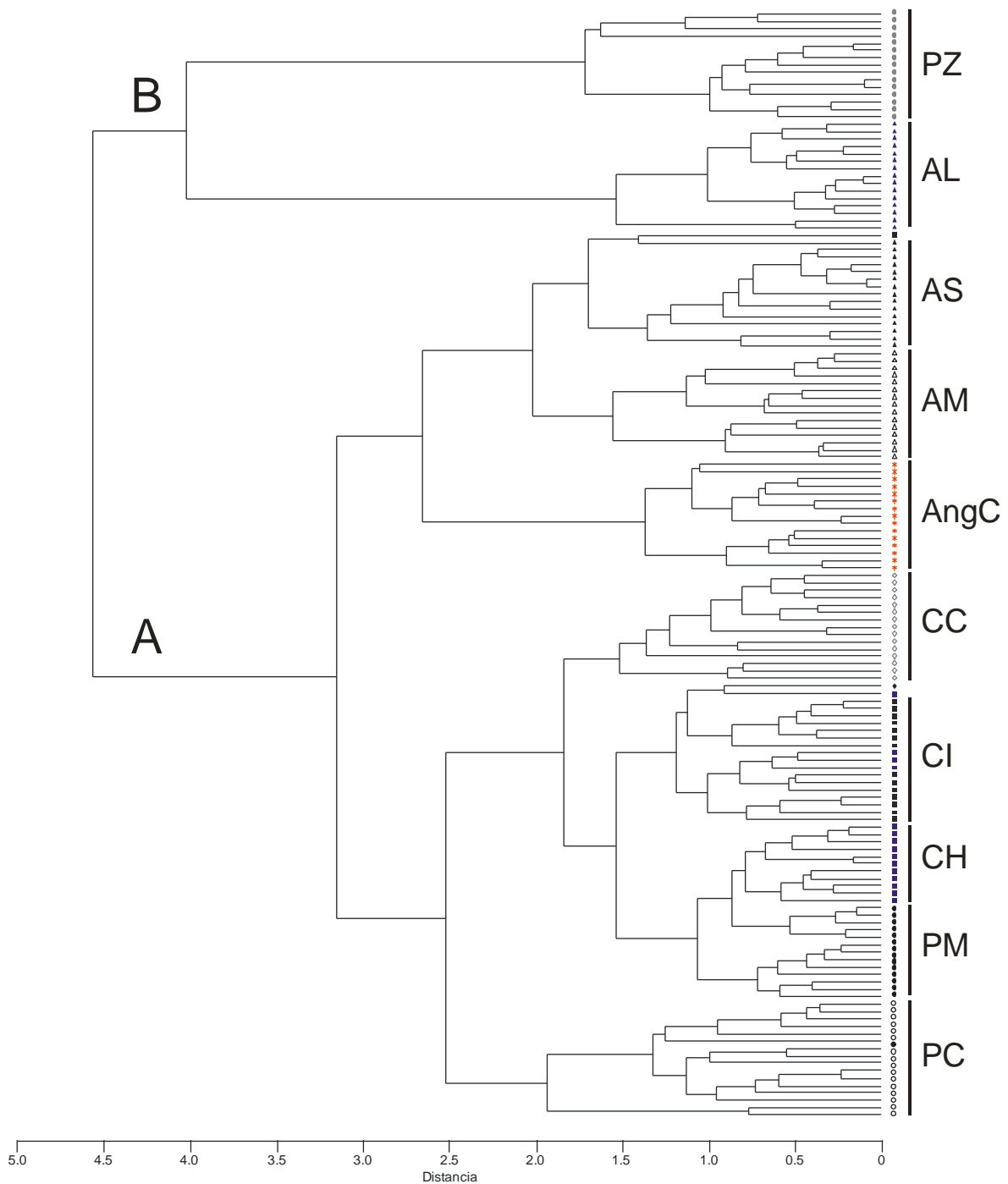


Figura 3.2. Resultado del análisis de agrupamiento jerárquico bajo el criterio de UPGMA, para seis atributos de interés agronómico en *Physalis acutifolia*, *P. angulata*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*. Poblaciones = íconos que corresponden a *P. acutifolia*: ▲ AS, ▲ AL, ▲ AM; *P. angulata*: * AngC; *P. chenopodifolia*: ◇ CC, ■ CI, ■ CH; *P. pubescens* var. *pubescens*: ● PM, ○ PC, var. *grisea*: ● PZ (códigos de poblaciones en Cuadro 3.1).

FFPD 3 y 4. No tuvieron aplicación.

FFPD 5: Proceso de emergencia de inflorescencias y observación de botones florales.

Se observó que su desarrollo fue simultáneo y semejante a la fase dos (FFPD2).

FFPD 6: Floración y apertura de la corola.

Esta fase ocurrió de forma simultánea con las fases siete y ocho: Al bifurcar el tallo inicia el desarrollo de un botón floral a partir de la yema axilar; este proceso continúa sincrónicamente con el crecimiento simpodial hasta alcanzar el tamaño máximo del tallo. El periodo mostró una variación entre las especies de 26 DDS. Las silvestres promediaron 75 DDS y la testigo mostró 55 DDS; entre poblaciones, *P. acutifolia* de Lombardía tuvo el periodo más largo de 97 DDS.

FFPD 7: Proceso de desarrollo de frutos.

El periodo para que los primeros frutos alcancen el tamaño típico presentó una variación entre especies de 45 DDS. *P. acutifolia* con 111 DDS y *P. pubescens* con 106 DDS fueron las más cercanas a la testigo con 92 DDS. Las tres poblaciones de *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* de Zapopan mostraron los valores mayores entre 137 y 128 DDS.

FFPD 8: Proceso de maduración de los frutos.

Entre las especies la variabilidad del periodo fue de 33 DDS. *P. acutifolia* con 125 DDS y *P. pubescens* con 127 DDS fueron semejantes a la especie testigo con 115 DDS. Las tres poblaciones de *P. chenopodifolia*, *P. acutifolia* de Lombardía y *P. pubescens* de Zapopan fueron las más tardías, con una duración entre 136 y 148 DDS.

FFPD 9: Proceso de senescencia, muerte o inicio de la hibernación.

Entre las especies, la variación de los periodos fue de 35 DDS. *P. acutifolia* y *P. pubescens* mostraron los ciclos de vida más cortos entre 148 y 153 DDS, resultando similares a la testigo con 145 DDS. Cuatro poblaciones, tres de *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* de Zapopan tuvieron los periodos mayores entre 169 y 180 DDS.

El análisis de correlación para los nueve descriptores fenológicos arrojó valores entre 0.789 y 0.985, que mostró una relación importante entre la duración de los periodos de las distintas fases fenológicas en una misma población. Se identificó que las poblaciones de *P. acutifolia* de Mexicali y Santiago Ixcuintla y de *P. Pubescens* de Cuquío y Maravatío con periodos cortos para las fases fenológicas iniciales como la germinación, mostraron periodos breves para la floración y fructificación, culminando su ciclo de vida anticipadamente en relación al resto.

Análisis químico-nutricional

Se observó variabilidad en los niveles nutricionales entre las especies evaluadas (Cuadro 3.6). La especie *P. chenopodifolia*, mostró los valores mayores de SST = 10.88 °Brix, lípidos como EEF = 0.42% y fibra cruda FCF = 1.60% en relación a *P. acutifolia* y *P. pubescens* y un valor de PF = 0.93%. La especie *P. acutifolia* fue superior al resto en PF = 1.00% y minerales como cenizas CF = 0.50%, y similar a *P. chenopodifolia* en EEF = 0.39%; *P. pubescens* var. *grisea* fue superior a las demás especies para ELNF = 3.62%. Las silvestres mostraron valores de pHF entre 4.11 y 4.84.

Discusión

Respuesta al manejo agrícola

La respuesta positiva al manejo agrícola de las tres silvestres evaluadas fue semejante al de una especie cultivada como *P. angulata* y *P. philadelphica* (López *et al.* 2009). Esta respuesta se manifestó como un desempeño adecuado en parcelas, con el establecimiento del 100% de las plantas trasplantadas directamente de la charola de germinación, una capacidad de adaptación al ambiente de la zona de cultivo similar a la especie control, un desarrollo estructural vigoroso y una tolerancia a los fertilizantes e insecticidas utilizados, que permitió un tratamiento uniforme entre las parcelas, sin requerir de un manejo especial. Las especies evaluadas mostraron mayor vigor con tallas más grandes del área de dosel y diámetro del tallo en relación a aquellas de la misma especie crecidas en condiciones silvestres y al control. En las silvestres evaluadas, el PERMANOVA indicó que el área del dosel a los 120 DDS (Do120d), el número de frutos por planta (NTF) y el diámetro máximo del tallo (DMT) mostraron valores similares a la especie control. De igual forma, las poblaciones de cada especie mostraron semejanza entre sí.

Se identificó una diferencia entre ciclos de cultivo, debida principalmente a la respuesta variable de las poblaciones en el tiempo, que infiere un cambio en su comportamiento relacionado a cambios en los factores climáticos; mientras que, las especies no mostraron afecciones por efectos del ciclo de cultivo, denotando estabilidad a cambios en los factores ambientales. Por lo anterior, es posible el manejo agrícola de las tres especies silvestres como un cultivo común de hortaliza. El potencial de adaptación a las condiciones ambientales locales, excelente establecimiento y fácil manejo agrícola mostrado por las especies silvestres evaluadas en este estudio, justifican para ellas, la implementación de estudios sobre evaluación en diversos climas y condiciones para obtener un conocimiento más integral de su potencial como cultivo.

Cuadro 3.5. Códigos en la escala BBCH y periodos para las fases y subfases fenológicas de cuatro especies silvestres de *Physalis*

FASES		CODIFICACIÓN		ESPECIES / POBLACIONES / PERIODOS (DDS)*									
				<i>P. acutifolia</i>			<i>P. angulata</i>		<i>P. chenopodifolia</i>		<i>P. pubescens</i>		
PRINCIPALES	SECUNDARIAS (sub-fases)	2 DIGITOS	3 DIGITOS	AS	AL	AM	AC	CC	CI	CH	PM	PC	PZ
0. Germinación	Semillas secas	00	000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Inicio de imbibición de la semilla	00	001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Imbibición completa de la semilla	03	003	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Radícula emerge de la semilla	05	005	11	30	14	9	19	15	18	16	13	35
	Hipocotilo con cotiledones rompiendo la	07	007	12	31	15	10	20	16	19	17	14	37
	Emergencia: cotiledones sobresalen del	09	009	13	32	16	11	21	17	20	18	15	38
1. Desarrollo de hoja	Cotiledones completamente desplegados	10	100	15	33	17	12	22	18	21	19	17	40
	1° hoja verdadera desplegada, tallo principal	11	101	21	41	27	15	25	25	25	22	21	49
	2° hoja verdadera desplegada, tallo principal	12	102	28	48	35	22	35	32	33	29	28	57
	4° hoja verdadera desplegada, tallo principal	13	103	31	63	38	22	44	40	43	34	29	64
2. Formación de brotes	1° bifurcación, dos brotes apicales visibles	21	201	53	87	56	50	76	73	76	58	52	80
	2° bifurcación, dos brotes apicales visibles	22	202	55	89	58	53	78	75	79	60	54	83
5. Emergencia de inflorescencia	1° botón floral visible en la 1° bifurcación	51	501	53	87	56	50	76	73	76	58	52	80
6. Floración	Apertura 1° flor	61	601	63	97	63	55	82	79	83	65	61	86
	Apertura 2° flor	62	602	64	99	64	56	83	80	84	66	62	87
7. Desarrollo de frutos	1° fruto alcanza el tamaño y forma típicos	71	701	107	124	101	92	137	137	136	92	97	128
8. Maduración de frutos	10% de frutos muestran color madurez total	81	801	113	130	107	99	143	143	143	104	104	145
	50% de frutos muestran color madurez total	85	805	119	136	120	115	148	148	148	117	117	146
	80% de frutos muestran color madurez total	88	808	126	144	128	126	155	155	155	128	128	156
	Maduración total: los frutos tienen el color	89	809	137	155	139	137	162	162	162	139	139	167
9. Senescencia	Muerte de la planta	97	907	140	160	145	145	180	180	180	146	145	169
	Producto cosechado	99	909	138	156	140	138	163	162	163	140	140	168

*DDS= Días de duración después de la siembra. *P. acutifolia* : AS, AL y AM= Poblaciones de Santiago Ixcuintla, Lombardía y Mexicali. *P. angulata*: AC= Población de Cuquiú. *P. chenopodifolia*: CC, CI y CH= Poblaciones de Calpulualpan, Ixtenco y Huejotzingo. *P. pubescens*: PM, PC y PZ= Poblaciones de Maravatio, Cuquiú y Zapopan.

Cuadro 3.6. Porcentajes de variables químicas y bromatológicas del fruto para las especies evaluadas y referencias de solanáceas cultivadas. Datos extrapolados a un nivel de materia seca del 5.8 %

Especie	var.-raza	FCF ⁺	CF ⁺	PF ⁺	EEF ⁺	ELNF ⁺	pHF	SST-°Brix	Referencia
<i>P. acutifolia</i>	*	1.45	0.50	1.00	0.39	2.45	4.26	7.43	13
<i>P. chenopodifolia</i>	*	1.60	0.44	0.93	0.42	2.41	4.11	10.88	13
<i>P. pubescens</i>	<i>grisea</i>	1.12	0.35	0.52	0.19	3.62	*	10.20	13
	<i>pubescens</i>	1.38	0.35	0.28	0.28	3.07	4.8	7.48	13
<i>P. angulata</i>	*	1.74	0.45	0.96	0.23	2.42	4.22	8.50	13
<i>P. philadelphica</i>	Rendidora	*	0.46-0.50	0.73-0.90	*	2.68-3.31	3.90-4.01	*	10
	*	*	*	*	*	*	3.39-4.94	1.30-9.40	1
	*	*	*	*	*	*	4.10-4.56	5.10-9.20	6
	*	*	*	*	*	*	3.78-3.88	5.60-6.60	7
<i>P. pubescens</i>	<i>grisea</i>	*	*	1.02	*	*	3.60	7.50	3
<i>P. peruviana</i>	*	0.15	0.24	0.49	0.23	4.68	3.60	14.00	2
	*	0.11-1.34	0.19-0.28	0.08-0.52	0-0.14	3.02-5.39	3.39-3.67	13.73-14.30	11
	*	1.35	0.28	0.04-0.08	0.04-0.06	1.35	3.80-3.90	*	12
	*	*	*	*	*	*	4.10-4.90	11.60-13.50	9
	*	*	*	*	*	*	3.41-3.85	10.86-15.30	8
<i>S. lycopersicum</i>	N. Yorker	*	0.56	0.69-0.85	*	2.9-3.6	*	*	10
	*	0.65-0.98	*	0.65	0.20	2.22	*	*	4
	*	0.80	0.61	0.92	0.10	3.36	*	*	5

+Valor extrapolado con base en un nivel de materia seca del 5.8%. *No determinado. Referencias= 1: Arriaga *et al.* 2005, 2: Castro *et al.* 2008, 3: El Sheikha *et al.* 2010, 4: ETSIA 2014, 5: FAO 2006, 6: González *et al.* 2001, 7: Jiménez *et al.* 2012, 8: Madruga *et al.* 2009, 9: Novoa *et al.* 2006, 10: Ostrzycka *et al.* 1988, 11: Puente *et al.* 2011, 12: Ramadan 2011, 13: Datos del presente trabajo. Abreviaturas: FCF= Fibra cruda (%), CF= Cenizas (%), PF= Proteína total (%), EEF= Elementos etéreos (%), ELNF= Elementos libres de nitrógeno (%), pHF= Potencial del hidrógeno y SST= Sólidos solubles totales.

Potencial agronómico

Los análisis ACP y de agrupamiento con base en las variables agronómicas identificaron que, el 78% de las poblaciones de las tres especies silvestres presentan un potencial agronómico semejante a la especie control (Figuras 3.1 y 3.2), esto es, mostraron promedios altos para el número total de frutos por planta (NTF), porcentaje de germinación (%G), diámetro ecuatorial del fruto (DEF) y rendimiento (PHa) [Cuadro 3.3]. Para NTF y PHa las tres poblaciones de *P. chenopodifolia* (NTF= 1,023 a 1,176 y PHa= 16.276 a 20.547 t·ha⁻¹) y *P. acutifolia* de Santiago Ixcuintla AS (NTF= 874 y PHa= 20.819 t·ha⁻¹) fueron cercanas e incluso superiores en peso promedio del fruto (PPF= 1.71 g en AS), %G (88.5% a 96.5%, en las poblaciones AL, AM, CI, CH, PM y PC) y DEF (de 12.76 a 13.88 mm, en las poblaciones AS, AM, CC y PZ) a la especie control (1,339 frutos, 27.265 t·ha⁻¹, 1.64 g, 87.50%, 12.63 mm). El PERMANOVA indicó en relación a las seis variables agronómicas evaluadas

que, no existieron diferencias significativas entre las especies silvestres y el control, ni para las poblaciones entre sí, infiriendo un potencial agronómico similar entre ellas. Las diferencias identificadas entre los ciclos de cultivo pueden deberse a la interacción del ciclo sobre las poblaciones, donde se observó que estas últimas tuvieron en su mayoría, valores superiores en los seis parámetros atribuible a cambios en los factores climáticos entre los ciclos de cultivo (Cuadro 4). La interacción no significativa del ciclo de cultivo sobre las especies infirió que cada una de ellas tuvo un comportamiento similar en ambos ciclos, variando solamente los niveles para cada parámetro entre periodos de producción.

Las especies evaluadas presentaron un porcentaje de germinación similar al observado en *P. peruviana* de 77.8% en silvestres y 91.2% en cultivadas (Criollo e Ibarra 1990; Herrera *et al.* 2011); además, el número de frutos por planta fue similar al de uchuvas silvestres (NTF= 1,051). El rendimiento de las tres especies silvestres (12.584-20.819 t·ha⁻¹) fue equiparable al de 40 variedades de *P. philadelphica* (0.630-30.976 t·ha⁻¹) cultivadas en Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco (Santiaguillo *et al.* 1998). Por lo anterior, se considera que *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* son materiales promisorios con potencial agronómico y recomendables para su introducción a proyectos sobre selección y fitomejoramiento.

Desarrollo fenológico

El análisis de correlación a la duración de los periodos de las fases fenológicas permitió conocer que, las especies y poblaciones que mostraron periodos cortos desde la siembra de la semilla hasta las primeras fases fenológicas resultaron precoces para el desarrollo y maduración de los frutos, tanto en las especies anuales y la perene. Así, es probable pronosticar la precocidad en estas especies conociendo las primeras fases fenológicas.

Para la fenología de las tres especies silvestres, las fases principales cero (germinación) y uno (desarrollo de hojas) de acuerdo con el sistema de escala BBCH, resultaron similares a las de otras solanáceas como el jitomate (*S. lycopersicum* L.) y chile (*Capsicum* sp.) (Feller *et al.* 1995). Mientras que, las etapas dos a la ocho resultaron similares a la especie testigo y a *P. peruviana* (Ramírez *et al.* 2013). De esta manera, la etapa dos define el inicio de la primera bifurcación y el crecimiento simpodial subsecuente, marcando, el inicio de la floración y la generación de yemas axilares. Esto representó la transición del estadio vegetativo al reproductivo en las especies de *Physalis* como reportaron Ramírez *et al.* (2013) en uchuva. En la fase cinco (inducción de la floración) se observó en las tres especies silvestres que, la formación de botones florales a partir de la yema axilar fue de

forma sincrónica con la bifurcación del tallo, por lo cual, es posible que la inducción de la floración esté relacionada además con el crecimiento vegetativo; esta observación es concordante con los datos de Ramírez *et al.* (2013) en *P. peruviana*.

Las fases seis (desarrollo de la floración), siete (etapa de fructificación) y ocho (maduración) se desarrollaron de manera análoga y casi sincrónica. Así, el desarrollo y la maduración de los frutos se presentó en los tallos primarios y secundarios a la vez, lo que permitió tres cosechas en la especies anuales y cuatro cosechas en la perene *P. chenopodifolia* en un lapso de 15 a 30 días. La observación de la senectud y muerte de los órganos aéreos de las plantas al final del ciclo de cultivo en las especies silvestres analizadas, permite incluir la fase nueve de la escala BBCH; la ocurrencia de este proceso fisiológico fue reportado para *P. chenopodifolia* en el Valle de México (Mera 1987). De acuerdo con Ramírez *et al.* (2013) esta fase no es aplicable en *P. peruviana*, debido a que la parte aérea de las plantas se mantiene viva entre los ciclos de cultivo. Por ello, se distinguió un comportamiento diferencial en la última etapa del ciclo de cultivo entre las especies perenes *P. chenopodifolia* y *P. peruviana*.

Análisis químico-nutricional

Los niveles de los parámetros químicos y bromatológicos en frutos de *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* indicaron que fueron nutricionalmente semejantes a *P. angulata* y a otras solanáceas cultivadas como el tomate verde (*P. philadelphica*), la uchuva (*P. peruviana*) y el jitomate (*S. lycopersicum*) (Cuadro 6). Las tres especies silvestres mostraron niveles en dulzor (7.43-10.88°Brix), acidez (4.11-4.84), proteína (0.28-1.00%), lípidos (0.19-0.42%), fibra (1.12-1.60%), minerales (0.35-0.50%) y azúcares (2.41-3.62%), equiparables a los obtenidos en *P. angulata* (SST = 8.5°brix, pH = 4.22, PF = 0.96%, EEF = 0.23%, FCF = 1.74%, CF = 0.45% y ELNF= 2.42%, respectivamente) y los reportados para *P. philadelphica* (SST = 1.3-9.4°Brix, pH = 3.39-4.94, PF = 0.73-0.90%, CF = 0.46-0.50% y ELNF = 2.68-3.31%, Ostrzycka *et al.* 1988; Arriaga *et al.* 2005; González *et al.* 2011; Jiménez *et al.* 2012; SNICS-Sagarpa 2013).

Los valores reportados de *P. peruviana* para SST (10.86-15.30°Brix) y pH (3.39-4.90) fueron semejantes al de las silvestres evaluadas, pero inferior con respecto a PF (0.04-0.52%), FCF (0.11-1.35%) y EEF (0.00-0.23%) (Novoa *et al.* 2006; Castro *et al.* 2008; Madruga *et al.* 2009; Puente *et al.* 2011; Ramadan 2011). Para *S. lycopersicum*, los valores referidos de FCF (0.65-0.98%) y EEF (0.10-0.20%) fueron inferiores a los de las especies evaluadas, y en PF (0.65-0.92%) y ELNF (2.22-3.60%) mostraron semejanza al de las silvestres evaluadas (Ostrzycka *et al.* 1988; FAO 2006; ETSIA 2014).

La especie *P. chenopodifolia* para SST (10.88°Brix) fue superior a *P. acutifolia*, *P. pubescens*, *P. angulata* y *P. philadelphica* y similar a *P. peruviana* y frutales como el melón cantaloupe (11.5 a 13°Brix, Tapia *et al.* 2010). El dulzor de los frutos de *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* var. *grisea* (7.48°Brix) los hace ideales para su consumo en fresco, procesados como bebida de jugo (El Sheikha *et al.* 2010), en mermeladas y como fruta deshidratada. *S. lycopersicum* para EEF (0.10-0.20%) y FCF (0.65-0.98%) fue inferior y en ELNF (2.22-3.60%) y PF (0.65-0.92%) semejante a *P. chenopodifolia* (EEF= 0.42%, FCF= 1.60%, ELNF= 2.41% y PF= 0.93%). *P. acutifolia* fue superior en PF (1.00%) y similar en CF (0.50%) a *P. philadelphica* (PF= 0.73-0.90%, CF= 0.46-0.50%) y fue superior en PF, CF y EEF (0.39%) a *P. peruviana* (PF= 0.04-0.52%, CF= 0.19-0.28% y EEF= 0.00-0.23%). *P. pubescens* var. *grisea* en ELNF (3.62%) fue superior a *P. angulata* (2.42%), *P. philadelphica* (2.68-3.31%) y *S. lycopersicum* (2.22-3.60%), pero similar a *P. peruviana* (1.35-5.39%). Las tres especies silvestres mostraron una acidez de 4.11 a 4.84, semejante a la especie control (4.22), pero menor que *P. peruviana* (3.5-3.8), *P. philadelphica* (3.7-4.0), limón (2.4), piña (3.2) y naranja (3.6) (El Sheikha *et al.* 2010). Por lo anterior, *P. acutifolia* y *P. chenopodifolia* poseen frutos con niveles nutricionales en proteína, fibra, minerales, lípidos y azúcares equiparables a solanáceas cultivadas; *P. pubescens* con un nivel ligeramente inferior en los parámetros referidos, presenta sabor agradable al paladar por una menor acidez (4.84) y mayor dulzor (3.62%). Estos atributos pueden hacer a estas especies silvestres atractivas para el consumidor. Ello, permite posicionarlas como un recurso silvestre de excelentes propiedades alimenticias que puede contribuir al mejoramiento de la nutrición humana.

Conclusiones

Las tres especies silvestres mostraron una respuesta positiva al manejo agrícola, semejante al de especies de *Physalis* cultivadas como el tomate milpero (*P. angulata*), el tomate verde comercial (*P. philadelphica*) y la uchuva (*P. peruviana*), pero a diferencia de éstas, las silvestres pudieron ser trasplantadas directamente de la charola a suelo abierto, reduciendo esfuerzo y costo. La respuesta positiva de las especies evaluadas relacionada con el establecimiento en suelo abierto, adaptación a las condiciones ambientales de la zona de cultivo, el desarrollo estructural vigoroso, la tolerancia a fertilizantes e insecticidas, el desarrollo completo de las fases fenológicas típicas y el potencial agronómico que permitió un rendimiento similar a la especie control, puede ser de gran interés para genetistas, fitomejoradores y desarrolladores de proyectos productivos agrícolas e industriales. La documentación y codificación de la fenología consistió en ocho fases principales bajo el sistema BBCH y fue similar al de especies de *Physalis* cultivadas como *P. peruviana*, *P. philadelphica* y *P. angulata*; estos resultados son de importancia en la implementación de un mejor

manejo agrícola para estas especies. Los resultados de los análisis químico-bromatológicos en los frutos de las especies evaluadas apuntan que, los niveles observados de proteínas, minerales, fibra cruda, azúcares solubles y lípidos, las caracterizan como un alimento con calidad nutricional semejante a solanáceas cultivadas como *P. philadelphica*, *P. peruviana* y *S. lycopersicum*; en relación a los valores de acidez (pH) y dulzor (°Brix), *P. chenopodifolia* y *P. pubescens* resultaron con niveles más agradables al paladar que frutos de cítricos, la piña y el melón cantaloupe y semejantes en dulzor con menor acidez que los frutos de uchuva. Estos resultados las colocan como una fuente silvestre de nutrientes que puede favorecer la variedad y la calidad de la dieta humana en las regiones donde crecen de forma natural y como materia prima de interés para productores de alimentos de calidad industrializados. Los datos obtenidos en este estudio son de utilidad para: i) contribuir en un conocimiento más integral del género, ii) analizar la factibilidad de su monocultivo en las regiones donde se distribuyen y iii) su inclusión en programas de mejoramiento en vías del desarrollo de nuevos cultivos con fines comerciales.

Agradecimientos

Al CONACyT por la beca otorgada a LEVM para realizar estudios de maestría en el posgrado BIMARENA. A la SAGARPA-SINAREFI por el financiamiento otorgado a OVP. Agradecemos la asesoría de José Sánchez Martínez en el diseño experimental y establecimiento del cultivo; a Walter Zavala y Brenda Hernández A. como técnicos de campo; al laboratorio de análisis de nutrición y al Dr. Ramón Macías Rodríguez, por su apoyo para los análisis bromatológicos, todos ellos del CUCBA, U de G.

Referencias

- Anderson, M.J., R. N. Gorley y R.K. Clarke. 2008. PERMANOVA+ para PRIMER: Guía para el Programa y Métodos Estadísticos. PRIMER-E: Plymouth, U.K. Massey University. 264 p.
- Ávila, J., P. Moreno, G. Fischer, D. Miranda. 2006. Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18°C. Acta Agronómica 55: 29-37.
- Arriaga, M.C., J. Sánchez, L. Fregoso, H. Cuevas, C. Orozco, C. Hernández, D. Aguilar y M. Gómez.

2005. Determinación de la composición química de la semilla del tomate de cascara (*Physalis philadelphica* Lam., Solanaceae), de veinte localidades de Ixtlahuacan del Río y Cuquío. En: Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. U. de G. México. Pp. 14-24. En:
http://www.cucba.udg.mx/anterior/publicaciones1/avances/avances_2006/Agronomia/ArriagaRuizMaCruz/Arriaga_Ruiz_Ma.pdf. Acceso: Enero de 2014.
- Benz, B. F., F. J. Santana, M. R. Pineda, J. Cevallos, L. Robles, y D. de Níz. 1994. Characterization of Mestizo Plant Use in the Sierra de Manantlán, Jalisco–Colima, México. *Journal of Ethnobiology* 14: 23-41.
- Bharucha, Z. y J. Pretty. 2010. The roles and values of wild foods in agricultural systems. *Philosophical Transactions of The Royal Society Botanical Sciences* 365: 2913-2926.
- Boada, M., J.L. Mejía, N. Ceballos y F.J. Orozco. 2010. Evaluación agronómica de treinta introducciones de tomate silvestre tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía* 18: 59-67.
- Bye, R. y E. Linares. 2000. Los quelites, plantas comestibles de México: una reflexión sobre intercambio cultural. *CONABIO. Biodiversitas* 31: 11-14.
- Caballero, J., A. Casas, L. Cortés y C. Mapes. 1998. Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas en pueblos de México. *Estudios Atacameños* 16: 1-15.
- Casas, A., J.L. Viveros y J. Caballero. 1994. Entobotánica mixteca: sociedad, cultura y recursos naturales en la Montaña de Guerrero, México. Instituto Nacional Indigenista. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México. 336 p.
- Casas, A., M.C. Vázquez, J.L. Viveros y J. Caballero. 1996. Plant management among the Nahua and the Mixtec in the Balsas river basin, Mexico: An ethnobotanical approach to the study of plant domestication. *Human Ecology* 24: 455-478.
- Casas, A., A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet. 2007. In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100: 1101-1115.
- Castañón, G., L. Latournerie, J.M. Lester, E. de la Cruz, M. Mendoza. 2010. Identificación de variables para caracterizar morfológicamente colectas de chile (*Capsicum* spp) en Tabasco,

- México. Universidad y Ciencia, Tópico Húmedo 26: 225-234.
- Castro, A., L. Rodríguez y E. Vargas. 2008. Secado de uchuva (*Physalis peruviana* L.) por aire caliente con pretratamiento de osmodeshidratación. *Vitae* 15: 226-231.
- Colunga, P., R. Ruenes y D. Zizumbo. 2003. Domesticación de plantas en las tierras bajas mayas y recursos fitogenéticos disponibles en la actualidad. En: P. Colunga-GarcíaMarín y A. Larqué-Saavedra (eds.), *Naturaleza y Sociedad en el Área Maya: Pasado, Presente y Futuro*. Academia Mexicana de Ciencias-CICY. Pp. 145-158.
- Conesa, A., F.J. Manera, J. Martínez e I. Porras. 2013. Fenología floral del limonero "Verna". Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. *Actas de Horticultura* N° 60. XIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. *Fruticultura*. Pp. 434-437.
- Criollo, H. y V. Ibarra. 1990. Germinación de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes grados de madurez y tiempo de almacenamiento. *Acta Horticulturae* 310: 183-187.
- El Sheikha, A.F., M.S. Zaki, A.A. Bakr, M.M. El Habashy y D. Montet. 2010. Biochemical and sensory quality of *Physalis* (*Physalis pubescens* L.) juice. *Journal of Food Processing and Preservation* 34: 541-555.
- ETSIA. 2014. Fichas de plantas útiles: Tomate, Composición nutricional. En: <http://www1.etsia.upm.es/departamentos/botanica/fichasplantas/tomcomp.html>. Consulta: enero de 2014.
- FAO. 2006. Ficha técnica Tomate (*Lycopersicon esculentum*). Inpho, IICA y Prodar. En: http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/tomate.htm. Consulta: febrero de 2014.
- FAO. 2013. El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Boletín del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Departamento Central de Paraguay. FAO Paraguay. 31 p.
- Feller, C., Bleiholder, H., Buhr, L., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., Van den Boom, T., Weber, E. 1995. Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen: II. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte. *Nachrichtenbl. Deut Pflanzenschutz* 47: 217-232.
- Fischer, G. 2000. Crecimiento y desarrollo. pp. 9-26. En: Flórez, V.J., G. Fischer y A.D. Sora (eds.)

2000. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 175 p.
- Fischer, G. 2005. El problema del rajado del fruto y su posible control. pp. 55-82. En: Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 221 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A. México, Pp. 46-52.
- González, D., D. Ascencio-Martínez, A. Hau Poox, V. Mendez-Trujillo, O. Grimaldo-Juárez, J.F. Santiaguillo Hernández, L. Cervantes Díaz y S.M. Avilés Marín. 2011. Phenolic compounds and physiochemical analysis of *Physalis ixocarpa* genotypes. Scientific Research and Essays 6: 3808-3814.
- Graham, M.H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. Ecology 84: 2809–2815.
- Hassanien, M.F. 2011. *Physalis peruviana*: A Rich Source of Bioactive Phytochemicals for Funtional Foods and Pharmaceuticals. Food Reviews International 27: 259-273.
- Herrera, A., J. Ortiz, G. Fischer y M. Chacón. 2011. Behavior in yield and quality of 54 Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.) accessions from north-eastern Colombia. Agronomía Colombiana 29: 189-196.
- Jaenicke, H. and Höschle-Zeledon, I. (eds.). 2006. Strategic Framework for Underutilized Plant Species Research and Development, with Special Reference to Asia and the Pacific, and to Sub-Saharan Africa. International Centre for Underutilised Crops, Colombo, Sri Lanka and Global Facilitation Unit for Underutilized Species, Rome, Italy. 33 pp.
- Jedrszczyk, Elzbieta, A.M. Ambroszczyk, J. Kopcińska, B. Skowera y A. Sękara. 2012. Comparison of morphological characteristics of twelve cultivars of tomato determinate plants and their impact on yield and its structure. Vegetable Crops Research Bulletin 76: 89-97.
- Jiménez, E., V. Robledo, A. Benavides, F. Ramírez, H. Ramírez y E. de la Cruz. 2012. Calidad del fruto de genotipos tetraploides de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo 28: 153-161.

- Kindscher, K., Q. Long, S. Corbett, K. Bosnak, H. Loring, M. Cohen y B. Timmermann. 2012. The Ethnobotany and Ethnopharmacology of Wild Tomatillos, *Physalis longifolia* Nutt., and Related *Physalis* Species: A review. *Economic Botany* 66: 298-310.
- Lira, R., A. Casas, R. Rosas, M. Paredes, E. Pérez, S. Rangel, L. Solís, I. Torres y P. Dávila. 2009. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Economic Botany* 20: 1-17.
- López R., R. Arteaga, M.A. Vázquez, I. López e I. Sánchez. 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 15: 83-89.
- Madrugá, C., J. Severo, R. Manica, J. Silva, L. Rufato y A. De Rossi. 2009. Chemical Characteristics of Cape-Gooseberry fruits in different sepal colors and training systems. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal* 31: 1060-1068.
- Martínez y Díaz de Salas, M. 1998. Revisión de *Physalis* Sección Epeteiorhiza (Solanaceae). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, serie Botánica* 69:71-117.
- Martínez, M. y F. Hernández 1969. *Las Plantas Medicinales de México*. Botas, México. 656 p.
- Meier, U. 1997. *Growth Stages of Mono- and Dicotyledoneous Plants*. Blackwell Wissenschafts-Verlag Science, Berlin. 622 p.
- Mera, L.M. 1987. Estudio comparativo del proceso de cultivo de la arvense *Physalis chenopodifolia* Lamarck, y *Physalis philadelphica* var. *philadelphica* cultivar Rendidora. Tesis de Maestría. Chapingo, México. 115 p.
- Montes, S. y A. Aguirre. 1994. Etnobotánica del tomate mexicano (*Physalis philadelphica* Lam.). *Geografía Agrícola* 20: 163-172.
- Navarro, C., L.C. Bolaños y T.C. Lagos. 2010. Caracterización morfoagronómica y molecular de 19 genotipos de papa guata y chaucha (*Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz et Buk) cultivados en el departamento de Nariño. *Revista de Agronomía* 27: 27-39.
- Novoa, R., M. Bojacá, J. Galvis, & G. Fischer. 2006. La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana*

- L.). *Agronomía Colombiana* 24: 77–86.
- Ostrzycka, J., M. Horbowics, W. Dobrzanski, L. Jankiewicz y J. Borkowski. 1988. Nutritive value of tomatillo fruit (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 57: 507-521.
- Piva, A.L., E. Mezzalira, A. Santin, D. Sschwantes, J. Klein *et al.* 2013. Emergence and initial development of Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) seedlings with different substrate compositions. *African Journal of Agricultural Research* 8: 6579-6584.
- Puente, L., C. Pinto, E. Castro y M. Cortés. 2011. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International* 44: 1733-1740.
- Rajan, S., D. Tiwari, V.K. Singh, P. Saxena, S. Singh, Y.T.N. Reddy, K.K. Upreti, M.M. Burondkar, A. Bhagwan y R. Kennedy. 2011. Application of extended BBCH scale for phenological studies in mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Applied Horticulture* 13: 108-114.
- Ramadan, M. 2011. Bioactive phytochemicals nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): An overview. *Food Research International* 44: 1830-1836.
- Ramírez, F., G. Fischer, T.L. Davenport, J.C. Augusto y C. Ulrichs. 2013. Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) phenology according to the BBCH phenological scale. *Scientia Horticulturae* 162: 39-42.
- Rodríguez, F., A. Cupul, C. Galván, E. Ríos, M. Ortíz, E. Robles, E. López y J. Arias. 2011. Additive partitioning of reef fish diversity variation: a promising marine biodiversity management tool. *Biodiversity and Conservation* 20: 1655-1675.
- Sahagun, B. 1938. *Historia General de las cosas de la Nueva España*. Ed. Pedro Robredo. México, D.F. 396 p.
- Sánchez, J., J. Padilla, B. Bojorquez, M.C. Arriaga, R. Sandoval, E. Sánchez. 2006. Tomate de cáscara cultivado y silvestre del occidente de México. SAGARPA, SNICS, Universidad de Guadalajara, CUCBA. Prometeo editores, México. Pp. 75-79.
- Santiagoillo, F., A. Peña y D. Montalvo. 1998. Evaluación de variedades de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) en Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 4: 83-

- Santiaguillo, F., T. Cervantes y A. Peña. 2004. Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta X planta entre variedades de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 85-91.
- Santiaguillo, F. y S. Blas. 2009. Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Geografía Agrícola* 43: 81-86.
- SNICS-Sagarpa. 2013. Curiosidades del tomate de cáscara *P. ixocarpa*. En: <http://snics.sagarpa.gob.mx/prensa/boletines/Paginas/2013-B033.aspx>. Consulta: febrero 2013.
- Tapia, L.M., H.R. Ponce, A. Larios, I. Vidales y M.E. Pedraza. 2010. Manejo nutrimental en relación con la calidad de fruto y estado nutricional del melón cantaloupe. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 16: 49-55.
- Tardío, J., M. Molina, L. Aceituno, M. Pardo, R. Morales *et al.* 2011. *Montia fontana* L. (Portulacaceae), an interesting wild vegetable traditionally consumed in the Iberian Peninsula. *Genetic Resources and Crop Evolution* 58: 1105-1118.
- Torres, J., H. Vargas, G. Corredor y L.M. Reyes. 2000. Caracterización morfoagronómica de diecinueve cultivares de quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 17: 60-68.
- Vallejo, F.A., E.R. Osorio y T.A. Sierra. 2010. Caracterización y evaluación de recursos genéticos del género *Lycopersicon*. *Acta Agronómica* 44: 25-36.
- Vargas, O., M. Martínez y P. Dávila. 2003. La familia Solanaceae en Jalisco: El género *Physalis*. Colección Flora de Jalisco, No. 16. Colección Flora de Jalisco., Universidad de Guadalajara. México. 130 p.
- Vargas, O., L. Pérez, P. Zamora y A. Rodríguez. 2011. Assessing genetic diversity in mexican husk tomato species. *Plant Molecular Biology Reporter* 29: 733-738.
- Williams, D.E. 1993. *Lycianthes moziniana* (Solanaceae): An Underutilized Mexican Food Plant with "New" CropPotential. *Economic Botany* 47: 387-400.

- Yen, Ch., Ch. Chiu, F. Chang, J. Chen, Ch. Hwang *et al.* 2010. 4 β -Hydroxywithanolide E from *Physalis peruviana* (golden berry) inhibits growth of human lung cancer cells through DNA damage, apoptosis and G₂/M arrest. *Bio Medical Center Cancer* 10: 1-8.
- Zadoks J.C., T.T. Chang, F.C. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415–421.
- Zar, J.H. 2010. *Biostatistical Analysis*. Fifth edition. Prentice Hall/Pearson eds. 944 p.
- Zizumbo, D. & P. Colunga. 2010. Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57: 813-825.

CAPÍTULO 4.

Conclusiones generales y perspectivas

Las especies silvestres *Physalis acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*, presentan variabilidad morfo-agronómica inter e intra específica. Dieciocho descriptores son útiles para su caracterización, 11 de ellos permiten identificar la variación morfológica (CP, CF, CM, PPT, LH, LPec, DMH, NCC, DMT, Do90d, Do120d) y siete la discriminación agronómica (PG, P1°HV, TF, CS, PMCF, pHF, PHa).

En la identificación de caracteres apropiados para la discriminación entre especies y poblaciones, 11 descriptores de baja correlación (r): ocho morfológicos (CP, LH, DMH, LPec, CF, PPT, CM, NCC) y tres agronómicos (TF, CS, pHF), presentaron altos valores de repetitividad (R), heredabilidad (H) y calidad discriminante en los análisis multivariados.

La variabilidad agronómica evidenció que existen materiales con potencial agronómico para ser considerados en programas de fitomejoramiento. Con base en los atributos para rendimiento y precocidad (DEF, PPF, NTF, PHa, PG y PMCF), las accesiones más promisorias fueron: *P. acutifolia* de Mexicali (AM) y Santiago Ixcuintla (AS), *P. pubescens* de Cuquío (PC) y Maravatío (PM). *Physalis chenopodifolia* de Calpulualpan (CC), Huejotzingo (CH) e Ixtenco (CI) presentaron menor precocidad.

Las especies estudiadas tienen buena respuesta al manejo agronómico. En las tres se observó una excelente germinación en sustratos húmedos (> 80%). Fue posible establecerlas directamente en campo sin requerir la etapa intermedia de almácigos. Alcanzaron una adecuada producción de frutos y semillas, lo que permite el uso eficiente del germoplasma.

El desarrollo fenológico de las especies estudiadas, caracterizado con el sistema BBCH, presenta ocho fases principales similares a las de otras especies de *Physalis* cultivadas de hábito anual. Además, la perenne *P. chenopodifolia* difirió en una fase con *P. peruviana* quien comparte esta forma biológica, lo que contribuye al conocimiento del desarrollo fenológico del género.

La calidad nutricional de los frutos de las tres especies silvestres relacionada a proteínas, minerales, fibra cruda, azúcares solubles y lípidos resultó similar al de solanáceas cultivadas. En frutos de *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*, atributos organolépticos como acidez (pH) y dulzor (°Brix), permiten considerarlos de buena calidad palatable. Las especies silvestres por tanto son una fuente de nutrientes que favorece la variedad y la calidad alimenticia para las poblaciones humanas donde estas especies crecen de forma natural.

En conjunto, la facilidad de cultivo, el potencial agronómico y las cualidades nutritivas y organolépticas de los frutos en las tres especies silvestres de *Physalis* hacen de ellas un modelo de interés para productores, genetistas y fitomejoradores con el fin de desarrollar nuevos cultivos y para empresarios enfocados en la creación de productos industrializados innovadores. Este trabajo es un antecedente útil para replicar estudios similares en otras especies silvestres de *Physalis*, acción que deberá ser conducida para lograr un entendimiento morfo-agronómico integral del género y distinguir materiales promisorios para estudios de selección y fitomejoramiento.

Se requieren más estudios de caracterización en un número mayor de especies, ambientes y sistemas productivos, con el objeto de precisar aquellos caracteres (descriptores) más aptos en la discriminación intra e inter específica. Asimismo, sobre la fenología y el potencial agronómico y el nivel nutricional, para lograr un conocimiento más integral del género y con ello, mejorar el manejo agronómico y el aprovechamiento de este recurso.