

Caracterización de variedades cultivadas de *Capsicum pubescens* en Michoacán, México

Ana Karen Escalera-Ordaz¹
Héctor Guillén-Andrade^{2§}
Ma. Blanca Nieves Lara-Chávez²
Clemente Lemus-Flores¹
Javier German Rodríguez-Carpena¹
Roberto Valdivia-Bernal¹

¹Unidad Académica de Agricultura-Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México. CP. 63780. Tel. 5212112478. (ana.karen.escalera.ordaz@gmail.com; clemus23@gmail.com; germencillo@yahoo.com.mx; beto49_2000@yahoo.com.mx). ²Facultad de Agrobiología Presidente Juárez-Unidad de Investigaciones Avanzadas en Agrobiotecnología-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Gral. Lázaro Cárdenas y Berlín s/n, Col. Viveros, Uruapan, Michoacán, México. CP. 60170. Tel. 452 5236474. (chavez12001@yahoo.com.mx).

§Autor para correspondencia: hguillenandrade@gmail.com.

Resumen

El estado de Michoacán cuenta con zonas agroecológicas homogéneas diversas que favorecen la amplia diversidad de especies vegetales, donde se incluye el cultivo del chile, considerado como uno de los principales cultivos a nivel mundial. El cultivo de *C. pubescens* ha cobrado mayor importancia en los últimos años por el incremento en su producción. Esta especie, presenta amplia variabilidad genética aprovechable en programas de mejoramiento genético. Sin embargo, la variabilidad existente en el estado de Michoacán no ha sido suficientemente documentada, por lo que se desconoce del potencial genético que representa. En el presente trabajo se planteó la recolección y caracterización morfológica de variedades cultivadas de *C. pubescens* en distintas zonas agroecológicas con objetivo de evaluar la variabilidad morfológica y relacionarla con las diferentes condiciones agroecológicas existentes. La caracterización morfológica *in situ* se hizo con base en los descriptores propuestos por el IPGRI, AVRDC y CATIE y la UPOV, la evaluación incluyó 27 características de hoja, fruto y semilla. Los resultados obtenidos indican que existe una amplia variabilidad en las variedades cultivadas de *C. pubescens*. Asimismo, las características de fruto fueron identificadas como las de mayor importancia para discriminar las variedades con potencial para ser utilizadas, como parámetros de calidad, en programas de mejoramiento genético. Finalmente, no se identificó relación alguna entre la variabilidad morfológica de *C. pubescens* y los sitios de origen de las variedades cultivadas.

Palabras clave: chile perón, recursos genéticos.

Recibido: junio de 2019

Aceptado: agosto de 2019

Introducción

El cultivo del chile es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo (de la Cruz-Lázaro *et al.*, 2017). Es distinguido por la pungencia de sus frutos, causada principalmente por tres capsaicinoides: nordihidro-, dihidro- y capsaicina (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2010). Presenta amplia variabilidad de formas, colores, aromas, sabores y tamaños que constituyen una valiosa contribución de México a la cultura, alimentación y gastronomía del mundo desde épocas prehispánicas (Alonso *et al.*, 2012; Hernández-Verdugo, 2014; Pérez *et al.*, 2015), con gran relevancia en la cocina mexicana situándose como principal especia (Zegbe *et al.*, 2012).

El valor químico-alimenticio resulta importante por el contenido de compuestos antioxidantes valiosos en la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas (López-López *et al.*, 2015). Asimismo, se incrementa su valor económico en la industria de proceso y extracción de colorantes y oleorresinas (Arreguin *et al.*, 2015). En México, la producción de chile es de 1 276 123 t ha⁻¹, los principales estados productores son: Sinaloa, Sonora, Baja California Sur, Jalisco, San Luis Potosí, Veracruz, Tamaulipas, Guanajuato y Michoacán.

Este último, contribuye con una superficie sembrada de 448 ha de la superficie nacional y con un rendimiento de 11 095 t ha⁻¹ (SIAP, 2019). Sin embargo, una de las principales especies de chile cultivadas en los estados de Michoacán, Veracruz, Estado de México y Puebla es *C. pubescens* (Barrios-Puente *et al.*, 2014), con gran importancia en mercado nacional y el extranjero, ya que su producción se ha incrementado por los altos rendimientos obtenidos, calidad del fruto y alta rentabilidad, el precio fluctúa de \$10.00 a \$80.00 y está relacionado directamente con la temporada, el tamaño y color de fruto.

Por lo anterior, existe una demanda potencial en crecimiento por su consumo y producción (Espinosa-Torres y Ramírez-Abarca, 2016). Esta especie se caracteriza por ser principalmente de secano, donde los meses más significativos para su cosecha son de agosto a diciembre (Barrios-Puente *et al.*, 2014). En México, *C. pubescens* es conocido comúnmente como chile manzano, rocoto, canario o chile de cera y en el estado de Michoacán, es reconocido como chile perón (Espinosa-Torres y Ramírez-Abarca, 2016) y presenta amplia variabilidad genética aprovechable en programas de mejoramiento genético como resultado de la amplia diversidad de ambientes existentes (Bobadilla-Larios *et al.*, 2017).

En este estado, existen zonas agroecológicas homogéneas diversas, que en general son propicias para el desarrollo del cultivo del aguacate (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010) y algunas favorecen el desarrollo de chile perón, ya que se observa buena adaptación en zonas de sombra donde se mezcla el aire caliente con el viento frío, bajo los árboles de aguacate (SAGARPA, 2013).

No obstante, *C. pubescens* se conoce únicamente bajo cultivo y la falta de conocimiento sobre la diversidad y relaciones filogenéticas limitan su mejoramiento genético (Pérez *et al.*, 2015). En ese sentido, los recursos fitogenéticos relacionados, adquieren gran relevancia por el potencial genético que presentan y por ser la base para la obtención de variedades mejoradas (Moreno-Pérez *et al.*, 2011).

De acuerdo con lo anterior, surge la necesidad de conocer la distribución, variabilidad y genética de los materiales que conservan los productores en sus parcelas (Martínez-Sánchez *et al.*, 2010) para evitar la pérdida por erosión genética como consecuencia de desastres por factores adversos como los cambios demográficos, sequías, destrucción de áreas naturales, sustitución de variedades criollas, plagas y enfermedades, entre otras (CONABIO, 2011; Toledo-Aguilar *et al.*, 2016).

En este sentido, es necesario rescatar y caracterizar (IBPGR, 1983; UPOV, 2006) la diversidad genética cultivada con el propósito de generar información sobre la variabilidad de esta especie que prevalece en diferentes regiones y zonas agroecológicas del estado de Michoacán. Asimismo, es importante explorar alternativas que permitan conocer y conservar características de importancia para sentar las bases del mejoramiento genético de la especie.

En el presente trabajo de investigación se planteó la recolección de morfotipos de chile perón en distintas zonas agroecológicas del estado de Michoacán con la finalidad de evaluar la variabilidad morfológica existente, así como la identificación de características morfológicas de importancia para aprovecharse en programas de mejoramiento genético de la especie.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Recursos Fitogenéticos (LAREFI) de la Unidad de Investigaciones Avanzadas en Agrobiotecnología (UIIA) de la Facultad de Agrobiología 'Presidente Juárez', ubicada en la ciudad de Uruapan, Michoacán, México. La recolecta de germoplasma se llevó a cabo mediante recorridos de campo hechos a partir de febrero de 2016 hasta agosto de 2017, debido a la asociación de *C. pubescens* con el cultivo del aguacate, se hicieron principalmente en el área conocida como la franja aguacatera de Michoacán, localizada en la provincia fisiográfica del sistema volcánico transversal entre los paralelos 18° 45' y 20° 6' latitud norte y los meridianos 101° 47' y 103° 13' de longitud oeste, donde predominan diez zonas agroecológicas homogéneas (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010).

En total, fueron tomados al azar cinco frutos y cinco hojas de 31 variedades cultivadas. La caracterización de fruto, hoja y semilla se hizo con base a los descriptores morfológicos propuestos para *Capsicum* spp. (CATIE-IPGRI-AVRDC, 1995; UPOV, 2006). En total, fueron consideradas 27 variables, seis de hoja: color, forma, margen de la lámina foliar, pubescencia, longitud y ancho; 16 de fruto: volumen, presencia de manchas o rayas antocianinicas, color, forma, longitud, ancho, peso, longitud del pedicelo de fruto, espesor de la pared, forma del fruto en la unión con el pedicelo, cuello en la base del fruto, forma del ápice de fruto, apéndice en el fruto, arrugamiento transversal, número de lóculos y tipo de epidermis y cinco de semilla: color, textura, tamaño, peso y número de semillas por fruto.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cinco repeticiones. Para el análisis de variables cualitativas se proporcionaron datos de doble estado y multiestado a los cuales se les asignaron valores nominales con secuencia lógica y las variables cuantitativas fueron estandarizadas a números enteros con dos decimales a excepción del número de lóculos y número de semillas por fruto. Posteriormente, para determinar la existencia o no de diferencias estadísticas entre los caracteres evaluados, se practicó un análisis de varianza en una vía con el procedimiento Proc Anova y para evaluar diferencias estadísticas significativas entre variedades cultivadas, se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Con la finalidad de seleccionar las variables que aportaron mayor información para explicar la varianza total entre las variedades cultivadas, fueron seleccionadas 24 variables que presentaron diferencias estadísticas significativas, sobre ese listado se practicó un análisis discriminante de Stepwise (Romano y Wolf, 2005). Posteriormente, para eliminar las variables correlacionadas y evitar problemas de colineidad en las matrices se hizo un análisis de correlación múltiple (Pearson y Filon, 1898).

Para determinar la similitud entre las variedades cultivadas se hizo uso de herramientas de estadística multivariada como el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de conglomerados (AC) con el método de agrupamiento de Ward, con la prueba de pseudo F fue determinado el grado de confiabilidad de los grupos.

Para los análisis descritos se empleó el programa de cómputo SAS versión 9.2 (SAS, 2012). Finalmente, para determinar la posible relación de las características morfológicas con el origen de las variedades cultivadas, la información de georreferencia del origen de las variedades cultivadas fue transformada (FCC, 2018) para construir una matriz de distancias geográficas (DG), la cual fue correlacionada con la matriz de distancias euclidianas (DE) de características morfológicas, mediante la prueba de Mantel con el paquete estadístico Genalex (Peakall y Smouse, 2012).

Resultados y discusión

En cuatro zonas agroecológicas homogéneas (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010) de la franja aguacatera de Michoacán fue posible identificar chile perón, en total, 31 variedades cultivadas de chile perón con características morfológicas contrastantes. Las variedades cultivadas fueron ubicadas entre los 1 623 y 2 282 msnm, rangos de altura que coinciden con los reportados para el cultivo de esta especie (Yáñez *et al.*, 2015; Espinosa-Torres y Ramírez-Abarca, 2016; Caballero-Gutiérrez *et al.*, 2017).

El chile perón es identificado como una especie que posee variabilidad genética aprovechable en programas de mejoramiento genético (Arias *et al.*, 2017). En este estudio, las variedades cultivadas de chile perón mostraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha < 0.05$) para 20 variables. En el Cuadro 1, se presentan los estadísticos simples para cada una de las variables analizadas. Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos oscilaron de $R^2 = 0.29$ (textura de la semilla) a $R^2 = 0.82$ (longitud de fruto), indicando que los datos se ajustan al modelo utilizado para el análisis de la información, además, la mayoría de las variables presentó alta capacidad predictiva de la varianza.

Cuadro 1. Estadísticos simples para 27 variables evaluadas en 31 variedades cultivadas de *C. pubescens* procedentes del estado de Michoacán, México.

Variable	R^{2*}	CV ¹	DE ²	Media	Pr> F ³
Color de hoja	0.54	17.52	0.58	3.32	0.0001
Forma de hoja	0.51	20.05	0.52	2.58	0.0001
Margen de la lámina foliar	0.39	29.26	0.5	1.7	0.0001
Pubescencia de la hoja	0.49	16.82	0.39	2.29	0.0001
Longitud de hoja	0.72	15.96	2.23	13.96	0.0001

Variable	R ^{2*}	CV ¹	DE ²	Media	Pr> F ³
Ancho de hoja	0.64	17.85	0.91	5.08	0.0001
Volumen de fruto	0.75	20.55	9.12	44.39	0.0001
Manchas o rayas	0.37	91.68	0.44	0.48	0.0004
Color de fruto	0.73	27.95	1.09	3.9	0.0001
Forma de fruto	0.3	18.33	0.82	4.46	0.015
Longitud de fruto	0.82	8.81	4.58	52.01	0.0001
Ancho de fruto	0.81	9.25	4.66	50.34	0.0001
Peso de fruto	0.81	19.75	8.17	41.38	0.0001
Longitud de pedicelo	0.57	15.42	4.63	30.02	0.0001
Espesor de la pared	0.36	24.32	1.35	5.56	0.0005
Forma del fruto en la unión con el pedicelo	0.63	13.58	0.51	3.74	0.0001
Cuello en la base del fruto	0.56	61.27	0.36	0.59	0.0001
Forma del ápice de fruto	0.39	13.18	0.37	2.79	0.0001
Apéndice de fruto, vestigio de la floración	0.49	95.3	0.39	0.41	0.0001
Arrugamiento transversal	0.55	28.6	0.54	1.88	0.0001
Numero de lóculos	0.32	21.69	0.54	2.48	0.007
Tipo de epidermis	0.37	28.57	0.33	1.14	0.0004
Color de semilla	0.34	23.26	0.53	2.26	0.002
Textura de semilla	0.29	25.23	0.51	2.03	0.0207
Tamaño de semilla	0.4	27.49	0.5	1.81	0.0001
Peso de semilla por fruto	0.49	28.98	0.33	1.14	0.0001
Número de semillas	0.4	26.91	17.31	64.33	0.0001

*= coeficiente de determinación; ¹= coeficiente de variación; ²= desviación estándar; ³= probabilidad estadística de F.

La desviación estándar (DE) en la mayoría de las colectas fue baja, con excepción de las variables: peso de fruto (DE= 8.17), volumen de fruto (DE= 9.12) y número de semillas por fruto (DE= 17.31). Por otra parte, la variabilidad de las características evaluadas e interpretada mediante el coeficiente de variación (CV) mostró que los caracteres medidos presentan diferentes niveles de dispersión, los caracteres con la mayor variación entre colectas fueron: apéndice de fruto, vestigio de la floración (CV= 95.30) y presencia o ausencia de manchas o rayas antocianinicas (CV= 91.68), en contraste con la longitud (CV= 8.81) y ancho de fruto (CV= 9.25).

Resultados similares, se han obtenido al caracterizar poblaciones de *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense* y *C. frutescens* (Palacios y García, 2009). En este sentido, al analizar colectas de *C. annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense* se obtuvieron CV mayores al 25% para 75% de los descriptores evaluados (Villota-Ceron *et al.*, 2012), en colectas de *C. annuum* (timpinchile) se determinaron los mayores valores de CV para la longitud de tallo y diámetro de copa con un CV mayor al 50% (Alonso *et al.*, 2012).

La amplia variabilidad de caracteres morfológicos que presenta el género *Capsicum* se ha observado en distintos trabajos (Pardey *et al.*, 2009). Aunque diferentes especies pertenecientes al género *Capsicum* comparten rasgos en común, cada especie presenta características propias, de importancia en los procesos de selección (Palacios y García, 2009). Sin embargo, las variables evaluadas en fruto son principalmente consideradas para discriminar variabilidad genética aprovechable en programas de mejoramiento genético (Pardey *et al.*, 2006).

Por ejemplo, el espesor de pulpa, peso, longitud y volumen de fruto han sido reportadas como características de importancia en la explicación de la variación que existe dentro del género *Capsicum* (Medina *et al.*, 2006; Castañón-Najera *et al.*, 2008; Bozokalfa *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2017). Los resultados obtenidos del análisis discriminante stepwise, indican que las variables que no aportan información a la variabilidad existente entre las variedades cultivadas son el volumen de fruto y tipo de epidermis.

Adicionalmente, los resultados obtenidos del análisis discriminante stepwise, indicaron que las variables: volumen y espesor de la pared del fruto, no aportan información útil para explicar la variación existente entre las variedades cultivadas de chile manzano. Asimismo, al revisar los valores de correlación de Pearson, dichas variables presentaron alta correlación con el peso y ancho de fruto.

En el Cuadro 2, se presentan 27 correlaciones significativas ($r > 0.05$) identificadas entre las 27 variables evaluadas en hoja, frutos y semilla de chile manzano. De las 27 correlaciones, fueron identificadas cinco correlaciones con valores de $r \geq 0.8$, el peso de fruto con el volumen y ancho de fruto ($r = 0.9521$ y $r = 0.8383$, respectivamente), ancho de fruto, con volumen de fruto ($r = 0.8197$), número de semillas con el peso de semillas ($r = 0.8044$) y ancho de la hoja con longitud de hoja ($r = 0.7841$). 20 correlaciones con valor $r \leq 0.5$.

En contraste, fueron identificadas dos correlaciones con valor negativo, longitud de fruto con forma del ápice de fruto ($r = -0.3108$) y el color de fruto con el ancho de fruto ($r = -0.3114$). De igual forma, se han identificado variables con altos valores de correlación entre características de hoja y fruto en colectas del género *Capsicum* (Villota-Ceron *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Pearson identificados entre las variables evaluadas en 31 variedades cultivadas de *C. pubescens* del estado de Michoacán, México.

Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación	Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación
VF	PF	0.9521	LF	CBF	0.3871
ACHF	PF	0.8383	ACHF	FFUP	0.3811
VF	ACHF	0.8197	LF	ARRT	0.3765
PS	NS	0.8044	PF	EP	0.3739
LH	ACHH	0.7841	VF	FFUP	0.3732
PF	PS	0.4894	ACHF	EP	0.3528
LF	LH	0.4868	VF	EP	0.3503
VF	PS	0.4588	FAF	NS	0.3205

Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación	Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación
PF	NS	0.4473	NL	NS	0.3182
VF	NS	0.4146	NL	PS	0.3175
ACHF	PS	0.4128	LF	CH	0.3116
LF	LP	0.4097	LF	FAF	-0.3108
PF	FFUP	0.4091	CF	ACHF	-0.3114
ACHF	NS	0.3919			

Volumen de fruto (VOL); peso de fruto (PF); ancho de fruto (ACHF); peso de semillas (PS); longitud de hoja (LH); longitud de fruto (LF); forma del ápice del fruto (FAF); número de lóculos (NL); color de fruto (CF); número de semillas (NS); espesor de la pared (EP); forma del fruto en la unión con el pedicelo (FFUP); arrugamiento transversal (ARRT); ancho de hoja (ACHH); color de semilla (CS); color de hoja (CH); longitud de pedicelo (LP); y cuello en la base del fruto (CBF).

En híbridos de *C. pubescens* se demuestra la estrecha asociación de las variables altura de la planta, longitud y ancho de la hoja, además, se señala el efecto en el porte y vigor de la planta como en el tamaño del fruto (Arias *et al.*, 2017). El peso del fruto es una característica dominante, relacionada con el tamaño del fruto y el grosor de pericarpio; estas características son importantes por la demanda del consumidor ya que éste, se ve atraído por frutos grandes y vistosos, además los frutos con pericarpio más grueso resultan ser más resistentes en el manejo post-cosecha (Lannes *et al.*, 2007).

Sin embargo, la susceptibilidad a la pudrición de la fruta causada por *Phytophthora* fue correlacionada con el grosor del pericarpio; es decir, los chiles con pericarpio más grueso tienden a ser más susceptibles a *P. capsici* por esta razón, los frutos pequeños son considerados en los programas de mejoramiento genético por sus características de resistencia a insectos y enfermedades (Naegele *et al.*, 2016). Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales (CP) indicaron que la varianza total explicada, con los tres primeros componentes fue de solo 45.89%, mientras que con nueve se explica 80%.

Resultados similares se han obtenido en trabajos de caracterización morfológica *in situ* en el género *Capsicum*, ya que se ha observado que en este tipo de trabajos no se logra explicar más 80% de la varianza con los tres primeros componentes (Castañón-Najera *et al.*, 2008; Martínez-Sánchez *et al.*, 2010; Alonso *et al.*, 2012; Villota-Ceron *et al.*, 2012; de la Cruz-Lázaro *et al.*, 2017). Resultados similares en este tipo de trabajos en otras especies se han reportado (Medina-Torres *et al.*, 2015, 2016; Toledo-Aguilar *et al.*, 2016).

En la Figura 1, se muestra la distribución de 31 variedades cultivadas procedentes de cuatro zonas agroecológicas homogéneas en función de tres componentes principales. Al analizar los vectores propios con valores arriba de 0.3, se determina que el CP1 está en función de la presencia de cuello en la base del fruto (CBF), longitud de hoja (LH) y longitud de fruto (LF), el CP2 se determinó en función del peso de la semilla (PS), volumen de fruto (VOL), ancho (ACHF) y peso de fruto (PF), finalmente, el CP3 está en función del color de fruto (CF), arrugamiento transversal (ARRT), número de lóculos (NL) y color de semilla (CS).

Resultados similares se han reportado en otras en otras especies, por ejemplo, en *C. annuum* se indica 74% de la varianza total explicada con los primeros tres componentes principales (Martínez-Sánchez *et al.*, 2010) en función de días a la floración y fructificación, grosor de pericarpio, longitud y ancho de corola. Los rasgos de mayor contribución para explicar la variabilidad entre variedades cultivadas de distintas especies del género *Capsicum* son los relacionados con el fruto y la arquitectura de la planta (Castañon-Najera *et al.*, 2008; de la Cruz-Lázaro *et al.*, 2017), estos resultados coinciden con los obtenidos en la investigación, ya que también se ha identificado el ancho y longitud de hoja, forma, longitud, ancho y peso de fruto entre las características morfológicas que favorecen a la explicación de variabilidad entre colectas.

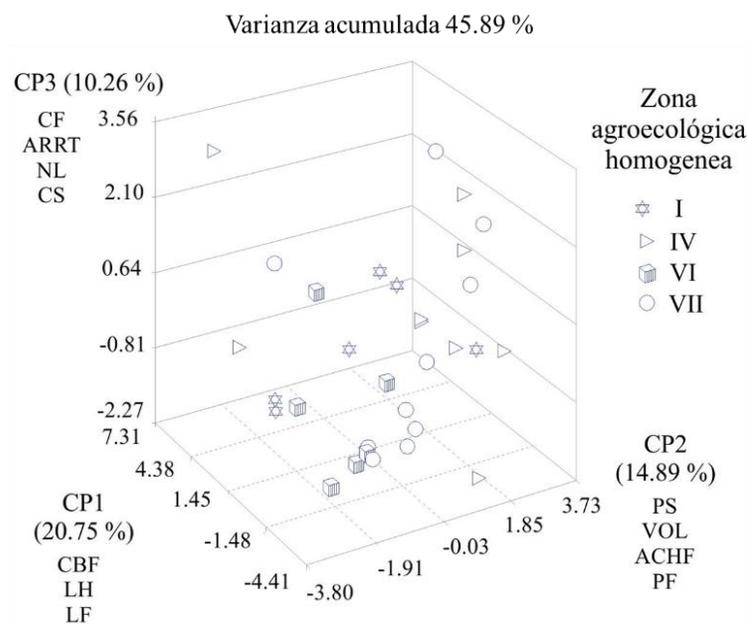


Figura 1. Dispersión de variedades cultivadas de chile perón procedentes de cuatro zonas agroecológicas homogéneas del estado de Michoacán; a través, de los primeros tres componentes. Variables asociadas al CP1= cuello en la base de fruto (CBF); longitud de hoja (LH) y fruto (LF); variables asociadas al CP2= peso de semilla (PS); volumen (VOL); ancho (ACHF) y peso de fruto (PF); variables asociadas al CP3= color de fruto (CF); arrugamiento transversal (ARRT); número de lóculos (NL); y color de semilla (CS).

En el dendograma generado del análisis clúster fueron identificados grupos de variedades cultivadas procedentes de la misma localidad, así como la asociación de variedades cultivadas por la zona agroecológica del sitio de procedencia (Figura 2). En el germoplasma recolectado existe una amplia variabilidad, estas diferencias pueden estar relacionadas con los sitios de procedencia. Se ha identificado que la temperatura y la cantidad de agua disponible durante el crecimiento y reproducción de las plantas son factores importantes para la diferenciación de las poblaciones de chile silvestre que crece en condiciones naturales (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012).

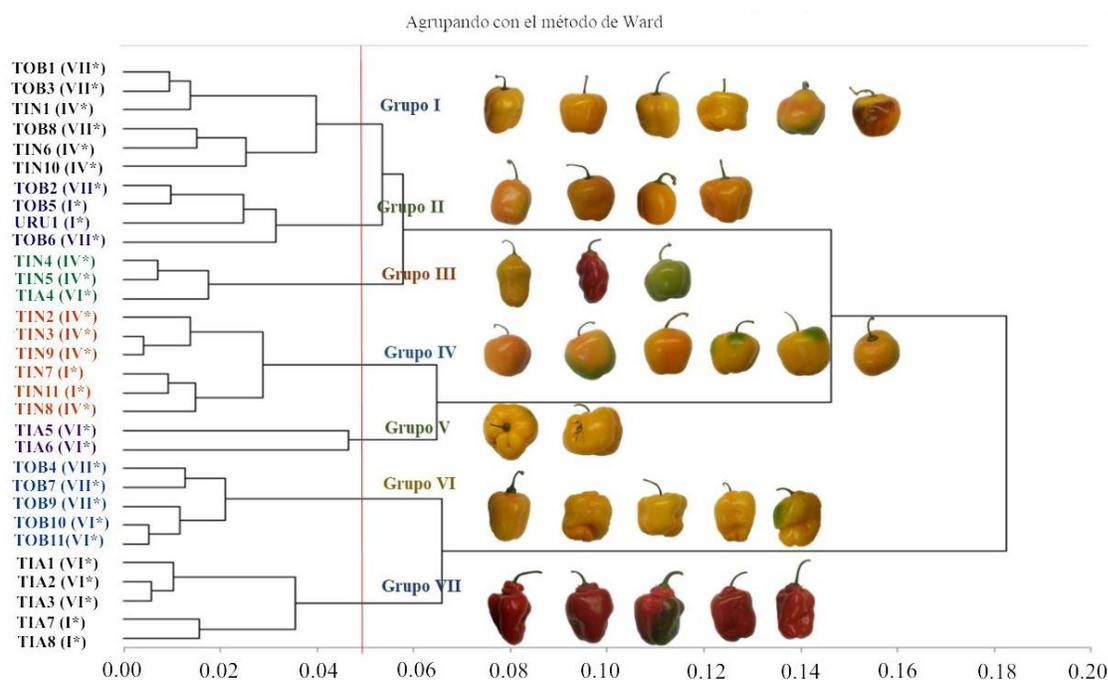


Figura 2. Agrupamientos de 31 variedades cultivadas de *C. pubescens* procedentes de cuatro zonas agroecológicas homogéneas* del estado de Michoacán; Toreo el bajo (TOB); Tingambato (TIN); Tiamba (TIA); Uruapan (URU).

En contraste, la agrupación de los materiales no muestra relación entre especies o ambientes de recolección (Villota-Ceron *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos sobre la variabilidad y su relación con el origen de las variedades cultivadas coinciden parcialmente con los indicados por los autores citados, en este trabajo, se determinó la existencia de grupos de variedades cultivadas claramente relacionadas con las zonas agroecológicas, aunque también se identificaron grupos sin ninguna relación aparente por su sitio de procedencia. Los resultados obtenidos en este estudio corroboran que la variabilidad existente en *C. pubescens* se explica principalmente con características evaluadas en los frutos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción de grupos de variedades cultivadas de *C. pubescens* con base en nueve variables que aportan la mayor información para explicar la varianza total existente.

G ¹	MOR ²	CF ³	FF ⁴	AF ⁵ (mm)	PF ⁶ (g)	FFUP ⁷	CBF ⁸	ATF ⁹	NS ¹⁰
1	presente	amarillo a naranja	acampanulado y acampanulado en bloque	46-48	34-42	truncado, cordado y lobulado	presente y ausente	levemente corrugado a intermedio	50-79
2	presente y ausente	naranja	acampanulado y acampanulado en bloque	35-46	21-33	truncado	ausente	levemente corrugado	46-73
3	ausente	amarillo naranja y rojo	casi redondo, elongado y acampanulado en bloque	36-54	21-43	cordado	presente	levemente corrugado	45-61

G ¹	MOR ²	CF ³	FF ⁴	AF ⁵ (mm)	PF ⁶ (g)	FFUP ⁷	CBF ⁸	ATF ⁹	NS ¹⁰
4	ausente	amarillo a naranja	casi redondo	51-61	42-62	lobulado	ausente	levemente corrugado	60-78
5	presente y ausente	amarillo	acampanulado en bloque	63-77	60-100	lobulado	ausente	intermedio a muy corrugado	88-100
6	presente	amarillo a naranja	acampanulado y acampanulado en bloque	45-65	34-43	truncado y cordado	presente	intermedio a muy corrugado	56-73
7	presente y ausente	rojo	triangular y acampanulado	40-49	25-45	cordado	presente	intermedio a muy corrugado	52-78

¹= grupo; ²= manchas o rayas antocianinicas; ³= color de fruto; ⁴= ancho de fruto; ⁵= peso de fruto; ⁶= forma del fruto en la unión con el pedicelo; ⁷= cuello en la base del fruto; ⁸= arrugamiento transversal; ⁹= número de semillas por fruto.

Finalmente, los resultados obtenidos de la prueba de Mantel indican que no hubo correlaciones significativas entre el origen de las variedades cultivadas y las características morfológicas evaluadas (Figura 3); no obstante, los datos utilizados para correlacionar la variabilidad con el origen son: latitud norte y longitud oeste, sin tomar en cuenta las características agroecológicas los sitios de origen. Por lo tanto, la variabilidad identificada entre las variedades cultivadas de *C. pubescens* no está directamente relacionada con la ubicación geográfica, pero puede estar influenciada por las zonas agroecológicas homogéneas de procedencia.

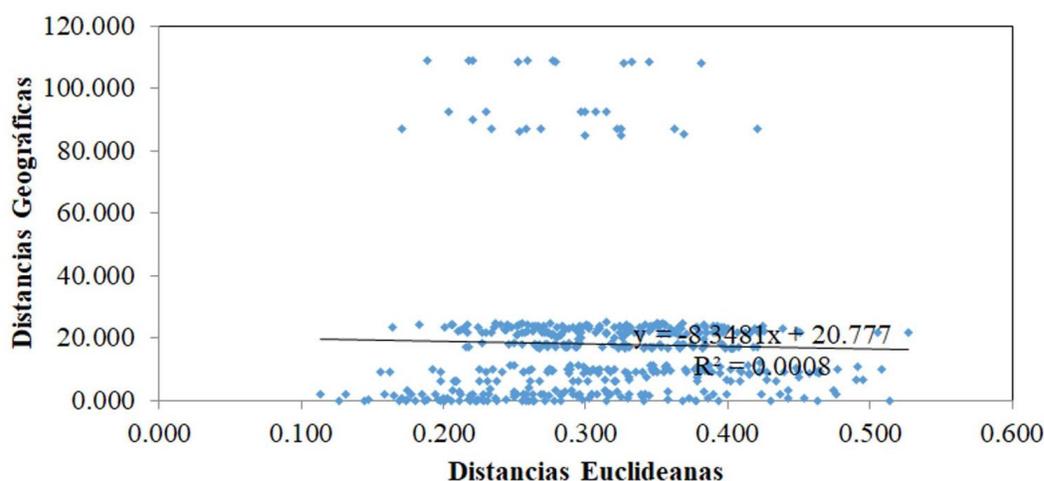


Figura 3. Prueba de mantel, correlación lineal entre distribución de 31 variedades cultivadas de *C. pubescens* con base en distancias euclidianas generadas por las características morfológicas y distribución geográfica de acuerdo a las coordenadas geográficas de origen.

En especies del género *Capsicum*, la variabilidad dentro y entre especies no necesariamente está relacionada con las zonas de origen (Bobadilla-Larios *et al.*, 2017). Por lo tanto, la agrupación de las variedades cultivadas en el presente estudio puede estar influenciada por el flujo génico ya que la aparición de nuevas formas, nuevos genotipos o híbridos se debe principalmente al intercambio de germoplasma entre agricultores (Pérez *et al.*, 2015).

Conclusiones

Las variedades cultivadas de chile perón procedentes cuatro zonas agroecológicas homogéneas del estado de Michoacán presentaron amplia variabilidad morfológica en tejido foliar, fruto y semilla. Las características evaluadas en el fruto destacaron como las variables de mayor importancia para explicar la variación total identificada, además, de que estas características pueden ser utilizadas como parámetros de calidad de fruto de chile perón.

Por otra parte, no se logró establecer alguna relación entre la variabilidad morfológica y los sitios de origen de las variedades cultivadas de chile perón evaluadas. No obstante, no se descarta la idea de que las características morfológicas estén influenciadas por las zonas agroecológicas del sitio de origen y por el flujo génico debido al intercambio de germoplasma entre agricultores.

Agradecimientos

A la CIC-UMSNH, UIAA-Facultad de Agrobiología-UMSNH por el financiamiento del proyecto y apoyo con las instalaciones para la ejecución de las actividades de investigación. Al programa institucional de doctorado en ciencias agrícolas de la Universidad Autónoma de Nayarit y al CONACYT por la beca otorgada para los estudios de doctorado.

Literatura citada

- Alonso, B. R. A.; Zambrano, C. B.; Quiroga, M. R.; Rosales, E. M. A.; y Ponce, D. P. 2012. Caracterización morfológica y molecular de la variabilidad genética del timpinchile (*Capsicum annum* L. var. *Glabriusculum* sin. *Aviculare*) en Chiapas. *Rev. Quehacer Científico en Chiapas*. 1(13):4-18.
- Arias, B. A.; Carranza, J. M.; Estrada, I. M.; Rubí, M. y Vázquez, L. M. 2017. Caracterización morfológica de híbridos de chile manzano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8(4):825-836.
- Arreguin, J.; Bautista, S.; Pérez, M. C. I. y Ramos, M. 2015. Extracción en proceso continuo de oleorresinas de chile seco (*Capsicum annum* spp.) a nivel laboratorio. *Rev. Cienc. Nat. Agrop.* 2(2):200-203.
- Barrios-Puente, G.; Espinosa-Torres, L. E.; Figueroa-Hernández, E. y Ramírez-Abarca, O. 2014. Evaluación técnica, financiera y comercial de los sistemas de producción de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. Y P.) en México. *Análisis Económico*. 29(71):209-219.
- Bobadilla-Larios, V.; Esparza-Ibarra, E.; Delgadillo-Ruiz, L.; Gallegos-Flores, P. y Ayala-Lujan, J. L. 2017. Variedades de chile (*Capsicum annum* L.) identificadas mediante marcadores RAPD. *Trop. Subtrop. Agroecos.* 20(3):465-473.
- Bozokalfa, M. K.; Esiyok, D. and Turhan, K. 2009. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of pepper (*Capsicum annum* L.) from Turkey. *Spanish J. Agric. Res.* 7(1):83-95.
- Caballero-Gutiérrez, L. B.; Cardozo-Márquez, J. C. y Rojano, B. A. 2017. Effect of the freeze - drying on the functional properties rocoto chilipeper (*Capsicum pubescens*). *Rev. UDCA. Actualidad Divulgación Científica*. 20(1):111-119.
- Castañon-Najera, G.; Latournerie-Moreno, L.; Mendoza-Elos, M.; Vargas-López, A. y Cárdenas-Morales, H. 2008. Colección y caracterización de Chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Rev. Inter. Bot. Exp.* 77(1):189-202.

- CATIE-IPGRI-AVRDC. 1995. Descriptores para *Capsicum* (*Capsicum* spp.). Italy, Taiwan y Costa Rica. 110 p.
- CONABIO. 2011. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. La Biodiversidad en Puebla: estudio de Estado. México. Gobierno del estado de Puebla-BUAP. (Eds.). Primera edición. 440 p.
- de la Cruz-Lázaro, E.; Márquez-Quiroz, C.; Osorio-Osorio, R.; Preciado-Rangel, P. y Márquez-Hernández, C. 2017. Caracterización morfológica in situ de chile silvestre pico de paloma (*Capsicum frutescens* L.) en Tabasco, Mexico. *Acta Universitaria*. 27(2):10-16.
- Espinosa-Torres, L. E. y Ramírez-Abarca, O. 2016. Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. Y P.) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(2):325-335.
- FCC. 2018. Degrees minutes seconds to/from decimal degrees. Federal Communications Commission. <https://www.fcc.gov/media/radio/dms-decimal>.
- Gutiérrez-Contreras, M.; Lara-Chávez, B. N.; Guillén-Andrade, H. y Chávez-Bárceñas, A. T. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*. 9(35):647-653.
- Hernández-Verdugo, S.; Porras, F.; Pacheco -Olvera, A.; López-España, R. G.; Villarreal-Romero, M.; Parra-Terraza, S. y Osuna-Enciso, T. 2012. Caracterización y variación ecográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annum* var. *Glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*. 33(1):175-191.
- Hernández-Verdugo, S. 2014. Importancia del chile silvestre (*Capsicum annum*) como recurso genético de México. *Mensaje Bioquímico*. 41(XLI):289-304.
- IBPGR. 1983. Crop genetic resources centre plant production and protection división Food and Agriculture Organization of the United Nations Via delle Terme di Caracalla. Rome, Italy. Italy. ISBN 92-9043-108-3. 451p.
- Lannes, S. D.; Finger, F. L.; Schuelter, A. R. and Casali, V. W. D. 2007. Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. *Sci. Hortic.* 112(3):266-270.
- López-López, Á.; Espinoza-Santana, S.; Ceceña-Duran, C.; Ruiz-Alvarado, C.; Núñez-Ramírez, F. y Araiza-Zúñiga, D. 2015. Biosíntesis, acumulación y efecto del ambiente sobre compuestos antioxidantes del fruto del cultivo del chile (*Capsicum* spp.). *Rev. Cienc. Biol. Salud*. 17(2):50-57.
- Martínez-Sánchez, D.; Pérez-Grajales, M.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Del, E. y Moreno-Pérez, C. 2010. Colecta y caracterización morfológica de chile de agua (*Capsicum annum* L.) en Oaxaca, México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(3):169-176.
- Medina, C. I.; Lobo, M. y Farley, G. A. 2006. Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimientón de la colección colombiana del género *Capsicum*. *Rev. Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 7(2):25-39.
- Medina-Torres, R.; Juárez-López, P.; Salazar-García, S.; López-Guzmán, G. G.; Ibarra-Sanchez, L. S.; Arrieta-Ramos, B. G. y Martínez-Moreno, E. 2015. Evaluación de calidad en frutos de 41 genotipos de nanche (*Byrsonima crassifolia* L. HBK) de Nayarit , México. *Revista Mex. Cienc. Agríc.* 16(2):253-264.
- Medina-Torres, R.; Salazar-García, S.; Ibarra-Estrada, M. E. y López-Guzmán, G. G. 2016. Descriptores morfológicos de hoja y fruto de selecciones comerciales de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) HBK) en Nayarit, México. *Rev. Bio Ciencias*. 3(4):269-285.
- Moreno-Pérez, del C. E.; Avendaño-Arrazate, C. H.; Mora-Aguilar, R.; Cadena-Iñiguez, J.; Heber Aguilar-Rincón, V. y Aguirre-Medina, J. F. 2011. Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annum* L.) del Centro-Norte de México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17(1):23-30.

- Naegele, R. P.; Mitchell, J. and Hausbeck, M. K. 2016. Genetic diversity, population structure, and heritability of fruit traits in *Capsicum annuum*. PLoS ONE. 11(7):1-17.
- Palacios Castro, S. y García Dávila, M. A. 2009. Caracterización morfológica de 93 accesiones de *Capsicum* spp del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombiana Sede Palmira. Acta Agron. 57(4):247-252.
- Pardey, C. R.; Agr, I.; García, D. M. A. y Vallejo, C. F. A. 2006. Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* de banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Acta Agron. 55(3):1-10.
- Pardey, R. C.; García, D. M. A. y Vallejo, C. F. A. 2009. Evaluación agronómica de accesiones de *Capsicum* del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Acta Agron. 58(1):23-28.
- Peakall, R. and Smouse, P. E. 2012. GenALEX 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. Bioinformatics. 28(19):2537-2539.
- Pearson, K. and Filon, L. N. G. 1898. VII. Mathematical contributions of the theory of evolution. IV. On the probable errors of the frequency constants and correlation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A. 191:229-311. Doi: 10.1098/rsta.1898.0007.
- Pérez, L.; Castañon, G.; Ramírez, M. y Mayek, N. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 2(4):117-128.
- Romano, J. P. and Wolf, M. 2005. Stepwise multiple testing as formalized data snooping. Econometrica. 73(4):1237-1282.
- Sánchez-Sánchez, H.; González-Hernández, V. A.; Cruz-Pérez, A. B.; Pérez-Grajales, M.; Gutiérrez-Espinosa, M. A.; Gardeja-Bejar, A. A. y Gómez-Lim, M. A. 2010. Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*C. pubescens* R. y P.). Agrociencia. 44(6):655-665.
- SAS Institute Inc. 2012. Introduction to bayesian analysis procedures. In: SAS/STAT 9.2 User's Guide, Ch. 7. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 141-179 pp.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México. <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola.siap.gobmx/AvanceNacionalCultivo.do>.
- Singh, P.; Jain, P. K. and Sharma, A. 2017. Genetic variability, heritability and genetic advance in chilli (*Capsicum annuum* L.) genotypes. Inter. J. Current Microbiol. Appl. Sci. 6(9):2704-2709.
- Toledo-Aguilar, R.; López-Sánchez, H.; López, P. A.; Rodríguez, J. D. D. G. y Santacruz, A. 2016. Diversidad morfológica de poblaciones nativas de chile poblano. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7(5):1005-1015.
- UPOV. 2006. International union for the protection of new varieties of plants. Sweet pepper, hot pepper, paprika, chili. <https://doi.org/10.1147/sj.414.0732>.
- Villota-Ceron, D.; Bonilla-Betancourt, M. L.; Carmen-Carrillo, H.; Jaramillo-Vázquez, J. y García-Davila, M. A. 2012. Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el banco de germoplasma activo de Corpoica C.I. Palmira, Colombia. Acta Agron. 61(1):16-26.
- Yáñez, P.; Balseca, D.; Rivadeneira, L. y Larenas, C. 2015. Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *Capsicum* cultivadas en Ecuador. La Granja. 22(2):12-32.
- Zegbe, D. J. A.; Valdez, C. R. D. y Lara, H. A. 2012. Reseña de libro. Cultivo de chile en México. Rev. Fitotec. Méx. 35(4):264-264.