



## DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE CHILE APAXTLECO NATIVO DE GUERRERO, MÉXICO †

### [MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF APAXTLECO CHILLI PEPPER NATIVE OF GUERRERO, MEXICO]

Silvia Quirino-Huacuautili<sup>1</sup>, César Omar Montoya-García<sup>2</sup>,  
César del Ángel Hernández-Galeno<sup>3</sup>, David H. Noriega-Cantú<sup>3</sup>,  
Teolincacihuatl Romero-Rosales<sup>1</sup>, Antonio Hernández-Polito<sup>1</sup>,  
Elías Hernández-Castro<sup>1</sup> and Rocío Toledo-Aguilar<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Periférico Poniente s/n, Colonia Villa Guadalupe, Iguala, Guerrero, México, C.P. 40010. Email: [silvia.quirino.17@gmail.com](mailto:silvia.quirino.17@gmail.com), [teolinc@hotmail.com](mailto:teolinc@hotmail.com), [antherpor@uagro.mx](mailto:antherpor@uagro.mx), [ehernandez@uagro.mx](mailto:ehernandez@uagro.mx)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Horticultura. Km. 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México, CP 56230. Email: [montoya-garcia@outlook.com](mailto:montoya-garcia@outlook.com)

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental Iguala. Km 2.5 Carr. Iguala – Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. CP 40,000. Email: [hernandez.cesar@inifap.gob.mx](mailto:hernandez.cesar@inifap.gob.mx), [noriega.david@inifap.gob.mx](mailto:noriega.david@inifap.gob.mx), [toledo.rocio@inifap.gob.mx](mailto:toledo.rocio@inifap.gob.mx)

\* Corresponding author

#### SUMMARY

**Background.** Mexico has a great diversity of chili peppers, especially in *C. annum* L., which includes local morphotypes that have been little studied. Apaxtleco chili pepper is only found in Guerrero State, Mexico, and it is important in Apaxtla region due to economic resources it generates, and because it is used in preparation of typical mole in this region; however, its morphological diversity has not been described and this visualizes the state of this plant genetic resource to define use and conservation strategies. **Objective.** To analyze and describe morphological diversity of a group of Apaxtleco chili pepper populations, identify characteristics that most support its diversity and establish similarity relationship between the populations studied. **Methodology.** Twenty-four populations of apaxtleco chili pepper collected from Apaxtla de Castrejón, Guerrero were evaluated under randomized complete block experimental design, with four replications. The evaluation was carried out under greenhouse conditions at Tuxpan Unit of Autonomous University of Guerrero. Sowing was carried out in July 2020 in polyethylene pots with 16 L capacity. Fifty-nine morphological variables from IPGRI descriptors for *Capsicum* were recorded, and variance, discriminant, principal components (CP) and conglomerated analysis were performed by SAS V9.3 software. **Results.** Statistical significant differences were found in 72.9 % of variables registered and seventeen were selected by its contribution to variation according discriminant analysis, which were mostly fruits characteristics. In CP, with the first six, 76 % of total morphological variation was explained; length fruit and pedicel, width seed, weight fruit per plant, color of fruit at intermediate stage, number fruits per plant, width fruit, fruit and seed texture, filament color, number seeds per fruit and shape fruit appendage had greater contribution to total morphological diversity and were useful to differentiate populations under study. As well, four groups of apaxtleco chili pepper with different fruit, vegetative and flower characteristics were identified, however, it was possible to group them by shape and texture of fruits. **Implications.** Contribute to description of diversity of local populations of apaxtleco chili, native to Guerrero, Mexico, and that allows the establishment of use and conservation mechanisms for food security. **Conclusion.** Morphological diversity of native apaxtleco chili of Guerrero is presented mainly in fruit characteristics and lesser degree in vegetative

† Submitted September 1, 2022 – Accepted December 13, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4531>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = S. Quirino-Huacuautili: <https://orcid.org/0000-0002-0957-0881>; C.O. Montoya-García: <https://orcid.org/0000-0002-7176-074X>; C.Á. Hernández-Galeno: <https://orcid.org/0000-0001-5403-0246>; D.H. Noriega-Cantú: <https://orcid.org/0000-0002-8215-4104>; T. Romero-Rosales: <https://orcid.org/0000-0002-9158-8481>; A. Hernández-Polito: <https://orcid.org/0000-0002-0522-7779>; E. Hernández-Castro: <https://orcid.org/0000-0001-6573-6236>; R. Toledo-Aguilar: <https://orcid.org/0000-0002-9007-602X>

and seed traits, which were useful to explain greater total variation in this local chili. The shape and texture fruits were important characteristics in grouping.

**Key words:** *C. annuum* L.; local variety; plant genetic resources.

## RESUMEN

**Antecedentes.** México tiene una gran diversidad de chiles, sobre todo de la especie *C. annuum* L., que incluye a los morfotipos locales que han sido poco estudiados. El chile apaxtleco únicamente se encuentra en el Estado de Guerrero, y es importante en la región de Apaxtla por los recursos económicos que genera y porque se emplea en la preparación de mole típico en esta región; sin embargo, su diversidad morfológica no ha sido descrita y que ello visualice el estado que guarda este recurso fitogenético para definir estrategias de uso y conservación. **Objetivo.** Analizar y describir la diversidad morfológica de un grupo de poblaciones de chile apaxtleco, identificar las características que apoyan mayormente su diversidad y establecer relaciones de similitud entre las poblaciones estudiadas. **Metodología.** Se evaluaron 24 poblaciones de chile apaxtleco colectadas en Apaxtla de Castrejón, Guerrero, en un diseño experimental en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La evaluación se realizó en condiciones de invernadero en la Unidad Tuxpan de la Universidad Autónoma de Guerrero. La siembra se realizó en julio de 2020 en macetas de polietileno con capacidad de 16 L. Se registraron 59 variables morfológicas del manual de descriptores para *Capsicum* del IPGRI, y se realizó análisis de varianza, análisis discriminante, de componentes principales (CP) y conglomerados mediante el programa SAS V9.3. **Resultados.** En los análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticamente significativas en 72.9 % de las variables, y se seleccionaron 17 variables con mayor aporte a la variación de acuerdo con el análisis discriminante, que fueron mayormente características de los frutos. En CP, con los primeros seis se explicó 76 % de la variación morfológica total, las variables longitud del fruto y pedicelo, ancho de la semilla, peso de fruto por planta, color del fruto en estado intermedio, número de frutos por planta, ancho del fruto, tipo de epidermis del fruto, textura de la semilla, color del filamento, número de semillas por fruto y forma del apéndice del fruto tuvieron mayor aporte a la diversidad morfológica total y fueron útiles para diferenciar a las poblaciones en estudio. En el agrupamiento se identificaron cuatro grupos de chile apaxtleco con características en fruto, vegetativas y de flor distintas, sin embargo, fue posible agruparlos por la forma y textura de los frutos. **Implicaciones.** Contribuir en la descripción de la diversidad de poblaciones locales del chile apaxtleco nativo de Guerrero, México, y que ello permita establecer mecanismos de uso y conservación para la seguridad alimentaria. **Conclusiones.** La diversidad morfológica de chile apaxtleco nativo de Guerrero se presenta mayormente en características de fruto y en menor grado en variables vegetativas y semillas, mismas que fueron de utilidad para explicar la mayor variación total en este chile local. La forma y textura de los chiles fueron características de importancia en la agrupación.

**Palabras clave:** *C. annuum* L.; variedad local; recursos fitogenéticos.

## INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* spp. se conforma por más de 35 especies que han sido identificadas desde el Sur de Estados Unidos hasta América del Sur (Carrizo *et al.*, 2016; Barboza *et al.*, 2019; Khoury *et al.*, 2020), y muestran variación en la forma, color y tamaño de los frutos, color de las semillas y pétalos (Carrizo *et al.*, 2016; Pickersgill, 2016), e incluso en la intensidad o ausencia de picor (Luna-Ruíz *et al.*, 2018; Castillo-Aguilar *et al.*, 2021). Para este género, se han reportados cinco especies domesticadas: *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens* (Bosland y Votava, 2012; Pickersgill, 2016); sin embargo, *C. annuum* L. es la de mayor importancia económica y distribución en el mundo (Hernández-Pérez *et al.*, 2020).

*C. annuum*, cuyo centro de domesticación y diversidad genética es México (Kraft *et al.*, 2014; Hayano-Kanashiro *et al.*, 2016; Pickersgill, 2016), tiene más de 50 morfotipos cultivados (*C. annuum* var. *annuum*) en este país (Aguilar *et al.*, 2010; CONABIO, 2016; Jardón, 2017), con importancia económica, nutricional, cultural y culinaria (Aguilar-Meléndez *et*

*al.*, 2018; Martínez-Avalos *et al.*, 2018). La diversificación detectada en los chiles corresponde a la selección humana realizada después de la domesticación, variación ambiental y cultural (usos) que ha dado como resultado una enorme variabilidad dentro de esta especie (Carrizo *et al.*, 2016; Pickersgill, 2016; Jardón, 2017; Hernández-Pérez *et al.*, 2020), lo que es apreciado en la alimentación y cocina nacional y mundial. En *C. annuum*, los chiles son cultivados para su consumo en fresco, seco y en productos procesados (Aguilar *et al.*, 2010; Aguilar-Meléndez *et al.*, 2018).

Dentro de esta especie se encuentran diversas variedades locales que se cultivan en pequeñas parcelas o traspatios, que están adaptadas a condiciones de producción diversas, y tienen hábitos de crecimiento, usos y propiedades diferenciadas (Jardón, 2017). Aunque Guerrero no se distingue por la producción de chiles, ya que aporta menos del 2 % a la producción nacional (SIAP-SADER, 2022), existen variedades locales de importancia económica y culinaria en las Regiones Norte y Montaña del Estado, que propician el comercio y generan ingresos

económicos a las familias rurales en ambas regiones, por la venta de chiles nativos frescos y secos.

El chile apaxtleco se cultiva en la región de Apaxtla de Castrejón, ubicado en la zona Norte del Estado de Guerrero; y se ha mantenido a través de generaciones mediante selección que realizan los productores para favorecer características como tamaño, forma, color, sabor y olor del fruto (Vázquez-Casarrubias *et al.*, 2011). Generalmente se distinguen tres tipos: anchos chinos (rugoso), anchos lisos y carricillos, que tienen la característica de ser delgados y de epidermis lisa (Aguilar *et al.*, 2010). La mayor parte de la producción de este chile se destina a la venta en seco, en circuitos cortos de comercialización para la preparación de pasta de mole.

La diversidad morfológica en chiles ha sido descrita en variedades locales, en algunas de ellas son más evidentes los cambios por el síndrome de domesticación, como aumento en el tamaño del fruto, persistencia del pedicelo con el fruto, persistencia de las semillas en el fruto y ciclo de vida (Meyer *et al.*, 2012). También se informó que la mayor variación se detectó en características de frutos, principalmente en peso y color de chiles poblanos (Toledo-Aguilar *et al.*, 2016); tamaño, forma, color y número de frutos/planta en chiles guajillos locales (Moreno-Ramírez *et al.*, 2019) y ancho, peso y forma del fruto en chiles de Tabasco (Narez-Jiménez *et al.*, 2014). Incluso, mediante descriptores morfológicos se han diferenciado especies de *C. annuum* y *C. frutescens*, a través de características de flores y frutos (Olatunji y Afolayan, 2019).

Los estudios de diversidad morfológica en chiles locales son pocos, considerando la gama de morfotipos que existen en el país. Describir la diversidad morfológica representa un área de oportunidad para mejorar caracteres de interés agronómico, conocer el estado que guardan las poblaciones, para planificar acciones de conservación, uso y mejoramiento genético en chiles locales (Kadri *et al.*, 2009). Por ello, el objetivo fue analizar y describir la diversidad morfológica de un grupo de poblaciones de chile apaxtleco e identificar las características que apoyan mayormente su diversidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y establecimiento del experimento

Se evaluaron 24 poblaciones de chile apaxtleco, colectadas en 2018 con productores cooperantes, en la cabecera municipal de Apaxtla de Castrejón, Guerrero. El experimento se estableció bajo condiciones de invernadero en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales del Estado de Guerrero, unidad Tuxpan. La siembra se realizó en julio de 2020 en bolsas de

polietileno negro, con capacidad de 16 L, como sustrato se utilizó Lama, Tezontle rojo y Tierra de monte (2:1:1); se colocaron dos semillas por maceta y se realizó un ajuste para dejar una planta por maceta.

Se realizó fertilización edáfica en tres etapas: vegetativa (80-100-50, a 24 dds), floración (70-00-50, a 52 dds) y en el primer corte (70-00-50, a 90 dds). Se utilizó como fuentes fosfato diamónico  $[(NH_4)_2HPO_4]$ , urea  $[CO(NH_2)_2]$  y cloruro de potasio (KCl). Además, se realizaron aplicaciones foliares con Green Force® a dosis de 100 mL/20 L, esta aplicación se realizó cada 7 días, durante dos meses. Adicionalmente, se aplicó Boramin Ca en drench (100 mL/19 L) en la etapa de producción.

### Diseño y unidad experimental

Las 24 poblaciones de chile se evaluaron bajo un diseño experimental en bloques completos al azar, con 4 repeticiones por población y un total de 96 parcelas experimentales. Cada parcela experimental se constituyó por ocho plantas, con una planta por maceta. Las macetas se acomodaron a 30 cm entre macetas, en hileras dobles separadas a 1 m entre ellas. El registro de las variables morfológicas se realizó en cinco plantas por cada parcela experimental.

### Variables registradas

Se registraron 59 variables morfológicas y agronómicas del manual de descriptores para *Capsicum* (IPGRI *et al.*, 1995, Biodiversity International) en las etapas vegetativa, de floración, fructificación inmadura y madura. Las variables cualitativas fueron codificadas de manera numérica, de acuerdo con el manual, para el análisis estadístico.

### Análisis estadístico

Se obtuvo la prueba del supuesto de normalidad con Kolmogórov-Smirnov para las variables. Se realizó análisis de varianza para las variables cuantitativas, con excepción de número de lóculos y número de flores por axila porque los datos no siguieron la distribución normal. En las variables cualitativas y las dos cuantitativas mencionadas se obtuvo la prueba de Proc Rank, equivalente a Kruskal-Wallis, y se realizó análisis de varianza con los rangos para identificar diferencias entre poblaciones. Se obtuvo el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1964; Karkee *et al.*, 2021). Posteriormente, se realizó un análisis discriminante Stepwise, para obtener las variables con mayor aporte a la variación morfológica total; con el conjunto de variables obtenidas, se realizó el análisis de componentes principales y agrupamientos. Con este último, se obtuvo la matriz de distancia con el método de Gower (Gower, 1971) y se

realizó el dendrograma con el método de agrupamiento por pares de grupos con media aritmética no ponderada (UPGMA, por sus siglas en inglés). Los análisis se realizaron en el programa SAS V9.4 (SAS Institute, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Descripción de la diversidad morfológica

Se encontraron diferencias significativas en 72.9 % de las características morfológicas analizadas, lo que refleja variación entre las poblaciones locales de Chile apaxtleco analizadas. En variables cuantitativas no se observaron diferencias estadísticas significativas para ancho de la planta, días a floración, número de flores por axila, espesor de la pared del fruto y número de lóculos (Tabla 1); y en variables cualitativas, color y forma del tallo, hábito de crecimiento, densidad de ramificación, densidad de hojas, margen y constricción anular del cáliz, manchas antocianínicas en el fruto verde, cuello en la base del fruto y color de las semillas, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones (Tabla 2).

Por lo contrario, las variables que mostraron mayor índice de diversidad fueron: intensidad de la coloración antocianínica en los nudos de la planta, color del fruto en estado maduro, forma del fruto tanto en la unión con el pedicelo, como en la punta y arrugamiento transversal del fruto; en estas variables se observaron más estados para cada una de ellas. Particularmente, en la coloración del fruto se distinguieron cinco tipos que van del naranja oscuro a marrón, lo que está determinado por compuestos carotenoides, clorofilas y flavonoides (Hayano-Kanashiro *et al.*, 2016), estas coloraciones detectadas son reflejo del uso de estos chiles, que pueden emplearse para la elaboración de mole típico de la región y adobos. Alvares *et al.* (2020) coinciden en que el color del fruto maduro y la forma del fruto son características que presentan mayor diversidad, en su estudio estas variables presentaron el mayor número de clases en chiles (*C. chinense*) de Brasil. Karkee *et al.* (2021) indican que las características con mayor índice de diversidad tienen una relación con la preferencia del consumidor como color, forma y superficie del fruto.

Los productores que utilizan semillas nativas o criollas, incluido el Chile apaxtleco, año tras año realizan selección de la semilla que sembrarán en el ciclo posterior, mismas que se siembran en condiciones climáticas y de suelo diversas, lo anterior, aunado al tipo de reproducción de esta especie, ha permitido encontrar amplia diversidad en estos chiles. Aunque, algunos estudios indican que en cada evento de selección se disminuye la diversidad con relación a su ancestro común (González-Jara *et al.*, 2011; Gepts, 2014; Jardón, 2017), cada productor determina los

criterios de selección, los cultivos se producen en polinización libre, y las mutaciones de acuerdo con las condiciones climáticas y cambiantes van generando una nueva diversidad inherente a cada variedad local. Razón por la cual, la especie *C. annuum* tiene un variado número de morfotipos donde también intervienen aspectos culturales y sociales, particularmente los usos de esta hortaliza (Jardón, 2017; Aguilar y Rodríguez, 2018), por ello, se pueden encontrar desde los muy picosos hasta los que no tienen picor (Carrizo *et al.*, 2016; Hernández-Pérez *et al.*, 2020; Castillo-Aguilar *et al.*, 2021), formas alargadas, triangulares, redondas (Moreno-Pérez *et al.*, 2011; Toledo-Aguilar *et al.*, 2016), intensidad del color variada (Berry *et al.*, 2019), entre otras características. Luna-Ruiz *et al.* (2018) indican que los diferentes chiles locales cultivados y consumidos en Mesoamérica muestran una asombrosa gama de variación morfológica en la arquitectura de la planta, color y forma del fruto, lo cual también se observó en el Chile local de este estudio (Tabla 1 y 2). Castillo-Aguilar *et al.* (2021) indican que los agricultores son responsables de preservar y generar la diversidad genética de chiles de Yucatán, lo que ocurre también con la gran variedad de chiles locales preservados por los agricultores de México.

Con relación al color de la corola blanca, que es una característica uniforme en *C. annuum*, se detectaron algunas flores ligeramente amarillas y blanco-verdoso, así como manchas antocianínicas en el exterior de la corola. Además del filamento blanco, también se observó en tonalidades moradas en pocas poblaciones, lo que es menos común para *C. annuum* (Carrizo *et al.*, 2016). En persistencia del pedicelo con el fruto, reflejo del síndrome de domesticación en chiles, aquellos donde se separa el pedicelo fácilmente del fruto, es una característica de chiles no domesticados para facilitar su dispersión por las aves (Luna-Ruiz, 2018; Barchenger y Bosland, 2019); en especies domesticadas de chiles, incluido el Chile apaxtleco, esta característica se ha encaminado a los frutos puedan permanecer en la planta hasta su cosecha, son características seleccionadas en el ámbito agrícola que se quedan fijas en el genoma del cultivo (Meyer *et al.*, 2012).

### Relación entre las poblaciones locales

Con el análisis discriminante stepwise se obtuvieron 17 variables para determinar relaciones entre las poblaciones de Chile apaxtleco y gestionar la clasificación entre grupos; la mayoría de las variables tuvieron relación con los frutos en comparación con variables de estructuras vegetativas y florales, las cuales fueron: manchas antocianínicas en los nudos de la planta, longitud del tallo, macollamiento, color del filamento, peso y número de frutos por planta, color del fruto en estado intermedio, longitud y ancho del

**Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza y con rangos (Kruskall-Wallis), y estadísticos descriptivos de variables cuantitativas, en la caracterización de poblaciones locales de chile apaxtleco, 2020.**

Factor de variación	Intervalo	Media	CM	CV (%)
Altura de la planta (cm)	26.0 - 107.0	55.4	299.75 **	22.7
Ancho de la planta (cm)	15.0 - 92.0	38.4	172.30 ns	30.4
Longitud del tallo (cm)	9.0 - 53.8	29.1	91.75 ***	21.8
Diámetro de tallo (mm)	5.0 - 12.5	7.3	4.97 *	23.3
Longitud de la hoja madura (cm)	4.7 - 10.5	9.2	17.77 ***	21.7
Ancho de la hoja madura (cm)	1.9 - 8.7	3.9	3.06 ***	24.6
Número de fruto planta	2.0 - 35.0	7.5	76.32 ***	54.3
Peso fresco de frutos por planta (g)	10.5 - 135.4	20.5	892.41 ***	86.9
Peso seco de frutos por planta (g)	7.8 - 49.9	11.1	84.21 ***	54.0
Días a floración	46 - 73	55.0	26.51 ns	9.2
Número de flores por axila <sup>†</sup>	1 - 2	1.0	0.01 ns	10.5
Ancho de la corola (mm)	10.80 - 27.36	21.7	74.01 ***	14.0
Longitud de la corola (mm)	8.36 - 23.31	12.5	14.63 ***	13.1
Longitud de la antera (cm)	1.67 - 5.20	2.63	0.58 ***	14.2
Longitud del filamento (mm)	2.26 - 7.12	4.32	2.63 ***	17.6
Días a fructificación	52 - 91	68.0	98.15 *	10.6
Longitud del fruto (mm)	45.25 - 123.1	52.0	2222.81 ***	29.2
Ancho de fruto (mm)	10.74 - 40.31	31.0	221.78 ***	18.9
Longitud del pedicelo del fruto (mm)	16.62 - 57.61	27.0	292.73 ***	24.0
Espesor de la pared del fruto (mm)	0.76 - 3.82	2	0.40 ns	29.2
Número de lóculos <sup>†</sup>	2 - 4	2	0.20 ns	17.8
Longitud de la placenta (mm)	8.73 - 43.4	17.2	48.68 ***	57.0
Ancho de la semilla (mm)	2.88 - 5.46	4.2	1.51 ***	9.3
Número de semilla por fruto	2 - 163	31	1337.88 ***	75.1
Peso de 100 semillas (g)	5.0 - 11.0	7.5	2.12 **	13.2

<sup>†</sup>Análisis con Proc Rank (Kruskall-Wallis) y ANOVA con Proc GLM. CV: coeficiente de variación, ns: diferencias estadísticas no significativas, \*, \*\*, \*\*\*: diferencias estadísticamente significativas al 95.0, 99.0 y 99.9 % de probabilidad.

**Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza con rangos (Kruskal-Wallis), estadísticos descriptivos y de diversidad de variables cualitativas, en la caracterización de poblaciones locales de chile apaxtleco, 2020.**

Factor de variación	CM	CV (%)	Estados y porcentajes	H'
Color del tallo	93.59 ns	15.71	Verde (97.3), verde con rayas púrpura (2.7) <sup>†</sup>	0.124
Antocianinas en los nudos de la planta	2821.36 ***	51.55	Verde (37.7), morado claro (29.2), morado (33.1)	1.093
Forma del tallo	739.89 ns	47.73	Cilíndrico (64.4), angular (32.5), achatado (3.1)	0.757
Pubescencia del tallo	880.90 **	33.09	Escasa (86.5), intermedia (13.1), densa (0.4)	0.415
Hábito de crecimiento	692.83 ns	43.49	Postrada (2.1), intermedia (74.0), erecta (23.9)	0.646
Densidad de ramificación	1098.19 ns	48.35	Escasa (8.1), intermedia (62.3), densa (29.6)	0.859
Macollamiento	1696.93 *	51.15	Escaso (39.6), intermedio (47.1), denso (13.3)	0.990
Densidad de hojas	1245.63 ns	50.72	Escasa (6.9), intermedia (48.5), densa (44.6)	0.895

Factor de variación	CM	CV (%)	Estados y porcentajes	H'
Color de la hoja	1360.08 **	44.42	Verde claro (3.1), verde (69.2) verde oscuro (27.7)	0.719
Forma de la hoja	1579.49 **	47.44	Deltoide (0.6), oval (41.5), lanceolada (57.9)	0.713
Margen de la lámina foliar	20.54 ns	7.79	Entera (99.4), ondulada (0.6)	0.038
Posición de la flor	8985.50 ***	43.22	Pendiente (25.7), intermedia (72.5), erecta (1.8)	0.654
Color de la corola	2163.38 **	27.20	Blanco (91.5), ligeramente amarilla (2.6), blanco-verdoso (5.9)	0.344
Color externo de la mancha de la corola	2006.90 ***	21.39	Nulo (94.8), verde-amarillento (2.2) morado (3.0)	0.218
Forma de la corola	6174.78 ***	42.79	Redonda (74.4) acampanulada (25.6)	0.569
Color del filamento	18995.80 ***	30.67	Blanco (85.5), morado claro (7.0), morado (7.5)	0.514
Exserción del estigma	513.67 **	12.96	Inserto (1.0), al mismo nivel (0.8), exserto (98.2)	0.101
Pigmentación antocianínica del cáliz	171.52 *	8.38	Ausente (99.3), presente (0.7)	0.043
Margen del cáliz	1355.87 ns	29.47	Intermedio (9.7), dentado (90.3)	0.318
Constricción anular del cáliz	28.70 ns	4.55	Ausente (99.8), presente (0.2)	0.015
Manchas antocianínicas en fruto verde	52.17 ns	6.40	Ausente (99.6), presente (0.4)	0.027
Color de fruto estado intermedio	18220.57 ***	47.61	Verde claro (18.7), verde (56.0), verde oscuro (25.3)	0.986
Cuajado de fruto	3253.04 ***	13.83	Intermedio (2.7), alto (97.3)	0.124
Color de fruto en estado maduro	16807.29 ***	50.02	Naranja (6.0), rojo claro (5.4), rojo (29.2), rojo oscuro (53.5), marrón (5.9)	1.189
Forma del fruto	16770.13 ***	47.49	Elongado (24.6), triangular (61.5), acampanulado (1.7), acampanulado y en bloque (12.2)	0.968
Forma del fruto en la unión con el pedicelo	21302.27 ***	49.62	Agudo (0.7), obtuso (43.3), truncado (43.8), cordado (11.3), lobulado (0.9)	1.006
Cuello en la base del fruto	656.74 ns	18.57	Ausente (96.4), presente (3.6)	0.157
Forma del ápice del fruto	20947.11 ***	50.72	Puntudo (28.2), romo (43.4), hundido (25.4), hundido y puntudo (3.0)	1.173
Apéndice del fruto	8003.48 ***	46.92	Ausente (64.2), presente (35.8)	0.652
Arrugamiento transversal del fruto	23234.91 ***	50.35	Levemente corrugado (44.3), intermedio (27.7), muy corrugado (28.0)	1.073
Tipo de epidermis del fruto	16407.32 ***	47.95	Lisa (58.3), semirrugosa (34.5), rugosa (7.2)	0.871
Persistencia del pedicelo con el fruto maduro	7557.42 **	52.15	No persistente (20.0), Persistente (80.0)	0.722
Color de la semilla	672.39 ns	17.51	Amarillo claro (96.8), amarillo oscuro (3.2)	0.143
Textura de la semilla	18573.30 ***	48.43	Lisa (47.6), áspera (47.3), rugosa (5.1)	0.859

<sup>†</sup>Número en paréntesis expresado en porcentaje. CM: cuadrados medios, CV: coeficiente de variación, H': índice de diversidad de Shannon-Weaver, ns: diferencias estadísticas no significativas, \*, \*\*, \*\*\*: diferencias estadísticamente significativas al 95.0, 99.0 y 99.9 % de probabilidad.

fruto, longitud del pedicelo, forma del ápice del fruto, arrugamiento transversal y textura del fruto, apéndice del fruto, número de semillas por fruto, textura y ancho de la semilla. Con estas variables se establecieron las relaciones y agrupaciones entre las poblaciones de Chile apaxtleco.

En componentes principales (CP), con los primeros seis se explicó 76.5 % de la variación total y se

eligieron con autovalor mayor a 1. El CP 1 explicó 22.5 % de la variación total, y las variables con mayor contribución fueron longitud del fruto y pedicelo, y ancho de las semillas. El CP 2 aportó 14.9 % de la variación total, y peso fresco del fruto por planta y color del fruto en estado intermedio intervinieron mayormente. El CP 3 con 13.5 %, las variables número de frutos por planta y ancho del fruto fueron las de mayor aporte. El CP 4 con 11.9 % de variación total,

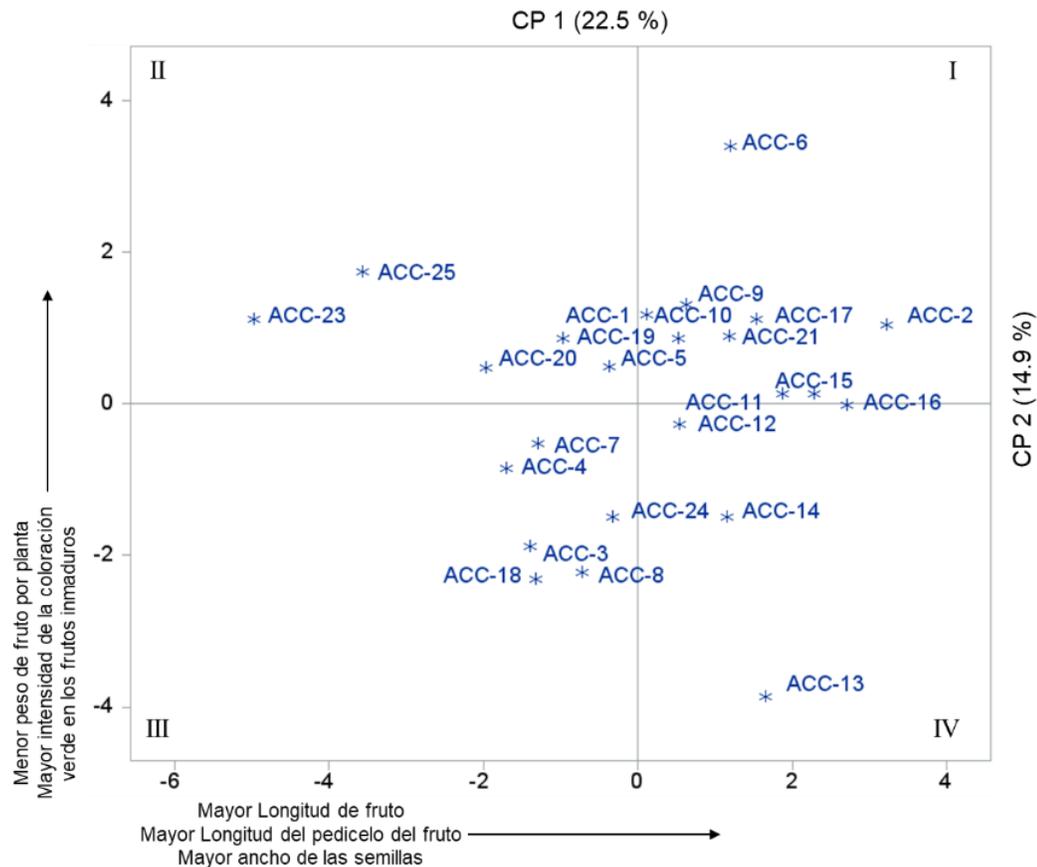
conformada por tipo de epidermis del fruto y textura de la semilla. El CP 5 con 6.9 % de variación total, con mayor influencia por color del filamento y número de semillas por fruto. El CP 6, con 6.5 % de variación, se integró por la forma del apéndice del fruto, únicamente. Las variables vegetativas como presencia de antocianinas en los nudos de las plantas, longitud del tallo, macollamiento, así como, forma del ápice del fruto y arrugamiento transversal del fruto contribuyeron en menor proporción en este análisis.

En chiles largos (guajillo), Moreno-Ramírez *et al.* (2019) explicaron 77 % de la variación total con los primeros cinco CP. Con variables cuantitativas, en chiles de largos y anchos (*Capsicum* spp.) se explicó 55.3 % de la variación con los primeros cuatro CP (Orobiyi *et al.*, 2018); mientras que, en chiles silvestres (*C. annuum* var. *glabriusculum* y *C. frutescens*) se explicó 82.2 % de la variación total con los primeros cinco CP. Este estudio comparte mayor similitud con lo detectado para chiles guajillos de México (Moreno-Ramírez *et al.*, 2019).

La distribución de las poblaciones de chile apaxtleco a través de los primeros dos componentes principales se

presenta en la Figura 1, donde, las poblaciones situadas hacia la derecha de la figura indica que tienen mayor longitud del fruto y del pedicelo y mayor ancho de las semillas; y las accesiones situadas hacia arriba poseen menor peso de fruto por planta, y mayor intensidad de la coloración verde del fruto en estado inmaduro. La dispersión de las poblaciones de chile apaxtleco en los cuatro cuadrantes de los CP1 y CP2 visualiza que existen variación morfológica entre las agrupaciones, pues las poblaciones se dispersan unas de otras, pero comparten ciertas similitudes entre ellas que las agrupan.

Luna-Ruíz *et al.* (2018) indican que en chiles domesticados la diversidad inter e intravarietal se observa mayormente en las características que son usadas, como las detectadas en este estudio. En chiles guajillo, se observó esta misma tendencia de identificar mayor diversidad en las características de los frutos (Moreno-Ramírez *et al.*, 2019), al igual que en chiles poblanos (Toledo-Aguilar *et al.*, 2016) y en pimientos de Turquía (Kadri *et al.*, 2009). Orobiyi *et al.* (2018) indican que los caracteres de fruto como días a fructificación, periodo de fructificación, longitud, ancho y peso del fruto, y número de fruto por planta son



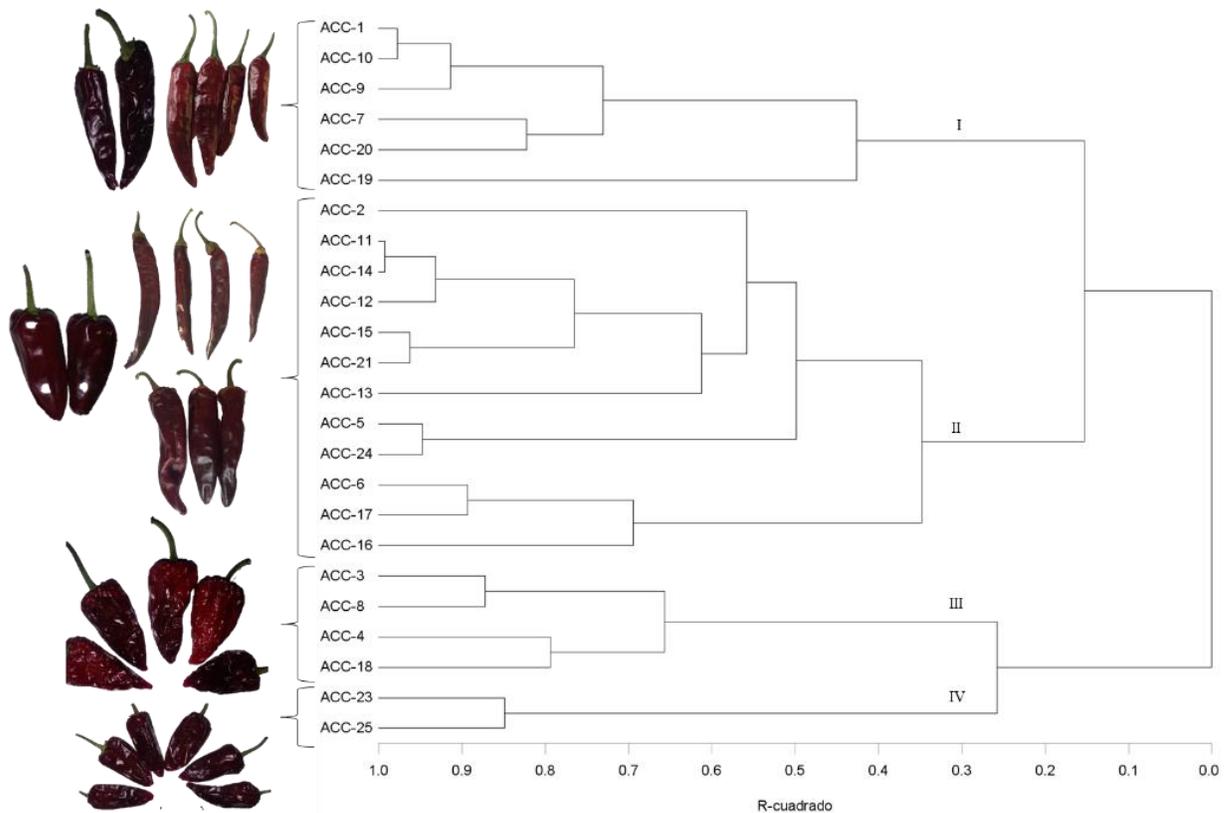
**Figura 1.** Dispersión de las poblaciones locales de chile apaxtleco a través de los primeros dos componentes principales.

características de importancia que contribuyen en el rendimiento y valor de producción y comercialización en Chile (*C. annuum*). Para Martínez-Sánchez *et al.* (2010), los descriptores seleccionados en el análisis de componentes principales son de importancia en el proceso de selección que se ha ejercido en Chile de agua en Oaxaca, y son características agrónomicamente deseables como días a floración y fructificación que tiene relación con la precocidad y ciclo del cultivo, así como, densidad de ramificación, diámetro y longitud del fruto; sin embargo, también detectaron diversidad en características florales y de plántula. El uso de semillas nativas y criollas, para el establecimiento de cultivos, ha sido transmitido de generación en generación y regularmente se cultivan con métodos tradicionales y convencionales; el intercambio de semillas, la polinización libre y cruzada y la intervención humana mediante la selección artificial han propiciado la fijación de características agrónomicas deseables de acuerdo con las consideraciones de los productores involucrados.

Por su parte, Murillo-Amador *et al.* (2015) describen alta variabilidad morfométrica en poblaciones de *C. annuum* silvestre colectados en reservas mexicanas, e indican que la diversidad fenotípica y genética de

*Capsicum* silvestre se determina por la geografía, clima, ecología e intervención humana, es decir, su diversidad es específica para cada nicho ecológico. En poblaciones silvestres de *C. annuum* var. *glabriusculum* y *C. frutescens* en Tabasco, además de variables de fruto, también las variables ancho y largo de la hoja, altura de la planta y densidad de las ramas fueron las de mayor importancia en la descripción de la diversidad, y también para la diferenciación entre ambas especies (Velázquez-Ventura *et al.*, 2018). De igual forma, De la Cruz-Lázaro *et al.* (2017) indican que en estudios *in situ* con chiles silvestres (*Capsicum frutescens*) de Tabasco, la mayor variación se detectó en características de planta y tallo.

En el análisis de conglomerados se identificaron cuatro agrupaciones (Figura 2). Los patrones de asociación se determinaron en gran medida por características del fruto, como su forma, color, peso y número de frutos por planta (Tabla 3). El grupo II fue donde se concentraron la mayor cantidad de poblaciones de Chile apaxteco, y su diversidad es más amplia en comparación con los demás grupos, las características que definieron su agregación fueron principalmente chiles largos, anchos, de forma triangular, lisos y rugosos y otras características descritas en el Tabla 3.



**Figura 2.** Dendrograma de accesiones de Chile apaxteco, generado con el método de agrupamiento UPGMA y distancias de Gower.

**Tabla 3. Características morfológicas de las agrupaciones identificadas en poblaciones de chile apaxtleco.**

Grupo	Nombre local	Características <sup>†</sup>
I	Semianchos semirugosos*	Plantas con gran intensidad de antocianinas en los nudos, con macollamiento por debajo de la primera bifurcación, tallos de tamaño medio (28.3 cm), 9 frutos por planta en promedio, filamento de las flores blanco y morado claro, frutos de color verde medio en su estado inmaduro, largos y semianchos, con ápice romo y hundido, arrugamiento transversal intermedio y epidermis semirugosa en frutos maduros, pedicelo largo, 30 semillas por fruto, de textura lisa y tamaño grande.
II	Carricillos semianchos lisos y anchos lisos	Plantas con intensidad media y ligera de antocianinas en los nudos, con macollamiento por debajo de la primera bifurcación, tallos de tamaño medio (29.1 cm), 7 frutos por planta en promedio, filamento blanco en las flores, frutos de color verde claro, verde medio y oscuro en su estado inmaduro, largos y de ancho medio y delgados, pero también de forma triangular lisos, ápice del fruto puntudo y romo, arrugamiento transversal muy corrugado mayormente, epidermis lisa del fruto, pedicelo largo, 30 semillas por fruto, de textura áspera y tamaño grande.
III	Anchos lisos y anchos rugosos	Plantas sin presencia de antocianinas en los nudos, con escaso macollamiento por debajo de la primera bifurcación, tallos de tamaño medio (29.0 cm), 9 frutos por planta en promedio, filamento de las flores blanco, frutos de color verde medio en su estado inmaduro, cortos y anchos, ápice del fruto romo, arrugamiento transversal muy corrugado del fruto, epidermis lisa y muy corrugada del fruto, pedicelo corto, 38 semillas por fruto, de textura lisa y tamaño grande.
IV	Anchos lisos	Plantas sin presencia de antocianinas en los nudos, con macollamiento por debajo de la primera bifurcación, tallos altos (31.6 cm), 5 frutos por planta en promedio, filamento de las flores blanco, frutos de color verde medio en su estado inmaduro, de forma triangular, cortos y de ancho medio ancho, ápice del fruto romo, arrugamiento transversal ligeramente corrugado del fruto, epidermis lisa del fruto, pedicelo muy corto, 27 semillas por fruto, de textura lisa, y tamaño pequeña.

\*Nombre asignado localmente para distinguir la forma y textura del fruto. <sup>†</sup>Los valores para cada variable corresponden a las medias por grupos para las variables cuantitativas, y moda para las variables cualitativas.

Hay coincidencia en estudios morfológicos con *C. annuum* var *annuum*, donde se indica que las variables de frutos son las de mayor importancia y abundancia para describir la mayor proporción de la diversidad y también con estas variables permite diferenciar las poblaciones estudiadas (Aklilu *et al.*, 2016; Toledo-Aguilar *et al.*, 2016). Así también, las variables cualitativas pueden ayudar a diferenciar poblaciones locales de chile de las especies *C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens* (Castillo-Aguilar *et al.*, 2021). Li *et al.* (2022) indican que con descriptores de frutos se pueden diferenciar especies de chile. En chiles silvestres pico de paloma (*C. frutescens*) *in situ*, las agrupaciones se realizaron con variables vegetativas como altura y ancho de la planta, largo y ancho de las hojas, diámetro del tallo, además de variables de fruto (largo y peso).

### CONCLUSIONES

La diversidad morfológica de las poblaciones locales de chile apaxtleco es mayor en variables de los frutos, y en menor proporción en variables vegetativas y de semillas.

Las 17 variables empleadas en el análisis de componentes principales y agrupamiento pudieron

mostrar la relación y diferenciación entre las poblaciones evaluadas, nuevamente, las variables de los frutos intervinieron más para explicar la variación total en este chile local. Además, se identificaron seis componentes principales que explicaron 76 % de la variación total. La forma y textura de los chiles fueron características de importancia en la agrupación.

Las variables vegetativas como presencia de antocianinas en los nudos de las plantas, longitud del tallo, macollamiento, así como, forma del ápice del fruto y arrugamiento transversal del fruto contribuyeron en menor proporción en la diversidad morfológica en este estudio.

**Funding.** Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Iguala and Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

**Conflict of interest statement.** There is no conflict of interest for publication of this research.

**Compliance with ethical standards.** The research did not include studies with humans; therefore, it was not

required to submit it to reviews for verification of its compliance.

**Data availability.** Data are available upon request to corresponding author (toledo.rocio@inifap.gob.mx).

#### Author contribution statement (CRediT)

**S. Quirino-Huaxcuaulli:** conceptualization, investigation, analysis, visualization & writing-original draft; **T. Romero-Rosales:** funding acquisition, project administration & resources; **C.O. Montoya-García:** supervision, validation, writing-review & editing; **C.Á. Hernández-Galeno:** data curation, analysis, methodology, writing-review & editing; **D.H. Noriega-Cantú:** data curation, analysis, writing-review & editing; **A. Hernández-Polito:** supervision, validation, writing-review & editing; **E. Hernández-Castro:** supervision, validation, writing-review & editing; **R. Toledo-Aguilar:** conceptualization, funding acquisition, project administration, resources, data curation, analysis, methodology, supervision, validation, writing-review & editing

#### REFERENCIAS

- Aguilar, M.R. and Rodríguez, C.E., 2018. El origen de los chiles domesticados (*Capsicum annuum* L.) del México multiétnico. In: E. Silva R., V. Martínez V., M. Lascrain, E. Rodríguez L., eds. *De la recolección a los agroecosistemas, soberanía alimentaria y conservación de la biodiversidad*. Quehacer Científico y Tecnológico, Universidad Veracruzana, pp. 47-64.
- Aguilar, R.V.H., Corona, T.T., López, L.P., Latournerie, M.L., Ramírez, M.M., Villalón, M.H. and Aguilar, C.J.A., 2010. *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI. Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Aguilar-Meléndez, A., Vásquez-Dávila, M.A., Katz, E. and Hernández, C.M.R., 2018. *Los chiles que le dan sabor al mundo: contribuciones multidisciplinarias*. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Aklilu, S., Abebie B., Wogari, D. and Teklewold, A., 2016. Analysis of morphological diversity among hot pepper (*Capsicum annuum* L.) collections in the Rift Valley area of Ethiopia. *Tropical Agriculture*, 93(3), pp. 152-164.
- Alvares, B.P., Almeida, S.L.R., da Silva, A.A.A., Araújo, D.S.P.H., Pimenta, S., Pombo, S.C., Erpen-Dalla, C.L., Azeredo, G.L.S. and Rodrigues, R., 2020. Biomorphological characterization of Brazilian *Capsicum chinense* Jacq. germplasm. *Agronomy*, 10(3), pp. 447. <http://doi.org/10.3390/agronomy10030447>
- Barboza, G.E., Carrizo, G.C., Leiva, G.S., Scaldaferrro, M. and Reyes, X., 2019. Four new species of *Capsicum* (Solanaceae) from the Tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. *PLoS ONE*, 14(1), pp. e0209792. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0209792>
- Barchenger D.W. and Bosland P.W., 2019. Wild chile pepper (*Capsicum* L.) of North America. In: S. Greene, K. Williams, C. Khoury, M. Kantar and L. Marek, eds. *North American Crop Wild Relatives*, Volume 2. Springer, Cham, pp. 225-242. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-97121-6\\_7](http://doi.org/10.1007/978-3-319-97121-6_7)
- Berry, M.H., Rickett, D.V., Baxter, C.J., Enfissi, E.M.A. and Fraser, P.D., 2019. Carotenoid biosynthesis and sequestration in red chilli pepper fruit and its impact on colour intensity traits. *Journal of Experimental Botany*, 70, pp. 2637-2650. <http://doi.org/10.1093/jxb/erz086>
- Bosland, P.W. and Votava, E.J., 2012. *Peppers: Vegetable and spice capsicums*. 2nd ed. Oxfordshire, UK: CAB International.
- Carrizo, G.C., Barfuss, M.H.J., Sehr, E.M., Barboza, G.E., Samuel, R. Moscone, E.A. and Ehrendorfer, F., 2016. Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). *Annals of Botany*, 118, pp. 35-51. <http://doi.org/10.1093/aob/mcw079>
- Castillo-Aguilar, C.C., López, C.L.C., Pacheco, N., Cuevas-Bernardino, J.C., Garruña, R. and Andueza-Noh, R.H., 2021. Phenotypic diversity and capsaicinoid content of chilli pepper landraces (*Capsicum* spp.) from the Yucatan Peninsula. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 19(2), pp. 159-166. <http://doi.org/10.1017/S1479262121000204>
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2016. *Los chiles de México*. [online] Cartel 12733. [https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/janium\\_zui.pl?jzd=/janium/Documentos/ETAPA06/AP/12733/cartel\\_chiles\\_espanol.jzd&fn=12733](https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/janium_zui.pl?jzd=/janium/Documentos/ETAPA06/AP/12733/cartel_chiles_espanol.jzd&fn=12733). [accessed october 2021].

- De la Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C., Osorio-Osorio, R., Preciado-Rangel, P. and Márquez-Hernández, C., 2017. Caracterización morfológica *in situ* de chile silvestre Pico de paloma (*Capsicum frutescens*) en Tabasco, México. *Acta Universitaria*, 27(2), pp. 3-9. <http://doi.org/10.15174/au.2017.1083>
- Gepts, P., 2014. The contribution of genetic and genomic approaches to plant domestication studies. *Current Opinion in Plant Biology*, 18, pp. 51-59. <http://doi.org/10.1016/j.pbi.2014.02.001>
- González-Jara, P., Moreno-Letelier, A., Fraile, A., Piñero, D. and García-Arenal, F., 2011. Impact of human management on the genetic variation of wild pepper, *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*. *PLoS ONE*, 6(12), pp. e28715. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0028715>
- Gower, J.C., 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27, pp. 857-871. <http://doi.org/10.2307/2528823>
- Hayano-Kanashiro, C., Gámez-Meza, N. and Medina-Juárez, L.A., 2016. Wild pepper *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*: taxonomy, plant morphology, distribution, genetic diversity, genome sequencing, and phytochemical compounds. *Crop Science*, 56, pp. 1-11. <http://doi.org/10.2135/cropsci2014.11.0789>
- Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M.R., Valverde, M.E. and Paredes-López, O., 2020. *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, pp. 1-22. <http://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>
- IPGRI, AVRDC, CATIE [International Plant Genetic Resources Institute, Asian Vegetable Research and Development Center, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. 1995. *Descriptors for Capsicum* (*Capsicum* spp.). IPGRI, AVRDC, CATIE. 51 p. [https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/online\\_library/publications/pdfs/345.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/345.pdf). [accessed may 2020]
- Jardón, B.L., 2017. De Sonora a Yucatán. Chiles en México: diversidad y domesticación. *Oikos*, 17, pp. 25-29.
- Kadri, B.M., Esiyok, E. and Turhan, K., 2009. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of pepper (*Capsicum annuum* L.) from Turkey. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7, pp. 83-95. <http://doi.org/10.5424/sjar/2009071-401>
- Karkee, A., Mainali, R.P., Basnet, S., Ghimire, K.H., Joshi, B.K., Thapa, P., Shrestha, D.S., Joshi, P., Pokhrel, P. and Mishra, K.K., 2021. Agromorphological characterization and intra-varietal diversity of akabarechilli (*Capsicum* spp.) landraces of Nepal. *SAARC Journal of Agriculture*, 19(2), pp. 37-55. <http://doi.org/10.3329/sja.v19i2.57671>
- Khoury, C.K., Carver, D., Barchenger, D.W., Barboza, G.E., van Zonneveld, M., Jarret, R., Bohs, L., Kantar, M., Uchanski, M., Mercer, K., Nabhan, G.P., Bosland, P.W. and Greene, S.L., 2020. Modelled distributions and conservation status of the wild relatives of chile peppers (*Capsicum* L.). *Diversity and Distributions*, 26, pp. 209-225. <http://doi.org/10.1111/ddi.13008>
- Kraft, K.H., Brown, C.H., Nabhan, G.P., Luedeling, E., Luna, R.J.J., d'Eeckenbrugge, G.C., Hijmans, R.J. and Gepts P., 2014. Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, pp. 6165-6170. <http://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>
- Li, P., Zhang, X., Liu, Y., Xie, Z., Zhang, R., Zhao, K., Lv, J., Wen, J. and Deng, M., 2022. Characterization of 75 cultivars of four *Capsicum* species in terms of fruit morphology, capsaicinoids, fatty acids, and pigments. *Applied Sciences*, 12, pp. 6292. <https://doi.org/10.3390/app12126292>
- Luna-Ruiz, J.J., Nabhan, J.P. and Aguilar-Meléndez, A., 2018. Shifts in plant chemical defenses of chile pepper (*Capsicum annuum* L.) due to domestication in Mesoamerica. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 48. <http://doi.org/10.3389/fevo.2018.00048>
- Martínez-Ávalos, J.G., Venegas-Barrera, C.S., Martínez-Gallegos, R., Torres-Castillo, J.A., Olazarán, S.F.E., Mora-Olivo, A., Guerra, P.A., Arellano-Méndez, L.U. and Garza, O.F., 2018. A review on the geographical distribution, fruit production and concentration of capsaicinoids in *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* in the

- Northeastern region of Mexico. *Preprints*, pp. 2018110517. <http://doi.org/10.20944/preprints201811.0517.v1>
- Martínez-Sánchez, D., Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, J.E. and Moreno-Pérez, E.C., 2010. Colecta y caracterización morfológica de 'chile de agua' (*Capsicum annum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 16(3), pp. 169-176. <http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.021>
- Meyer, R.S., DuVal, A.E. and Jensen, H.R., 2012. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. *New Phytologist*, 196, pp. 29-48. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04253.x>
- Moreno-Pérez, E.C., Avendaño-Arrazate, C.H., Mora-Aguilar, R., Cadena-Iñiguez, J., Aguilar-Rincón, V.H. and Aguirre-Medina, J.F., 2011. Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annum* L.) del Centro-Norte de México. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 17(1), pp. 23-30. <http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.004>
- Moreno-Ramírez, Y.R., Santacruz-Varela, A., López, P.A., López-Sánchez, H., Córdova-Téllez, L., González-Hernández, V.A., Corona-Torres, T. and López-Ortega, R., 2019. Morphological diversity of Zacatecas guajillo chile landraces is broad and is given mainly by fruit traits. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31, pp. 440-448. <http://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i6.1965>
- Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, O.E., Troyo-Diéguez, E., Córdoba-Matson, M.V., Hernández-Montiel, L.G. and Nieto-Garibay, A., 2015. Baseline study of morphometric traits of wild *Capsicum annum* growing near two biosphere reserves in the Peninsula of Baja California for future conservation management. *BioMed Central, Plant Biology*, 15(118), pp. 1-18. <http://doi.org/10.1186/s12870-015-0505-6>
- Narez-Jiménez, C.A., de la Cruz-Lázaro, E., Gómez-Vázquez, A., Castañón-Nájera, G. Cruz-Hernández, A. and Márquez-Quiroz, C., 2014. La diversidad morfológica *in situ* de chiles silvestres (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37, pp. 209-215
- Olatunji, T.L. and Afolayan, A.J., 2019. Contributions to the classification of *Capsicum annum* L. and *Capsicum frutescens* L. in West Africa using morphological traits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Napoca*, 47, pp. 135-142. <http://doi.org/10.15835/nbha47111204>
- Orobiyi, A., Loko, L.Y., Sanoussi, F., Agre, A.P., Korie, N., Gbaguidi A., Adjatin A., Agbangla C. and Dansi A., 2018. Agro-morphological characterization of chili pepper landraces (*Capsicum annum* L.) cultivated in Northern Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, pp. 555-569. <http://doi.org/10.1007/s10722-017-0553-x>
- Pickersgill, B., 2016. Chile peppers (*Capsicum* spp.). In: R. Lira, A. Casas and J. Blancas, eds. *Ethnobotany of Mexico, interactions of people and plants in Mesoamerica*. Springer Science, pp. 417-438. [http://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7\\_17](http://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_17)
- SAS Institute, 2012. *SAS/STAT User's Guide: Software Version 9.4*. Statistical Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA.
- Shannon, C.E. and Weaver, W., 1964. *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois. Chicago, USA.
- SIAP-SADER [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural], 2022. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. [accessed february 2022].
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., López, P.A., Guerrero-Rodríguez, J. D., Santacruz-Varela, A. and Huerta-de la Peña, A., 2016. Diversidad morfológica de poblaciones nativas de chile poblano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7, pp. 1005-1015.
- Vázquez-Casarrubias, G., Escalante-Estrada, J.A.S., Rodríguez-González, M.T., Ramírez-Ayala, C. and Escalante-Estrada, L.E., 2011. Edad al trasplante y su efecto en el crecimiento y rendimiento de chile apaxtleco. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), pp. 61-65. [10.5154/r.rchsh.2011.17.009](http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.009)
- Velázquez-Ventura, J.C., Márquez-Quiroz, C., De la Cruz- Lázaro, E., Osorio-Osorio, R. and

Preciado-Rangel, P., 2018. Morphological variation of wild peppers (*Capsicum spp.*) from the State of Tabasco, Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(2), pp. 115-121.  
<http://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i2.1603>