



## Variación morfológica en frutos de genotipos de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) del Noreste y Centro de México

### Morphological variation in fruits of piquin pepper genotypes (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) from Northeast and Central Mexico

Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá-Rico<sup>1,2</sup> ,  
Moisés Ramírez-Meraz<sup>1</sup> ,  
Nicolás Maldonado-Moreno<sup>1</sup> ,  
Mercedes Borja-Bravo<sup>3</sup> ,  
Neymar Camposeco-Montejo<sup>2</sup> ,  
Alfonso López-Benítez<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>INIFAP - Campo Experimental Las Huastecas, Carretera Tampico-Mante km 55, CP. 89610. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>3</sup>INIFAP - Campo Experimental Pabellón, Carretera Aguascalientes-Zacatecas, CP. 20660. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

\*Autor de correspondencia:  
alfopezbe\_2000@hotmail.com

#### Nota científica

Recibida: 17 de septiembre 2022

Aceptada: 13 de junio 2023

**Como citar:** Alcalá-Rico JSGJ, Ramírez-Meraz M, Maldonado-Moreno N, Borja-Bravo M, Camposeco-Montejo N, López-Benítez A (2023) Variación morfológica en frutos de genotipos de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) del Noreste y Centro de México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): e3482. DOI: 10.19136/era.a10n2.3482

**RESUMEN.** El objetivo fue determinar la variación morfológica de frutos de genotipos de chile piquín y definir los descriptores de fruto que permitan identificar y discriminar esta especie. Se utilizaron 10 genotipos y se consideraron 24 caracteres morfológicos relacionados con el fruto. Se observaron diferencias ( $p \leq 0.01$ ) en la fuente de variación genotipos para la mayoría caracteres cuantitativos. Los genotipos G6 y G7 presentaron los mayores valores en longitud, relación longitud/diámetro de fruto y número predominante de lóculos. Con base en la similitud los genotipos se conglomeraron en seis y cuatro grupos para caracteres cuantitativos y pseudo-cualitativos, respectivamente. Los componentes principales determinaron que el diámetro, longitud, relación longitud/diámetro de fruto, intensidad de color antes de madurez, color antes de la madurez, forma de fruto y forma del ápice fueron los más discriminatorios permitiendo una descripción e identificación morfológica cuando solo se conocen caracteres relacionados con el fruto.

**Palabras clave:** Chile silvestre, variabilidad, recurso fitogenético, caracterización.

**ABSTRACT.** The objective was to determine the morphological variation of fruits of piquin pepper genotypes and to define fruit descriptors to identify and discriminate this species. Ten genotypes were used and 24 morphological characters related to the fruit were considered. Differences ( $p \leq 0.01$ ) were observed in the source of variation genotypes for most quantitative characters. Genotypes G6 and G7 presented the highest values in fruit length, fruit length/diameter ratio and predominant number of locules. Based on similarity, genotypes were clustered into six and four groups for quantitative and pseudo-qualitative characters, respectively. Principal components determined that fruit diameter, fruit length, fruit length/diameter ratio, color intensity before maturity, color before maturity, fruit shape, and apex shape were the most discriminatory, allowing a morphological description and identification when only fruit-related characters are known.

**Key words:** Wild pepper, variability, plant genetic resource, characterization.

## INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* comprende al menos 38 especies diferentes, de las cuales se cultivan seis: *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. pubescence*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. assamicum*. En relación a la especie *C. annuum*, diversas pruebas arqueológicas, genéticas y distribución de plantas contemporáneas indican que su origen y domesticación se encuentra en México, país donde el chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) es altamente preferido, presentando demanda en los mercados nacionales e internacionales, debido a su sabor particular y pungencia, contribuyendo con su alto valor económico al desarrollo de los sectores rurales (Rodríguez-del Bosque 2005, Maiti *et al.* 2015, Nirala y Chittaranjan 2019). En México, esta especie está registrada en todos los estados del país y se encuentra ampliamente distribuida en la zona costera desde Sonora hasta Chiapas sobre el Pacífico y desde Tamaulipas hasta Yucatán y Quintana Roo por el Golfo de México (Pickersgill 1988). Esta distribución posiblemente está relacionada con la diversidad genética como resultado de la evolución, sobrevivencia y adaptación (Ulukan 2011). La especie se caracteriza por su alta plasticidad fenotípica derivada de la variación morfológica de las hojas (González-Jara *et al.* 2011). Además, se considera como el pimiento con mayor variación en tamaño, forma y color de frutos (Hernández-Verdugo *et al.* 2001). Esta diversidad genética ofrece la posibilidad de identificar genotipos necesarios para su aprovechamiento y conservación, la cual se puede medir a partir de descriptores morfológicos, bioquímicos, citogenéticos y moleculares (Mondini *et al.* 2009, López-Báez *et al.* 2018). Si bien los estudios de diversidad genética son importantes, existe muy poca investigación en poblaciones de chile piquín (González-Jara *et al.* 2011). Además, a pesar de la importancia que tiene el fruto de chile piquín, no se dispone de información sobre su variabilidad morfológica. Con base en ello se realizó la siguiente investigación, cuyo objetivo fue determinar la variabilidad morfológica de genotipos de chile piquín del Noreste y Centro de México a través de caracteres en fruto y definir los descrip-

tores que permitan discriminar los genotipos de chile piquín.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del sitio experimental

La investigación inicio con la generación de plántulas de chile piquín en el invernadero No. 7 del Departamento de Fitomejoramiento. Posteriormente se estableció el trasplante en el Departamento de Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro sede Buenavista, Saltillo, Coahuila, México localizado geográficamente a los 25° 21' 12.05" LN y 101° 01' 38.43" LO, a una altitud de 1 781 msnm. Presentando un clima templado semiseco clasificado como Cfb por el sistema Köppen-Geiger, con temperatura media anual de 17 °C y precipitación anual de 481 mm.

### Material vegetal

Se utilizaron 10 genotipos de chile piquín colectados de diferentes orígenes geográficos del Noreste y Centro de México (Figura 1, Tabla 1). Siendo siete silvestres y tres semidomesticados, los cuales se encontraron entre 20° 46' 56" a 26° 45' 59" LN y 98° 00' 54" a 101° 29' 44" LO. Los genotipos silvestres fueron recolectados en sus zonas de origen natural, dentro de vegetación nativa, desde zonas de pradera y monte bajo, hasta áreas de bosque o entre cactáceas en ambientes semidesérticos; estos son accesiones originales que no tienen ningún tipo de selección. Por otra parte, los genotipos semidomesticados son aquellos que se establecen en ambientes de traspatio y milpas, solos o en asociación con otros cultivos como maíz, plantaciones de cítricos, mango o aguacates, entre otros cultivos. Estos son materiales que han tenido algún tipo de selección empírica por los propios productores.

### Siembra

Debido a que las semillas de chile piquín presentan latencia fisiológica, los genotipos fueron sometidos a un tratamiento pregerminativo, el cual constó en sumergir la semilla de cada genotipo en



Figura 1. Morfología de frutos colectados de las diferentes localidades.

Tabla 1. Identificación y sitios de colecta de los genotipos de chile piquín.

ID	Número de colección	Nivel de domesticación	Municipio	Estado	Coordenadas	Altitud (msnm)
G1	BGH-242	Silvestre	Villaldama	N. L.	26° 23' 51" N, 100° 23' 42" O	486
G2	BGH-243	Silvestre	Aramberri	N. L.	24° 02' 20" N, 99° 55' 15" O	1496
G3	BGH-259	Silvestre	Burgos	Tam.	24° 56' 56" N, 98° 47' 59" O	160
G4	BGH-260	Silvestre	San Carlos	Tam.	24° 24' 01" N, 99° 06' 50" O	370
G5	BGH-314	Silvestre	Castaños	Coah.	26° 46' 02" N, 101° 30' 01" O	809
G6	BGH-442	Semidomesticado	IXMA	Ver.	20° 49' 04" N, 98° 05' 45" O	404
G7	BGH-445	Semidomesticado	IXMA	Ver.	20° 41' 06" N, 98° 00' 44" O	110
G8	BGH-460	Semidomesticado	IXMA	Ver.	20° 49' 04" N, 98° 05' 45" O	277
G9	BGH-277	Silvestre	Linares	N. L.	24° 53' 40" N, 99° 28' 13" O	302
G10	BGH-304	Silvestre	Rioverde	S. L. P.	21° 51' 37" N, 99° 54' 40" O	980

BGH: Banco de Germoplasma Huastecas, N.L.: Nuevo León, Tam.: Tamaulipas, Coah.: Coahuila, Ver.: Veracruz, S.L.P.: San Luis Potosí; IXMA: Ixhuatlán de Madero.

ácido giberélico a 5 000 ppm durante 24 horas a temperatura ambiente (Alcalá-Rico *et al.* 2019). Posteriormente para la siembra se utilizaron charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades y como sustrato se empleó peat moss. Se colocaron dos semillas por cavidad, sembrándose 60 cavidades por genotipo. Después se asperjó un fungicida orgánico llamado BIORGAN SF<sup>®</sup> a concentración de 2.5 mL L<sup>-1</sup> de agua. En seguida se procedió a realizar el sellado, que consistió en colocar una charola sobre otra, dejándolas empalmadas y siendo cubiertas por una película de plástico negro, con la finalidad de mantener una óptima temperatura y humedad para acelerar el proceso de germinación.

### Trasplante

Este proceso se realizó bajo una estructura cubierta con malla sombra al 30%. Las plántulas a los dos meses después de la siembra fueron trasplantadas en bolsas de polietileno negras de 30 x 30 cm, cuyo sustrato fue tierra de lombricomposta. Las bolsas se colocaron sobre estructuras metálicas de 1 m de altura para mejorar el manejo del cultivo y evitar las posibles plagas presentes en el suelo.

### Diseño experimental

Los genotipos de chile piquín se establecieron bajo un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental constó de seis plantas por repetición. La distancia entre plantas fue de 0.5 m, entre hileras de 0.9 m y entre calles de

1 m.

### Parámetros evaluados

Se utilizaron dos guías técnicas para la descripción varietal de Chile (*Capsicum annuum* L.), la primera propuesta por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) y la segunda propuesta por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

Se evaluaron todos los caracteres relacionados con el fruto de Chile piquín. Los cuales fueron siete cuantitativos, tres cualitativos y 14 pseudocualitativos. En lo que respecta a los caracteres cuantitativos se tomó: longitud de fruto (mm), diámetro de fruto (mm), relación longitud/diámetro de fruto (mm), número predominante de lóculos, grosor del pericarpio (mm), longitud del pedúnculo (cm) y grosor del Pedúnculo (mm). Así mismo los caracteres cualitativos fueron: posición del fruto (1 = erecta, 2 = horizontal, 3 = pendiente), cavidad peduncular (1 = ausente, 9 = presente) y contenido de capsaicina en la placenta (1 = ausente, 9 = presente). Mientras que en relación a los caracteres pseudocualitativos se evaluó: color antes de la madurez (1 = blanco verdoso, 2 = amarillento, 3 = verde, 4 = púrpura), forma del fruto (1 = aplanada, 2 = redonda, 3 = de corazón, 4 = cuadrada, 5 = rectangular, 6 = trapezoidal, 7 = triangular, 8 = triangular estrecha, 9 = de cuerno), forma de la sección transversal (1 = elíptica, 2 = angular, 3 = circular), ondulación transversal (1 = débil, 2 = media, 3 = fuerte), color en madurez (1 = amarillo, 2 = naranja, 3 = rojo, 4 = café), intensidad de color antes de madurez (3 = Claro, 5 = Medio, 7 = Oscuro), intensidad de color en madurez (3 = claro, 5 = medio, 7 = oscuro), forma del ápice (1 = agudo, 2 = redondeado, 3 = hundido, 4 = hundido y agudo), textura (1 = liso, 2 = corchoso, 3 = rugoso), profundidad de depresiones interoculares (1 = ausentes, 2 = poco profundas, 3 = medias, 4 = profundas, 5 = muy profundas), sabor (1 = dulce, 2 = pungente), posición de la placenta (3 = compacta, 5 = semidistribuida, 7 = distribuida), aspecto del cáliz (1 = no desarrollado, 2 = desarrollado) y margen del cáliz (1 = entero, 2 = intermedio, 3 = dentado). Para los caracteres cuantitativos se utilizaron 15 frutos por

planta, en lo que respecta a los caracteres cualitativos y pseudocualitativos se evaluaron a través de evaluaciones visuales mediante una sola observación de cada unidad experimental.

### Análisis

Se realizó un análisis de varianza para caracteres cuantitativos. Así mismo, se efectuaron análisis de componentes principales y análisis de conglomerados jerárquicos utilizando el Método de Grupo de Pares no Ponderados con Media Aritmética (UPGMA) y con la distancia euclidiana como medida de disimilitud para caracteres cuantitativos y pseudocualitativos. En lo que respecta a los caracteres cualitativos, se analizaron a través de un gráfico radial. Cada proceso se realizó utilizando el software Excel 2021 y R versión 4.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de varianza de caracteres cuantitativos

Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la mayoría de los caracteres en la fuente de variación de genotipos, excepto para número predominante de lóculos, debido a que la mayoría de los genotipos presentaron dos lóculos (Tabla 2). Las divergencias que se presentaron pudieran deberse a la constitución genética específica en cada genotipo, como consecuencia de la evolución que han presentado para adaptarse y sobrevivir a las diferentes condiciones geográficas. Estos resultados coinciden con Ornelas-Ramírez *et al.* (2021), quienes reportaron diferencias significativas en todos los caracteres evaluados de tres especies de *Capsicum*. Lo anterior, es un indicativo de la variabilidad que presenta cada genotipo en los rasgos morfológicos, lo cual es de vital importancia en un programa de mejoramiento genético para la creación de nuevas variedades sostenibles y competitivas, ya que a partir de esta variabilidad es posible identificar plantas sobresalientes y conservar los recursos fitogenéticos (Rodríguez *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2010, Onamu *et al.* 2012).

**Tabla 2.** Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres cuantitativos de fruto de chile piquín.

Descriptores	Fuente de Variación			Media	CV	R <sup>2</sup>	DMS
	Rep	Gen	Pta				
FL	0.71	142.26 **	19.69 **	8.65	6.38	0.97	0.59
FD	0.39 *	10.12 **	18.91 **	5.86	6	0.9	0.38
FL/FD	0.01	8.33 **	0.12 **	1.54	7.65	0.97	0.13
FNPL	0.29	0.33	0.24	2.21	19.16	0.14	0.45
FGPR	0.03	0.11 **	0.01	0.67	22.17	0.24	0.16
FLP	0.25	0.89 **	0.23 *	2.19	12.37	0.45	0.29
FGPE	0.05	0.09 **	0.02	0.99	16	0.19	0.17

\*, \*\* Significativos a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01, Gen = Genotipos, Rep = Repeticiones, Pta = Plantas, CV = Coeficiente de Variación, R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación, DMS: Diferencia mínima significativa, FL: Longitud, FD: Diámetro, FL/FD: Relación Longitud/Diámetro, FNPL: Numero Predominante de Lóculos, FGPR: Grosor del pericarpio, FLP: Longitud del Pedúnculo y FGPE: Grosor del Pedúnculo.

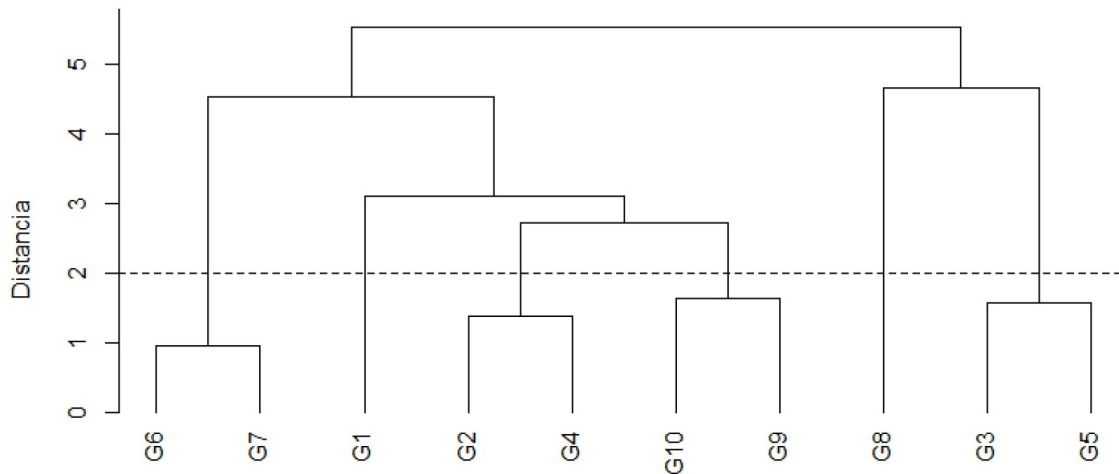
### Análisis de conglomerados para caracteres cuantitativos

Con respecto al análisis de agrupamiento, de acuerdo a los caracteres cuantitativos los genotipos pudieron conglomerarse en seis grupos a dos unidades (Figura 2). El primer grupo estuvo conformado por los genotipos G6 y G7 originarios de Veracruz, caracterizándose por tener en promedio los mayores valores en longitud de fruto (13.62 mm) y relación longitud/diámetro de fruto (2.81 mm). Por otro lado, estos genotipos también destacaron por presentar valores superiores a la media en número predominante de lóculos (2.28 lóculos), sin embargo, mostraron los valores más bajos en diámetro de fruto (4.89 mm). El segundo grupo fue representado por el genotipo G1 de Villaldama, Nuevo León, mostrando valores mínimos en relación longitud/diámetro de fruto (1.09 mm), grosor del pericarpio (0.57 mm) y grosor del pedúnculo (0.89 mm), aunque tuvo los mayores valores en número predominante de lóculos (2.39 lóculos) y longitud de pedúnculo (2.49 cm). En el tercer grupo se integraron los genotipos G2 de Aramberri, Nuevo León y G4 de San Carlos, Tamaulipas, los cuales se asociaron con valores bajos en grosor de pedúnculo (0.96 mm en promedio). En el cuarto grupo estuvieron incluidos los genotipos G9 de Linares, Nuevo León y G10 de Rioverde, San Luis Potosí, con la particularidad de haber presentado en promedio valores por debajo de la media en longitud de fruto (7.2 mm) e intermedios en longitud de pedúnculo (2.1 cm) y grosor de pedúnculo

(1 mm). El quinto grupo lo representó el genotipo G8 de Ixhuatlán de Madero, Veracruz al caracterizarse por tener los mayores valores en diámetro de fruto (7.52 mm), grosor de pedúnculo (1.16 mm) y longitud de pedúnculo (2.42 cm), además de presentar valores intermedios de número predominante de lóculos (2.22 lóculos). El último grupo se integró por los genotipos G3 de Burgos, Tamaulipas y G5 de Castaños, Coahuila teniendo en conjunto valores intermedios en la variable diámetro de fruto (6.04 mm), valores inferiores a la media en relación longitud/diámetro de fruto (1.21 mm) y los valores más altos en grosor del pericarpio (0.79 mm) y grosor del pedúnculo (1.01 mm). Además, este grupo mostró los mínimos valores en longitud del pedúnculo (1.87 cm) (Figura 2, Figura 3A-G). La agrupación de los genotipos de chile piquín representa cierto parentesco entre cada uno de ellos según los caracteres evaluados, indicando variabilidad entre los genotipos estudiados (González *et al.* 2011). En particular, Mohammadi y Prasanna (2003) mencionan que los niveles y patrones de variabilidad genética pueden facilitar la clasificación de accesiones. Al respecto, Adetula (2006) estimó la relación entre accesiones de *Capsicum*, las cuales serían usadas en el mejoramiento de la productividad y la estabilidad en el rendimiento de los cultivos.

### Componentes principales para caracteres cuantitativos

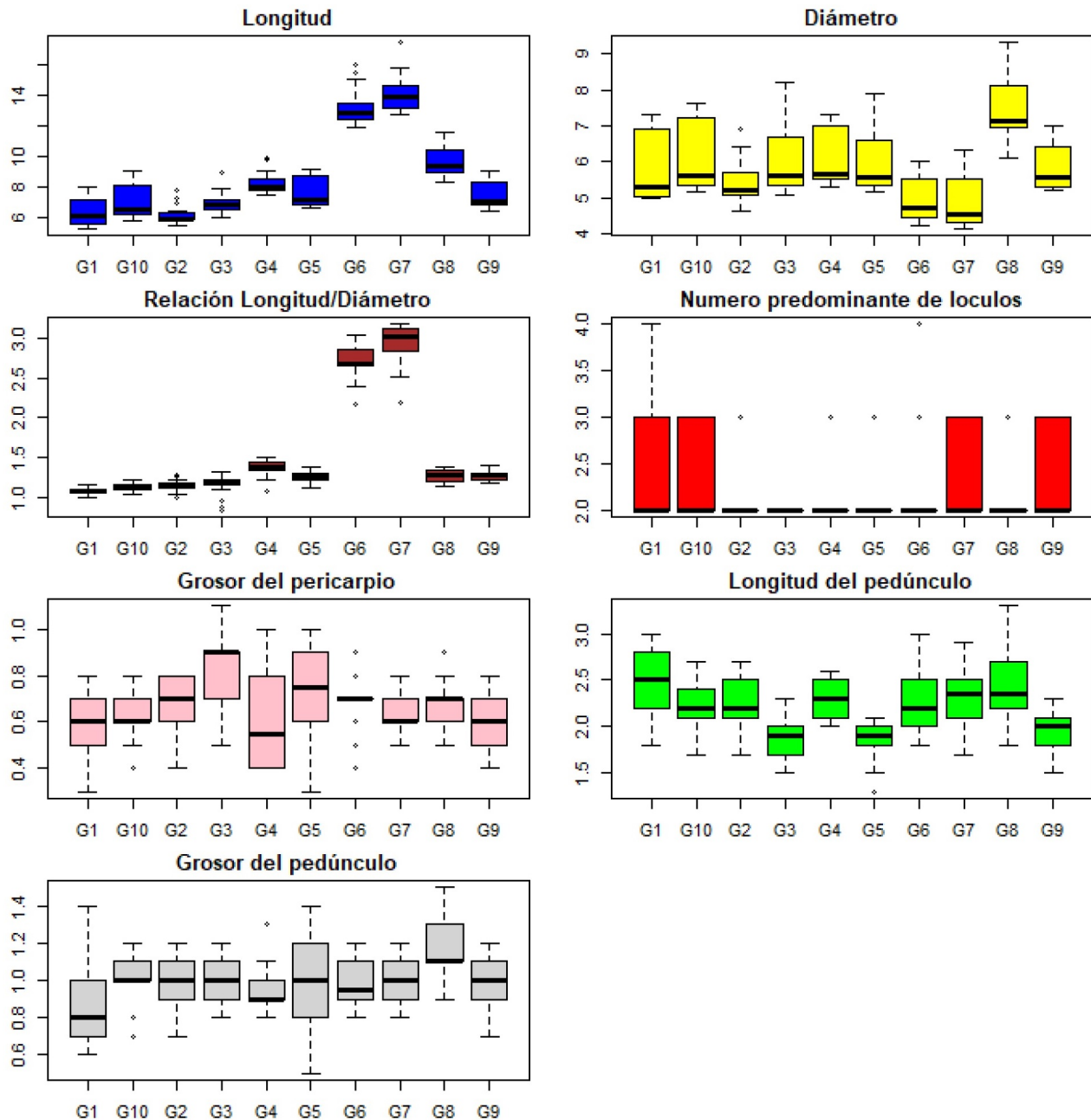
En lo que respecta el análisis de compo-



**Figura 2.** Asociación de genotipos de chile piquín por sus caracteres cuantitativos de fruto.

nentes principales (PC), los dos primeros componentes explicaron el 47.18% de la variabilidad total de los caracteres evaluados. PC1 fue el más importante, obteniendo el mayor porcentaje de participación (29.94%), estando asociado con los descriptores longitud de fruto y relación longitud/diámetro de fruto. Asimismo, PC2 explicó el 17.24% de la variación y se relacionó con diámetro de fruto, número predominante de lóculos, grosor del pericarpio, longitud del pedúnculo y grosor del pedúnculo. La diversidad del fruto es un punto clave en la morfología del chile piquín, ya que se ha observado que los descriptores de fruto han sido los de mayor contribución en la explicación de los primeros componentes principales de chiles (Villota-Cerón *et al.* 2012). En este aspecto Zhigila *et al.* (2014) mencionan que el género *Capsicum* se caracteriza por presentar una gran diversidad en el tipo de fruto, color, forma, sabor y contenido fitoquímico. Por otro lado, se observó correlación positiva entre el grosor del pericarpio, grosor del pedúnculo y diámetro de fruto. De la misma forma existió asociación positiva entre número predominante de lóculos, longitud de fruto, relación longitud/diámetro de fruto y longitud del pedúnculo. Aunque, el carácter diámetro de fruto se correlacionó negativamente con longitud del pedúnculo, relación longitud/diámetro de fruto y longitud de fruto; mostrando la misma condición el grosor

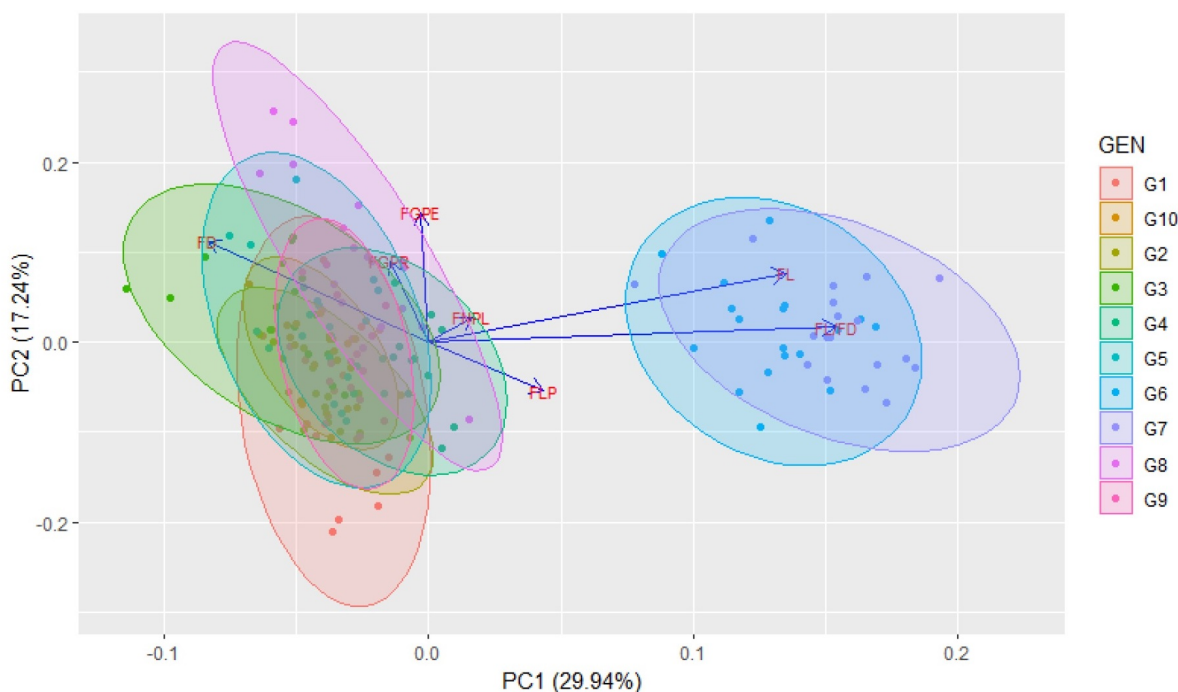
del pericarpio con longitud del pedúnculo y relación longitud/diámetro de fruto, así mismo el grosor del pedúnculo con longitud del pedúnculo. Por otra parte, los descriptores con vectores más largos discriminan más los genotipos, mientras que un vector muy corto proporciona poca o ninguna información sobre las diferencias del genotipo (Yan *et al.* 2007). De acuerdo a las longitudes de los vectores de los siete caracteres, solo tres fueron los más discriminatorios (longitud, diámetro y relación longitud/diámetro de fruto), los cuales pueden clasificar distintos individuos en grupos o poblaciones conforme a sus diferencias entre colectas de chile piquín. En relación a los genotipos, se distribuyeron en cuatro cuadrantes de la gráfica biplot, lo que indicó que la variabilidad en los caracteres está enfocada en los primeros dos componentes principales (De la Cruz-Lázaro *et al.* 2017). Los genotipos con valores más altos son clasificados con puntajes de PC1 mayor que cero (lado derecho), mientras que aquellos con PC1 menor que cero (lado izquierdo) se identifican como genotipos con valores menores a la media (Yan y Thinker 2006). Los genotipos G1, G2, G3, G5, G8, G9 y G10 se ubicaron al lado izquierdo del PC1; mientras que G6 y G7 se situaron a la derecha del mismo componente, indicando que en general estos dos últimos genotipos sobresalieron con los mayores valores en los caracteres evaluados. Por otro lado, el genotipo G4 se distribuyó



**Figura 3.** Rango y distribución de caracteres cuantitativos asociados con el fruto de chile piquín.

muy cerca de la línea vertical del PC1, mostrando valores cercanos al promedio general (Figura 4). Hay que mencionar, que cada carácter en cada genotipo representó un valor específico, lo cual puede deberse a la variabilidad genética que presentan. En relación con esto Allard y Bradshaw (1964) men-

cionan que la variabilidad ocurre cuando diferentes genotipos responden diferente a la expresión de distintos caracteres. Por lo tanto, es de gran importancia utilizar análisis multivariantes para determinar diferencias entre individuos (Sassone *et al.* 2013).



**Figura 4.** Análisis de componentes principales de genotipos de chile piquín a través de caracteres cuantitativos asociados con el fruto. FL: Longitud, FD: Diámetro, FL/FD: Relación Longitud/Diámetro, FNPL: Numero Predominante de Lóculos, FGPR: Grosor del pericarpio, FLP: Longitud del Pedúnculo y FGPE: Grosor del Pedúnculo.

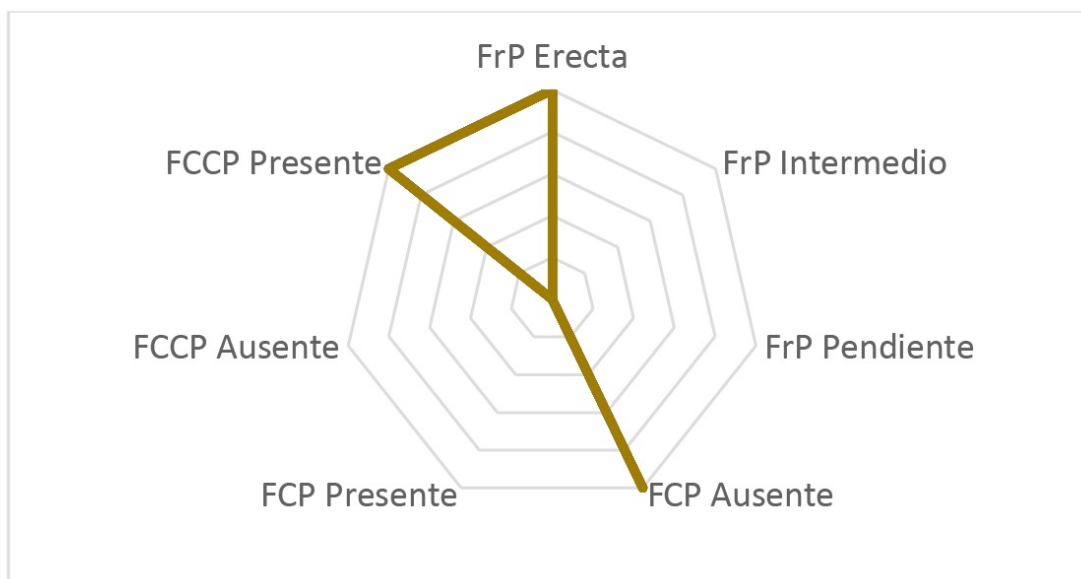
### Análisis radial en caracteres cualitativos

En la evaluación de caracteres cualitativos se observó una uniformidad, indicando que no hubo variación entre genotipos, en todos los casos la posición del fruto fue erecta, la cavidad peduncular ausente y presentaron contenido de capsaicina en la placenta (Figura 5). Lo ocurrido de cierta manera es debido al tipo de herencia, la cual generalmente en este tipo de caracteres depende de un par de genes. Por lo anterior, estos caracteres pudieran considerarse para detectar morfológicamente el fruto de chile piquín, pero no para discriminar entre accesiones de la misma especie, ya que son caracteres morfológicos propios del chile piquín. Esto es un indicativo de que las características son representativas del chile silvestre, lo cual revela que pertenece a una determinada especie (Mongkolporn y Taylor 2011, Narez-Jiménez *et al.* 2014).

### Análisis de conglomerados en caracteres pseudocualitativos

De acuerdo a los caracteres pseudocualitativos se formaron cuatro grupos a dos unidades. El primer grupo estuvo conformado por los genotipos G3, G1 y G2 originarios de Burgos, Villaldama y Aramberri respectivamente. El primer genotipo pertenece al estado de Tamaulipas y el resto al estado de Nuevo León, estos genotipos se caracterizaron principalmente por tener la forma del fruto redonda. El segundo grupo estuvo conformado por los genotipos G4 de San Carlos, Tamaulipas, G5 de Castaños, Coahuila, G9 de Linares, Nuevo León y G10 de Rioverde, San Luis Potosí teniendo en común la forma de fruto de corazón. El tercer grupo estuvo integrado por el genotipo G8 de Colatlán, Ixhuatlán de Madero, Veracruz caracterizándose por tener un color de fruto blanco verdoso e intensidad de fruto antes de madurez claro. Así mismo, el cuarto grupo se integró por el resto de genotipos de Veracruz teniendo la forma del fruto rectangular e intensidad





**Figura 5.** Caracteres cualitativos de fruto en genotipos de chile piquín. FrP: Posición, FCP: Cavidad Peduncular, FCCP: Contenido de Capsaicina en la placenta.

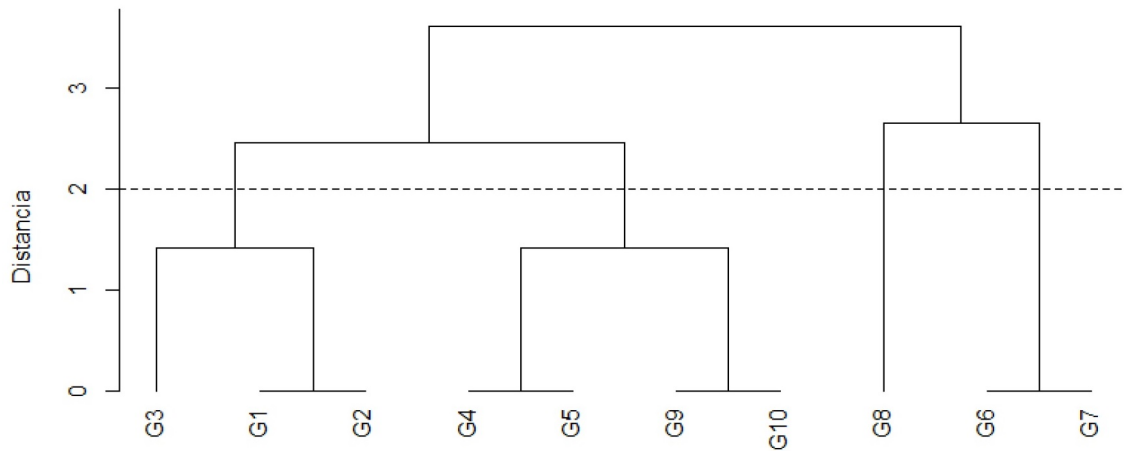
de color antes de madurez oscuro (Figura 6). Se formaron menos grupos en comparación con los caracteres cuantitativos, a pesar de que se evaluó un número mayor de caracteres, indicando que existe mayor similitud en este tipo de caracteres. Estas agrupaciones pudieron haber sido resultado de la adaptación de cada genotipo a las condiciones específicas de cada región. Estos hallazgos coinciden con Aguilar-Melendez *et al.* (2009), quienes en un estudio de diversidad genética realizado en poblaciones de *C. annuum* L. var. *glabriusculum* y *C. annuum* var. *annuum* del centro y sureste de México, demostraron que la diferenciación genética estaba correlacionada con la ubicación geográfica.

### Componentes principales en caracteres pseudocualitativos

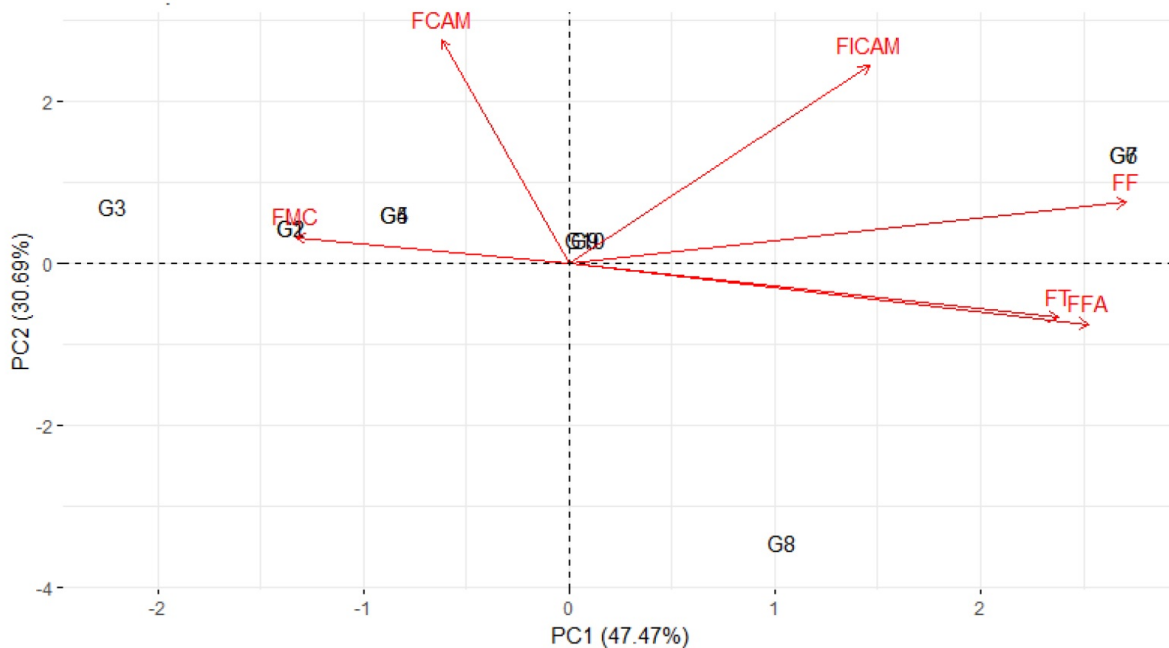
Se analizó seis de 14 caracteres, debido a que se eliminaron aquellos que no mostraron significancia a la explicación de la variación, mejorando el análisis y reduciendo el trabajo de procesamiento de datos (Castañón-Nájera *et al.* 2008). Los dos primeros componentes explican el 78.16% de la variación total. El valor propio del PC1 explicó el 47.47% de la variación. Los caracteres asociados con este compo-

nente fueron forma del fruto, forma del ápice, textura y margen del cáliz. En cuanto a PC2, su valor propio representó el 30.69% de la variación y estuvo relacionado con el color antes de la madurez e intensidad de color antes de la madurez. Por otro lado, el ángulo entre los vectores de dos caracteres mostró la relación entre ellos (Vaezi *et al.* 2017), encontrándose una correlación positiva entre margen del cáliz y color antes de la madurez, así como entre los caracteres intensidad de color antes de la madurez, forma del fruto, textura del fruto y forma del ápice. Por otra parte, textura del fruto y forma del ápice tuvieron relación negativa con margen del cáliz y color antes de la madurez. Cabe destacar que los caracteres pseudocualitativos más discriminantes fueron intensidad de color antes de la madurez, color antes de la madurez, forma del fruto y forma del ápice (Figura 7).

En promedio, los dos primeros componentes principales de caracteres cuantitativos y pseudocualitativos explicaron más de 60% de la variabilidad morfológica de fruto de chile piquín en genotipos del Noreste y Centro de México, lo que indicó que por medio de un biplot se pueden interpretar los datos de manera segura como una representación gráfica (Yang *et al.* 2009, Rakshit *et al.* 2012). Es impor-



**Figura 6.** Asociación de genotipos de chile piquín por sus caracteres pseudocualitativos.



**Figura 7.** Análisis de componentes principales de 10 genotipos a través de sus caracteres pseudocualitativos. FMC: Margen del Cáliz, FCAM: Color antes de la madurez, FICAM: Intensidad de Color antes de Madurez, FF: Forma, FT: Textura, FFA: Forma del Ápice.

tante que en futuros trabajos se incluya marcadores moleculares para incrementar la eficiencia al estudiar la diversidad genética de los recursos vegetales (Zhong *et al.* 2021).

En conclusión, se encontró variabilidad morfológica de frutos de chile piquín en genotipos del Noreste y Centro de México, lo que representa un reservorio de genes que pueden tener un uso poten-

cial para la domesticación y mejoramiento genético. Los caracteres diámetro de fruto, longitud de fruto, relación longitud/diámetro de fruto, intensidad de color antes de madurez, color antes de la madurez, forma de fruto y forma del ápice contribuyen en la máxima variabilidad y son adecuados para discriminar y caracterizar genotipos de chile piquín a través de la variabilidad morfológica del fruto.

## LITERATURA CITADA

- Adetula OA (2006) Genetic diversity of *Capsicum* using random amplified polymorphic DNAs. *African Journal of Biotechnology* 5: 120-122.
- Aguilar-Melendez A, Morrell PL, Roose ML, Kim SC (2009) Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chiles (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. *American Journal of Botany* 96: 1190-1202.
- Alcalá-Rico JSGJ, López-Benítez A, Vázquez-Badillo ME, Sánchez-Aspeytia D, Rodríguez-Herrera SA, Pérez-Rodríguez MA, Ramírez-Godina F (2019) Seed physiological potential of *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* genotypes and their answers to pre-germination treatments. *Agronomy* 9: 1-12. DOI: 10.3390/agronomy9060325.
- Allard RW, Bradshaw AD (1964) Implication of genotype by environmental interaction in applied plant breeding. *Crop Science* 4: 503-506.
- Castañón-Nájera G, Latournerie-Moreno L, Mendoza-Elos M, Vargas-López A, Cárdenas-Morales H (2008) Colección y caracterización de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 77: 189-202.
- De la Cruz-Lázaro E, Márquez-Quiroz C, Osorio-Osorio R, Preciado-Rangel P, Márquez-Hernández C (2017) Caracterización morfológica *in situ* de chile silvestre Pico de paloma (*Capsicum frutescens*) en Tabasco, México. *Acta universitaria* 27: 10-16.
- Díaz A, Quiñones M, Hernández A, del Barrio G (2010) Evaluación de los parámetros analíticos para la detección molecular de potyvirus que afectan al cultivo del pimiento en Cuba. *Revista de Protección Vegetal* 25: 80-87.
- González I, Arias Y, Quiñones M, Miranda I, Rodríguez Y, Peteira B (2011) Variabilidad molecular de genotipos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) del programa de mejoramiento genético para la resistencia a pvy. *Revista de Protección Vegetal* 26: 69-73.
- González-Jara P, Moreno-Letelier A, Fraile A, Piñero D, García-Arenal F (2011) Impact of Human Management on the Genetic Variation of Wild Pepper, *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*. *PLoS ONE* 6: e28715. DOI: 10.1371/journal.pone.0028715.
- Hernández-Verdugo S, Luna-Reyes R, Oyama K (2001) Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* (Solanaceae) from Mexico. *Plant Systematics and Evolution* 226: 129-142.
- López-Báez LI, Taboada-Gaytán OR, Gil-Muñoz A, López PA, Ortiz-Torres E, Vargas-Vázquez MLP, Díaz-Cervantes R (2018) Morpho-agronomic diversity of the runner bean in the central-eastern highland plateau of Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41: 487-497.
- Maiti R, Rodríguez HG, Valencia-Narvaez RI (2015) A Study on autoecology and ecophysiology of chile Piquin (*Capsicum annuum* Aviculare Dierb), a wild chilli of high medicinal and commercial value in Northeast Mexico. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management* 6: 292-299.
- Mohammadi SA, Prasanna BM (2003) Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants-Salient Statistical Tools and Considerations. *Crop Science* 43: 1235-1248. DOI: 10.2135/CROPSCI2003.1235.
- Mondini L, Noorani A, Pagnotta M, Mondini L, Noorani A, Pagnotta MA (2009) Assessing plant genetic diversity by molecular tools. *Diversity* 1: 19-35. DOI: 10.3390/d1010019.

- Mongkolporn O, Taylor PW (2011) *Capsicum*. In: Kole Ch (ed) Wild crop relatives: Genomic and breeding resources. Springer. Berlin, Heidelberg. pp: 43-57.
- Narez-Jiménez CA, de la Cruz-Lazaro E, Gómez-Vázquez A, Castañón-Nájera G, Cruz-Hernández A, Márquez-Quiroz C. (2014) La diversidad morfológica *in situ* de chiles silvestres (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 209-215.
- Nirala R, Chittaranjan K (2019) *The Capsicum Genome*. Springer Nature. Cham, Switzerland. 244p.
- Onamu R, Legaria SJP, Sahagún CJ, Rodríguez de la OJ, Pérez NJ (2012) Análisis de marcadores morfológicos y moleculares en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 267-277.
- Ornelas-Ramírez CE, Hernández-Verdugo S, Retes-Manjarrez JE, Valdez-Ortiz A, Pacheco-Olvera A, Osuna-Enciso T, Porras F (2021) Phenotypic variation among and within three peppers species (*Capsicum*) from Mexico. *Phyton* 90: 259-275
- Pickersgill B (1988) The genus *Capsicum*: a multidisciplinary approach to the taxonomy of cultivated and wild plants. *Biologisches Zentralblatt* 107: 381-389.
- Rakshit S, Ganapathy KN, Gomashe SS, Rathore A, Ghorade RB, Nagesh KVM, Ganesmurthy K, Jain SK, Kamtar MY, Sachan JS, Ambekar SS, Ranwa BR, Kanawade DG, Balusamy M, Kadam D, Sarkar A, Tonapi VA, Patil J V (2012) GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica* 185: 465-479.
- Rodríguez Y, Depestre T, Gómez O (2007) Obtención de líneas de pimiento (*Capsicum annuum*) progenitoras de híbridos F1, resistentes a enfermedades virales, a partir del estudio de cuatro sub-poblaciones. *Ciencia e investigación agraria* 34: 237-242.
- Rodríguez-del Bosque LA (2005) Preferencia del consumidor por el chile piquín en comparación con otros chiles en el noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 279-281.
- Sassone AB, Giussani LM, Guaglianone ER (2013) Multivariate studies of *Ipheion* (Amaryllidaceae, Alliioideae) and related genera. *Plant Systematics and Evolution* 299: 1561-1575.
- Ulukan H (2011) The use of plant genetic resources and biodiversity in classical plant breeding. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science* 61: 97-104.
- Vaezi B, Pour-Aboughadareh A, Mohammadi R, Armion M, Mehraban A, Hossein-Pour T, Dorii M (2017) GGE Biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications* 45: 500-511.
- Villota-Cerón D, Bonilla-Betancourt ML, Carmen-Carrillo H, Jaramillo-Vásquez J, García-Dávila MA (2012) Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica C.I. Palmira, Colombia. *Acta Agronómica* 61: 16-26.
- Yan W, Kang MS, Wood S, Cornelius PL (2007) GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science* 47: 643-655.
- Yan W, Tinker NA (2006) Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623-645.
- Yang RC, Crossa J, Cornelius PL, Burgueño J (2009) Biplot analysis of genotype<sup>x</sup> environment interaction: Proceed with caution. *Crop Science* 49: 1564-1576.
- Zhigila DA, AbdulRahaman AA, Kolawole OS, Oladele FA (2014) Fruit Morphology as Taxonomic Features in Five Varieties of *Capsicum annuum* L. Solanaceae. *Journal of Botany* 2014: 1-6. DOI: 10.1155/2014/540868.

Zhong Y, Cheng Y, Ruan M, Ye Q, Wang R, Yao Z, Zhou G, Liu J, Yu J, Wan H (2021) High-throughput SSR marker development and the analysis of genetic diversity in *Capsicum frutescens*. Horticulturae 7: 187. DOI: 10.3390/HORTICULTURAE7070187/S1.