

CARACTERIZACIÓN Y VARIACIÓN ECOGEOGRÁFICA DE POBLACIONES DE CHILE (CAPSICUM ANNUUM VAR. GLABRIUSCULUM) SILVESTRE DEL NOROESTE DE MÉXICO

Sergio Hernández-Verdugo¹, Flor Porras¹, Antonio Pacheco-Olvera¹, Ricardo Guillermo López-España¹, Manuel Villarreal-Romero¹, Saúl Parra-Terraza¹ y Tomás Osuna Enciso²

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Carr. Culiacán-El Dorado Km 17.5. Apdo. Postal 726. Culiacán Sinaloa, México. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México.

Correo electrónico: sergioh2002mx@yahoo.com.mx

RESUMEN

Se analizó la variación geográfica en caracteres morfológicos de 19 poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en sus hábitats naturales en el noroeste de México. Los caracteres medidos fueron: altura de planta, longitud de rama, diámetro de tallo, longitud de pedúnculo, longitud de fruto, anchura de fruto, peso de fruto, número de semillas por fruto y peso de semilla. Los datos de las características morfológicas se examinaron mediante análisis univariados y de componentes principales (CP). Los datos geográficos y climáticos de los sitios de origen de las poblaciones fueron analizados mediante análisis de CP y se correlacionaron con las medias de las características morfológicas. Se encontró amplia variabilidad en la mayoría de las características medidas. Los análisis univariados y de CP diferenciaron claramente a las poblaciones, indicando una elevada variación entre ellas. Las medias de las poblaciones para la longitud, anchura y peso de fruto y número de semillas por fruto se correlacionaron positiva y significativamente con el segundo CP de

las variables geográficas y climáticas de los sitios de origen de las poblaciones. Este segundo CP fue definido principalmente por la temperatura, la altitud y la precipitación media anual. Estos resultados indican 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 *C. annuum* silvestre que crecen en condiciones naturales.

Palabras clave: diferenciación poblacional, fruto, semilla, variación geográfica, variación morfológica.

ABSTRACT

The geographic variation in morphological traits of 19 wild pepper population (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) from northwestern Mexico was analyzed in the field. The traits measured were: plant height, stem diameter, branch length, peduncle length, fruit length, fruit width, fruit weight, number of seeds per fruit, and seed weight. The morphological traits data were analyzed by univariate and principal

component (PC) analysis. The geographical and climatical data of population origin were analyzed by PC analysis and were correlated with morphological traits means. High variability for most of traits measured was found. Populations were clearly differentiated by univariate and PC analysis indicating a high variation among them. The population means of fruit length, fruit width and fruit weight, and number of seeds per fruit were positive and significantly correlated with the second PC of the geographical and climatical variables from population origin sites. This second PC was defined mainly by temperature, altitude and mean annual rainfall. These results indicate that the temperature and the water amount during plant growth and reproduction are important factors in the differentiation of wild *C. annuum* populations in the field.

Key words: Population differentiation, fruit, seed, geographic variation, morphological variation.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la variación morfológica y sus patrones de distribución geográfica es de considerable interés para entender la evolución de las especies vegetales y trabajar en su conservación (Solís-Neffa, 2010). Entre los factores geográficos que influyen en la diferenciación de las poblaciones están el clima, la latitud y la altitud. El clima es considerado uno de los principales factores que afectan la distribución y variación de las especies vegetales debido a que puede actuar directamente sobre los procesos fisiológicos del crecimiento y reproducción o indirectamente a través interacciones ecológicas, tales como la competencia por recursos (Shao y Halpin, 1995). Varios

estudios han mostrado que la precipitación y la temperatura influyen sobre los patrones geográficos de variación morfológica (Solís-Neffa, 2010; Nooryazdan *et al.*, 2010). Particularmente, la producción de frutos y semillas puede depender de la cantidad de agua disponible y la temperatura durante la etapa reproductiva (Graham 2003; Souza *et al.*, 2010). En algunas especies el peso de semilla se correlaciona positivamente con la altitud (Oyama, 1993) y negativamente con la latitud (Koenig *et al.*, 2009).

A partir de la fundación del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI-International Plant Genetic Resources Institute) en 1974 (antes IBPGR-International Board of Plant Genetic Resources) se ha promovido la recolección y conservación de germoplasma que represente un amplio espectro de la variación genética, morfológica y geográfica de los principales cultivos y de sus parientes silvestres más cercanos. Debido a que uno de los principales problemas que ha enfrentado el IPGRI ha sido la carencia de información sobre el rango y los patrones de variación genética y ecológica en poblaciones de cultivos establecidos, razas locales y especies silvestres parientes de las cultivadas, es indispensable el establecimiento de estrategias para la conservación, uso y manejo de los recursos genéticos, con base en la construcción de mapas de origen o rutas de colectas, y en el estudio y comprensión de los patrones ecogeográficos de la variación biológica de estas poblaciones (Damania, 1996).

México es uno de los países con mayor diversidad vegetal y uno de los principales centros de domesticación de plantas en el mundo (Harlan, 1971). En particular el Chile

(*Capsicum* spp.) fue una de las primeras plantas domesticadas en el Continente Americano (MacNeish, 1964). El género *Capsicum* (Solanacea) está conformado por alrededor de 30 especies distribuidas desde el sur de Los Estados Unidos, hasta el norte de Argentina (Pickersgill, 1984). Su número de cromosomas básico es $n = 12$, excepto *C. ciliatum* que tiene un número básico de $n = 13$ (Pickersgill, 1991). Su centro de origen es América del Sur con 22 especies endémicas (Hunziker, 1979). Del género han sido domesticadas *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens* (Pickersgill, 1984). Se considera que *C. annuum* ha sido domesticada en México (Pickersgill, 1984) y de todas las especies domesticadas es la de mayor importancia económica y la que presenta mayor variabilidad en tamaño, forma, y color de sus frutos. A ella pertenecen los chiles “de árbol” o “cola de rata”, “anchos”, “serranos”, “jalapeños” y “morrón”, entre otros.

Las plantas de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill), conocidas comúnmente como chiles “chiltepines” son perennes, herbáceas o trepadoras. Sus flores son blancas, solitarias, raramente de dos a tres pares. Pedúnculo largo y delgado, cáliz truncado; corola blanca raramente verdosa; anteras de color violeta a azul, filamentos cortos y frutos pequeños, globosos u ovoides, erectos y deciduos (D’Arcy & Esbaugh, 1974). Sus frutos rojos, pequeños y picantes son comidos por las aves las cuales dispersan sus semillas. Las poblaciones de chile silvestre se distribuyen ampliamente por todo el territorio mexicano. Es posible encontrarlas en sitios imperturbados de la selva baja caducifolia, así como a orillas

de los caminos, en huertos, potreros y bajo la vegetación remanente a orillas de los campos de cultivo (Hernández-Verdugo *et al.*, 1999).

Los parientes silvestres de las plantas cultivadas son un recurso genético importante que constituye un acervo de genes primario, lo cual puede ayudar a resolver problemas de la agricultura actual, tales como tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades, y aumentar la calidad y cantidad de la producción (Hernández Verdugo *et al.*, 1998). Estudios previos con isoenzimas y marcadores moleculares RAPDs han mostrado que las poblaciones de *C. annuum* silvestre mantienen altos niveles de variación genética dentro y entre sus poblaciones (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001a; Oyama *et al.*, 2006). Estas poblaciones también variaron significativamente en la resistencia contra el geminivirus PHV (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001b) y en la capacidad de germinación de sus semillas (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001c, 2010). Los objetivos del presente estudio fueron: 1) recolectar, caracterizar y determinar los patrones de variación morfológica de 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre con crecimiento en condiciones naturales y 2) relacionar la variación morfológica con la variación climática de los sitios de colecta.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitios de colecta

Se evaluaron *in situ* caracteres morfológicos y se recolectaron frutos maduros de 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre distribuidas en un gradiente latitudinal en los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit del noroeste de México, durante octubre

a diciembre del 2008. Las latitudes y longitudes cubrieron intervalos desde 29° 55' 59" hasta 21° 28' 58" latitud Norte y 109° 59' 41" a 105° 05' 19" longitud Oeste (Fig. 1). La altitud varió entre 61 y 582 m. La precipitación y la temperatura media anual estuvieron entre 384 y 1 237 mm y 21.1 y 25.7 °C, respectivamente (cuadro 1).

Características medidas

Se evaluaron nueve caracteres morfológicos de 10 plantas de cada población. Los caracteres fueron altura de la planta (cm), longitud de la rama a la altura media del tallo principal (cm), diámetro en la base del tallo (mm), longitud de pedúnculo (mm), longitud (mm), anchura (mm), peso (mg) y número de semillas por fruto y peso de semilla (mg). La altura de la planta, diámetro de tallo y longitud de la rama fueron medidos *in situ*. Los frutos maduros de cada planta se guardaron en bolsas de papel y se trasladaron al Laboratorio de Recursos Genéticos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde se midieron, pesaron y contabilizaron el número de las semillas de 10 frutos por planta y por población. El peso de semilla se obtuvo pesando individualmente cinco semillas de cinco frutos de cada planta. Los frutos y las semillas se pesaron en una balanza analítica (Sartorius), con un margen de precisión de 0.1 mg.

Análisis de los datos

Los datos morfológicos se analizaron mediante análisis de varianza de una vía y de componentes principales. Cuando las diferencias de los análisis univariados fueron significativas ($P < 0.05$) se hicieron pruebas múltiples de medias (Tukey-Kramer). Se

estimaron la media, desviación estándar y coeficiente de variación. Los factores geográficos y climáticos de los sitios de recolecta estuvieron significativamente correlacionados ($r = 0.68$), lo que indicó multicolinealidad alta entre ellos. Debido a que la multicolinealidad de los datos produce desviaciones ecológicas, la relación entre la variación morfológica y los factores climáticos de los sitios de recolecta fue analizada mediante regresión sobre los componentes principales (Graham, 2003). Para esto, primero se efectuó un análisis de componentes principales sobre las variables climáticas y geográficas de los sitios de origen de las poblaciones. Posteriormente se utilizaron los componentes principales como variables independientes y las características morfológicas como variables dependientes. Todos los análisis se efectuaron con el paquete estadístico JMP (SAS, 1995).

RESULTADOS

Estadísticos descriptivos

La altura de la planta varió de 76 a 500 cm, mientras que el largo de la rama varió desde 42 hasta 300 cm. El diámetro de tallo estuvo en un intervalo de 0.4 hasta 6.9 cm y la longitud del pedúnculo varió de 15.3 a 44.1 mm. En los frutos, la longitud y la anchura estuvieron entre los valores mínimos y máximos de 4.0 a 9.6 mm y 2.7 a 9.0 mm, respectivamente. El número de semillas por fruto varió ampliamente, desde una hasta 41 con una media de 15.1. El peso individual de las semillas varió desde 1.0 hasta 6.9 mg, con media de 2.9 mg (cuadro 2).

Las características vegetativas como longitud de rama, diámetro de tallo, y altura

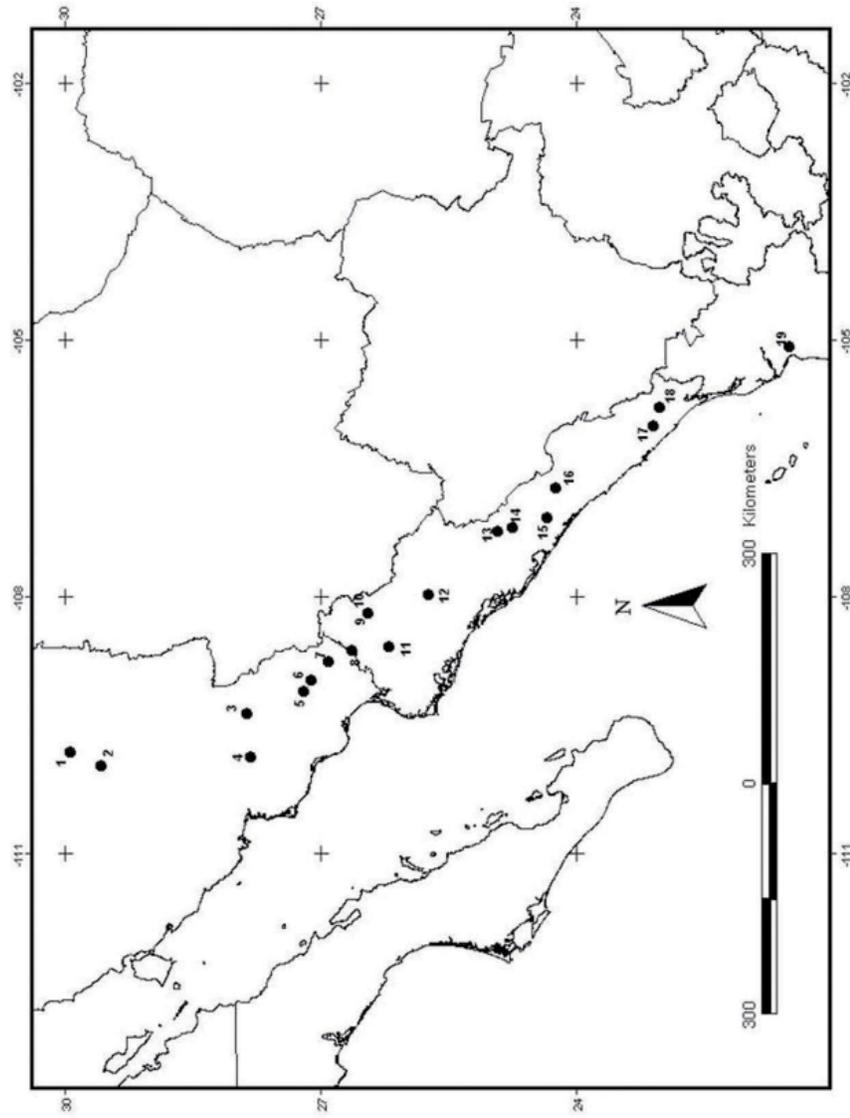


Fig. 1. Localización de las 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre recolectadas en el noroeste de México. Los números corresponden a las poblaciones del cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones climáticas de los sitios de recolecta de las 19 poblaciones de *C. annuum*. PMA = precipitación media anual, TMA = temperatura media anual.

Población	Altitud (m)	PMA (mm)	TMA (°C)
1. Llano Colorado	552	682	22.8
2. Montosa Mazocahui	326	586	21.1
3. El Cardón	455	712	22.1
4. Presa Oviachic	582	389	25.5
4. Mocuzari	105	384	24.7
6. Piedras Verdes	288	647	22.8
7. Rancho el Coyote	349	534	23.1
8. Buyubampo	225	632	25.1
9. Yecorato Mezquite	405	855	24.1
10. Yecorato Camino	392	855	24.1
11. Lo de Vega	116	670	23.4
12. Texcalama	296	751	25.2
13. Pozo de Imala	155	1 138	25.0
14. Alcoyonqui	130	894	24.8
15. Las Flores	87	543	25.5
16. Sabinal	326	849	25.7
17. Tablón Viejo	61	923	25.2
18. Piedras Lisas	115	1 060	25.1
19. Cuero de Vaca	487	1 237	22.8

Cuadro 2. Medias, desviación estándar (DE), valores mínimos, máximos y coeficientes de variación (CV) de las características medidas en 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre.

Característica	Media	DE	Mínimo	Máximo	CV
Altura de planta (cm)	177.8	59.4	76.0	500.0	33.4
Longitud de rama (cm)	108.4	45.3	42.0	300.0	41.8
Diámetro de tallo (cm)	2.6	1.1	0.4	6.9	42.8
Longitud de pedúnculo (mm)	25.0	4.2	15.3	44.1	17.0
Longitud de fruto (mm)	6.7	1.1	4.0	9.6	15.7
Anchura de fruto (mm)	5.9	0.9	2.7	9.0	14.8
Peso de fruto (mg)	71.1	31.3	12.1	206.8	44.0
Número de semillas por fruto	15.1	6.4	1.0	41.0	42.0
Peso de semilla (mg)	2.9	1.1	1.0	6.9	38.7

de la planta, y reproductivas como peso de fruto, número de semillas por fruto y peso de las semillas mostraron CV cercanos o superiores a 40%. Sólo la longitud del pedúnculo, longitud del fruto y anchura del fruto tuvieron CV alrededor de 15%. El CV promedio de las nueve características fue 32.23%.

Variación morfológica entre poblaciones

Las plantas de *C. annuum* silvestre mostraron diferencias significativas entre sus poblaciones en todas las características (cuadros 3 y 4).

Altura de planta. Las poblaciones Texcalama y Piedras Lisas tuvieron altura media de planta superior a 250 cm, mientras que en la población Lo de Vega fue 120 cm. El resto de las poblaciones presentaron entre 150 y 200 cm (cuadro 3).

Longitud de rama. Las poblaciones Yecorato Mezquite, Yecorato Camino y Buyubampo presentaron la mayor longitud de rama, con media superior a 150 cm y contrastaron con las poblaciones Tablón Viejo, Mazocahui y Pozo de Imala que tuvieron ramas menores a 80 cm (cuadro 3).

Diámetro de tallo. Las poblaciones Piedras Lisas y El Cardón tuvieron diámetro de tallo promedio superior a 40 mm, mientras que la población Lo de Vega mostró un diámetro de tallo promedio menor a 10 mm. El resto de las poblaciones mostró un diámetro de tallo promedio de 19 a 30 mm (cuadro 3).

Longitud de fruto, anchura de fruto, peso de fruto, número de semillas por fruto y peso de semilla. La población Cuero de Vaca se caracterizó por tener los frutos más largos (8.7 mm), más anchos (7.2 mm), con mayor peso (143.5 mg), con mayor número

Cuadro 3. Medias de las características altura de planta (APL), longitud de rama (LRA), diámetro de tallo (DTA) y longitud de pedúnculo (LPE) en 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre.

Población	Carácter			
	APL (cm)	LRA (cm)	DTA (mm)	LPE (mg)
Llano Colorado	171.2 bcd	85.3 d	23.3 c	23.2 cde
Mazocahui	142.4 bcd	78.4 d	30.3 abc	22.3 h
El Cardón	217.5 ab	105.5 bcd	40.6 a	25.3 bcd
Presa Oviachic	154.8 bcd	82.9 d	28.6 abc	26.1 bcd
Mocuzari	197.7 bc	90.9 d	27.2 abc	24.5 cde
Piedras Verdes	211.6 abc	100.7 cd	27.5 abc	24.9 cde
Rancho el Coyote	154.2 bcd	108.5 bcd	37.4 sb	26.9 bc
Buyubampo	143.4 bcd	154.6 abc	22.8 cd	22.6 efg
Yecorato	195.2 bcd	189.8 a	19.3 d	25.7 bc
Mezquite				
Yecorato	170.0 bcd	156.5 ab	29.3 abc	28.1 ab
Camino				
Lo de Vega	120.3 d	129.2 bcd	9.3 e	24.6 cde
Texcalama	283.5 a	130.1 bcd	21.7 cd	21.7 i
Pozo de Imala	160.3 bcd	79.5 d	20.1 d	26.4 bcd
Alcoyonqui	192.7 bcd	101.0 cd	23.8 bc	24.4 cde
Las Flores	174.8 bcd	82.8 d	2.01 d	25.6 bcd
Sabinal	169.0 bcd	87.6 d	26.3 abc	26.2 bcd
Tablón Viejo	172.4 bcd	73.3 d	26.1 abc	22.2 hi
Piedras Lisas	250.0 ab	105.0 bcd	41.3 a	31.3 a
Cuero de Vaca	124.8 cd	93.0 cd	20.4 cd	26.5 bcd
<i>F</i>	6 6.1399	13.6177	6.5069	12.5816
<i>P</i>	< 0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Medias con las mismas letras en cada columna son estadísticamente similares (Tuckey; $P \leq 0.05$).

Cuadro 4. Medias de las características longitud de fruto (LFR), anchura de fruto (AFR), número de semillas por fruto (NSF) y peso de semilla (PSE) en 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre.

Población	Carácter				
	LFR (mm)	AFR (mm)	PFR (mg)	NSF	PSE (mg)
Llano Colorado	6.2 f	6.1 bc	61.4 def	12.8 ef	2.7 f
azocahui	6.5 ef	5.9 c	74.3 cde	15.2 cd	3.2 cd
El Cardón	6.5 ef	5.7 de	63.6 def	18.8 b	2.1 g
Presa Oviachic	6.4 ef	5.8 d	47.4 ef	16.9 bc	1.7 h
Mocuzari	6.5 ef	5.6 e	59.1 def	12.5 ef	2.5 f
Piedras Verdes	6.6 def	5.8 d	74.3 cd	14.5 de	3.4 bc
Rancho el Coyote	6.7 cde	6.4 b	81.4 cd	15.9 cd	3.1 cd
Buyubampo	6.4 ef	5.9 c	69.7 de	16.5 bc	2.8 e
Yecorato Mezquite	7.6 b	6.2 bc	81.6 cd	17.2 bc	3.3 cd
Yecorato Camino	7.1 bcd	6.2 bc	77.0 cd	15.7 cd	3.6 b
Lo de Vega	6.5 ef	5.8 d	75.9 cd	15.4 cd	3.4 bc
Texcalama	6.7 cde	7.0 a	106.2 b	17.5 bc	3.5 b
Pozo de Imala	6.2 f	5.7 de	61.4 def	10.5 f	3.2 cd
Alcoyonqui	7.1 bcd	6.1 bc	61.0 def	12.4 ef	2.7 f
Las Flores	6.2 f	5.2 h	64.3 cde	12.2 de	3.0 d
Sabinal	7.2 bc	5.8 d	61.6 cde	14.7 de	2.6 f
Tablón Viejo	5.5 g	4.7 i	39.1 f	11.2 ef	1.9 gh
Piedras Lisas	7.9 ab	7.1 a	108.7 ab	21.1 ab	3.1cd
Cuero de Vaca	8.7 a	7.2 a	143.5 a	24.3 a	4.0 a
<i>F</i>	25.6513	23.8211	32.1768	14.6277	77.1794
<i>P</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Medias con las mismas letras en cada columna son estadísticamente similares (Tuckey; $P \leq 0.05$).

de semillas (24.3) y semillas más pesadas (4.0 mg). En contraste, la población Tablón Viejo presentó las plantas con los frutos más cortos (5.5 mm), menos anchos (4.7 mm) y de menor peso (39.1 mg). Las poblaciones Pozo de Imala y Tablón Viejo tuvieron las plantas con el menor número de semillas por fruto, con promedios de 10.5 y 11.2 semillas por fruto, respectivamente. Las poblaciones Presa Oviachic y Tablón Viejo presentaron la semillas de menor peso, con promedios de 1.7 y 1.9 mg, respectivamente (cuadro 4).

Los primeros tres componentes principales explicaron 78.73% de la variación (cuadro 5). El primer explicó 48.34% de la variación y fue definido principalmente por las características reproductivas, como peso de fruto, anchura de fruto, longitud de

fruto y número de semillas por fruto, todas correlacionadas positivamente. El segundo componente principal explicó 18.89% y estuvo determinado casi exclusivamente por el diámetro de tallo. El tercer componente principal explicó 11.50% de la variación y estuvo determinado principalmente por la característica altura de la planta. Las poblaciones se diferenciaron claramente en el espacio bidimensional de los componentes principales 1 y 2 (Fig. 2). El componente principal 1 separó las poblaciones Cuero de Vaca (19) y Piedras Lisas (18) a la región de frutos largos, anchos, pesados, con mayor número de semillas y semillas más pesadas, mientras que la población Tablón Viejo (17) ocupó la región opuesta. El resto de las poblaciones se distribuyeron en la región intermedia (Fig. 2, cuadro 5). Las poblacio-

Cuadro 5. Resultado del análisis de componentes principales de nueve características en 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre. Las variables con mayor peso están en negritas.

Carácter	CP1	CP2	CP3
Altura de planta (cm)	0.098	0.386	0.744
Longitud de rama (cm)	0.205	-0.250	0.511
Diámetro de tallo (cm)	0.062	0.701	-0.023
Longitud de pedicelo (mm)	0.249	0.357	-0.380
Longitud de fruto (mm)	0.444	0.008	-0.153
Longitud de fruto (mm)	0.445	0.023	0.087
Peso de fruto (mg)	0.450	-0.111	-0.035
Número de semillas por fruto	0.407	0.117	-0.092
Peso de semilla (mg)	0.346	-0.378	0.005
% de varianza explicada	48.34	18.89	11.50
% de varianza acumulada	48.34	67.23	78.73

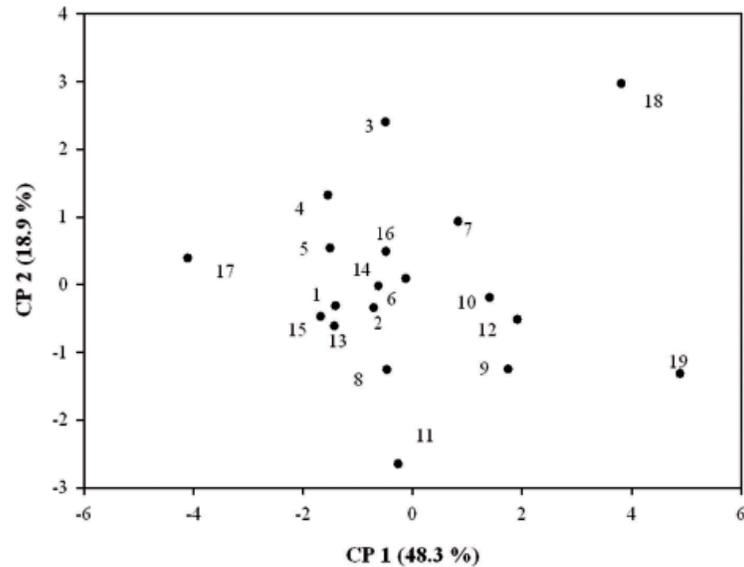


Fig. 2. Diferenciación de 19 poblaciones de *Capsicum annuum* silvestre sobre los componentes principales 1 y 2. Los números corresponden a las poblaciones del cuadro 1.

nes Cuero de Vaca (19) y Piedras Lisas (18) fueron diferenciadas por el componente principal 2. Este segundo componente colocó a las poblaciones Piedras Lisas (18) y El Cardón (3) en la región de mayor diámetro de tallo y a la población Lo de Vega (11) en la región opuesta (Fig. 2, cuadro 5).

Asociación entre la variación morfológica y los principales factores climáticos y geográficos de los sitios de recolecta.

El análisis multivariado de componentes principales efectuado con los datos climáticos y geográficos de los sitios de recolecta mostró que los primeros dos componentes explicaron 85.27% de la varianza total (cuadro 6). El primer componente explicó 60.60% de la varianza y estuvo deter-

minado principalmente por la longitud y la latitud correlacionadas positivamente. El segundo componente estuvo definido por la temperatura media anual, que se correlacionó negativamente con la altitud y la precipitación media anual, y explicó 24.67% de la variación. Este segundo componente principal se correlacionó positiva y significativamente con la longitud, anchura, peso y número de semillas por fruto (Fig. 3), lo que indica que a mayor altitud y cantidad de precipitación y menor temperatura las plantas produjeron frutos más largos, anchos, pesados y con más semillas.

DISCUSIÓN

El diámetro de tallo, longitud de rama, altura de planta, peso de fruto, número de semi-

Cuadro 6. Resultado de análisis de componentes principales de las variables climáticas y geográficas de los sitios de colecta de las poblaciones de *C. annuum* estudiadas. Las variables con mayor peso están en negritas.

Variable	CP1	CP2
Latitud	0.557	-0.032
Longitud	0.560	-0.176
Altitud	0.290	0.586
Precipitación media anual	-0.444	0.528
Temperatura media anual	-0.307	-0.588
% de varianza explicada	60.60	24.67
% de varianza acumulada	60.60	85.27

llas por fruto y peso de semilla mostraron CV superiores a 30%, indicando que estas características presentan amplia variación en las poblaciones de *C. annuum* silvestre estudiadas. Otros investigadores han considerado que CV superiores a 20% indican la presencia de variación elevada dentro de poblaciones o especies vegetales útiles para la agricultura y la alimentación. Adebola y Morakinyo (2006), Nooryazdan *et al.* (2010) y Lewu *et al.* (2007) interpretaron los CV mayores a 20% como la presencia de una amplia variación dentro de poblaciones y especies de los géneros *Cola*, *Heliantus* y *Polorgonium*, respectivamente.

Los análisis de varianza y de componentes principales diferenciaron las poblaciones estudiadas. La variabilidad entre las poblaciones concuerda con los estudios isoenzimáticos (Hamrick y Godt, 1997), con RAPDs (Bussell, 1999) y con caracteres fenotípicos (Rice y Mack, 1991) que han indicado que

las especies vegetales con autofecundación muestran diferenciación significativa entre sus poblaciones. Estos resultados coinciden con los reportados previamente por Hernández Verdugo *et al.* (1998 y 2008) quienes reportaron que las poblaciones silvestres de *C. annuum* del noroeste de México se diferenciaron significativamente en varios caracteres morfológicos medidos en condiciones naturales y de invernadero. Los resultados también concuerdan la variación elevada entre y dentro de las poblaciones de *C. annuum* del noroeste de México estimada con isoenzimas y RAPDs (Hernández Verdugo *et al.*, 2001; Oyama *et al.*, 2006).

La longitud, anchura, peso de fruto y cantidad de semillas por fruto se correlacionaron positiva y significativamente con el segundo componente principal obtenido con los factores climáticos de los sitios de recolecta, definido principalmente por la temperatura y la precipitación media anual, indicando

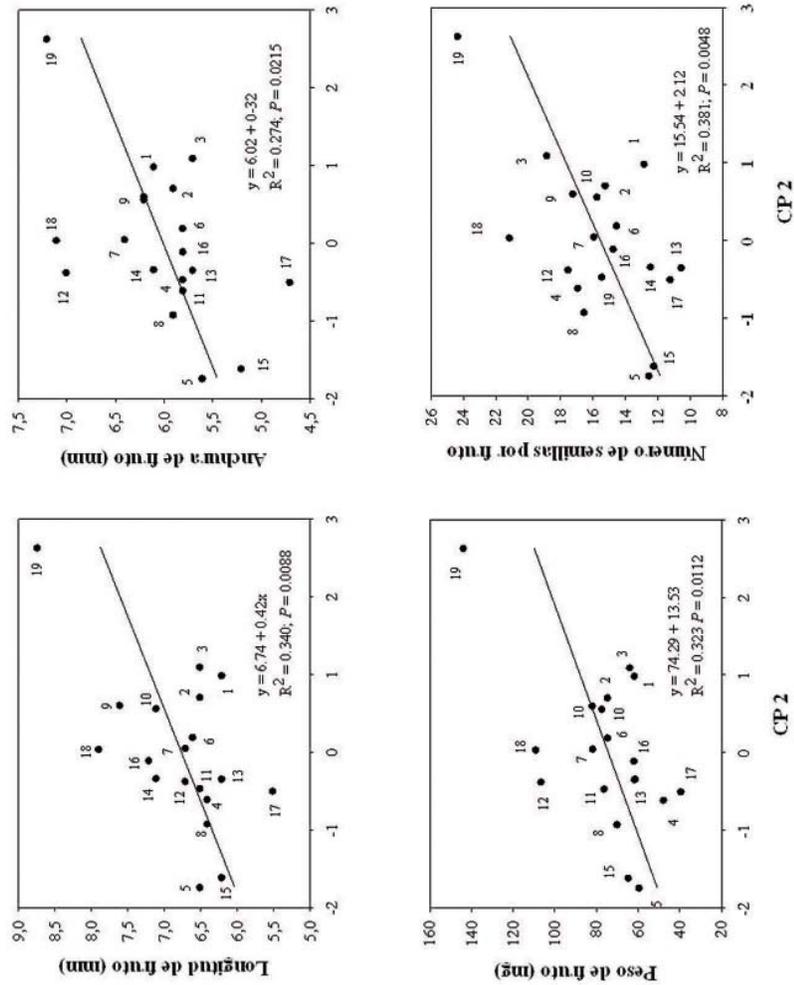


Fig. 3. Relaciones del Componente Principal 2 obtenido con las variables geográficas y climáticas de los sitios de colecta de 19 poblaciones de *C. annuum* silvestre con las características longitud de fruto (A), anchura de fruto (B), peso de fruto (C) y número de semillas por fruto (D).

que estas características del fruto dependen ampliamente de la temperatura y humedad disponible durante el crecimiento de las plantas. Al respecto, la población Cuero de Vaca que se caracterizó por sus frutos largos, anchos, pesados y con mayor número de semillas (cuadro 4) correspondió al sitio con la mayor precipitación anual y temperatura baja, en relación a las demás poblaciones (cuadro 1). En contraste, las poblaciones Presa Oviachic y Las Flores que fueron de las poblaciones con los frutos más pequeños, de menor peso y con menor número de semillas, estuvieron en los sitios con menores medias anuales de precipitación y temperaturas elevadas.

Otros estudios han demostrado la relación entre los factores climáticos y geográficos con los patrones de variación de frutos y semillas de varias especies vegetales. Oyama (1993) encontró que el peso de semilla en *Arabis serrata* se correlacionó positivamente con la altitud y negativamente con la temperatura, mientras que Koenig *et al.* (2009) reportaron que el peso de fruto en *Quercus macrocarpa* se correlacionó negativamente con la latitud. Souza *et al.* (2010) encontraron que la cantidad de precipitación durante la etapa reproductiva de *Araucaria angustifolia* se relacionó positiva y significativamente con la producción de frutos y semillas.

La correlación entre la variación morfológica y los factores climáticos de los sitios de origen de las poblaciones estudiadas, indicó que la temperatura y la cantidad de agua disponible por las plantas durante su crecimiento tienen efecto en las diferencias de las poblaciones de *C. annuum* var. *glabriusculum* en su ambiente natural.

Debido a que las características que se correlacionaron significativamente con los factores climáticos de los sitios de recolecta están relacionadas con la adecuación, es posible que las poblaciones de chiles silvestre del noroeste de México sean afectadas por el aumento de la temperatura y niveles bajos de humedad provocados por el cambio climático (Gruber y Galloway, 2008). En décadas recientes se ha evidenciado que el cambio climático global como resultado de las actividades humanas, ha alterado la distribución y abundancia de las especies (Hu *et al.*, 2010) y que esta tendencia continuará (Anderson *et al.*, 2009); ya que se estima que los cambios principales son el aumento de la temperatura y la variación de la precipitación (Gruber y Galloway, 2008).

CONCLUSIONES

Las poblaciones de *C. annuum* silvestre del noroeste de México mantienen elevada variación en las características morfológicas medidas dentro y entre de ellas indicando que esta especie es un recurso genético valioso que debe ser estudiado para mejorar su uso y conservación. Las características tamaño, peso y número de semillas por fruto se correlacionaron significativamente con la precipitación y la temperatura media anual de los sitios de origen de las poblaciones, indicando que estas características del fruto dependen de dichas condiciones ambientales durante el crecimiento de las plantas de *C. annuum* en su ambiente natural. Es posible que *C. annuum* silvestre del noroeste de México sea afectado por el cambio climático global en el planeta producto de las actividades humanas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Sinaloa (proyecto PROFAPI 2010/061) y al CONACYT (proyecto 106129) por el apoyo financiero otorgado a este estudio. A Heriberto Luna Barraza y Fharid A. Lerma Velarde por su asistencia en el trabajo de campo y laboratorio. A los revisores por sus valiosas sugerencias que ayudaron a mejorar este artículo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, B.J.; H.R. Akcakaya, M.B. Araujo, D.A. Fordham, E.M. Martinez., W. Thuiller y B.W. Brook, 2009. "Dynamics of range margins for metapopulations under climate change". *Proc. Royal. Soc. London Serie B*, **276**: 1415-1420.
- Adebola, P.O. y J.A. Morakinyo, 2006. "Evaluation of morpho-agronomic variability of wild and cultivated kola (Cola species Schott *et* Endl.) in South Western Nigeria". *Gen. Res. Crop Evol.*, **53**: 687-694.
- Bussell, D., 1999. "The distribution of random amplified polymorphic DNA (RAPD) diversity amongst populations of *Isotoma petraea* (Lobeliaceae)". *Mol. Ecol.*, **88**: 775-789.
- Damania, A.B., 1996. "Biodiversity conservation: a review of options complementary to standard *ex situ* methods". *Plant Genet. Resour. Newslett.*, **107**: 1-18.
- D'Arcy W.G. y Eshbaugh W.H., 1974. New World peppers (*Capsicum*-Solanaceae) north of Colombia. *Baileya*, **19**: 93-103.
- Graham, M.H., 2003. "Confronting multicollinearity in ecological multiple regression". *Ecology*, **84**: 2809-2815.
- Gruber, N. y J.N. Galloway, 2008. "An earth system perspective of the global nitrogen cycle". *Nature*, **451**: 293-296.
- Hamrick, J.T. y M.J.W. Godt, 1997. "Allozyme diversity in cultivated crops". *Crop Sci.*, **37**: 26-30.
- Harlan, J.R., 1971. "Agricultural origins: centers and no centers". *Science*, **174**: 468-474.
- Hernández-Verdugo, S., R.G. Guevara-González, R.F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yanes y K. Oyama, 1998. "Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) como recursos genéticos". *Bol. Soc. Bot. Méx.*, **62**: 171-181.
- Hernández-Verdugo, S., P. Dávila y K. Oyama, 1999. "Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*". *Bol. Soc. Bot. Méx.*, **64**: 65- 84.
- Hernández-Verdugo S., R. Luna-Reyes y K. Oyama, 2001a. "Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annum* from Mexico", *Plant Syst. Evol.*, **226**: 129-142.
- Hernández-Verdugo, S., R.G. Guevara-González, R.F. Rivera-Bustamante y K. Oyama, 2001b. "Screening wild plants of *Capsicum annum* for resistance to pepper huasteco

- virus: presence of viral DNA and differentiation among populations". *Euphytica*, **122**: 31-36.
- Hernández-Verdugo, S., K. Oyama y C. Vázquez-Yanes, 2001c. "Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico". *Plant Ecol.*, **155**: 245-257.
- Hernández-Verdugo, S., R.G. López-España, P. Sánchez-Peña, M. Villarreal-Romero, S. Parra-Terraza, F. Porras y J.L. Corrales-Madrid, 2008. "Variación fenotípica entre y dentro de poblaciones silvestres de Chile del noroeste de México". *Rev. Fitotec. Mex.*, **31**: 323-330.
- Hernández-Verdugo, S., R.G. López-España, F. Porras, S. Parra-Terraza, M. Villarreal-Romero y T. Osuna-Enciso, 2010. "Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de Chile silvestre". *Agrociencia*, **44**: 667-677.
- Hunziker, A.T., 1979. "South America Solanaceae: a synoptic survey". In: *Biology and Taxonomy of Solanaceae*. Ed. for J.K. Hawkes, R.L. Lester, A.D. Skelding. Linnean Society Symposium, Series, No. 7. Academic Press, New York, pp. 49-85.
- Hu, J., H. Hu y Z. Jiang, 2010. "The impacts of climate change on the wintering distribution of an endangered migratory bird". *Oecologia*, **164**: 555-565.
- Koenig, W.D., J.M. Knops, J. L. Dickinson y B. Zuckerber, 2009. "Latitudinal decrease in acorn size in Bur oak (*Quercus macrocarpa*) is due to environmental constraints, not avian dispersal". *Can. J. Bot.*, **87**: 349-356.
- Lewu, F.B., D.S. Grierson y A.J. Afolayan, 2007. "Morphological diversity among accessions of *Pelargonium sidoides* DC. in the Eastern Cape, South Africa". *Gen. Res. Crop Evol.*, **54**: 1-6.
- MacNeish, R.S., 1964. "Ancient Mesoamerican civilization". *Science*, **143**: 531-537.
- Nooryazdan, H.; H. Serieys, R. Baciliéri y J. David, 2010. "Structure of wild annual sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions based on agromorphological traits". *Gen. Res. Crop Evol.*, **57**: 27-39.
- Oyama, K., 1993. "Geographic differentiation among populations of *Arabis serrata* Fr. & Sav. (Brassicaceae)". *J. Plant Res.*, **106**: 15-24.
- Oyama, K., Hernández-Verdugo S., C. Sánchez, A. González-Rodríguez A., P. Sánchez-Peña, J.A. Garzón-Tiznado y A. Casas, 2006. "Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* (Solanaceae) from Mexico as revealed by RAPD". *Gen. Res. Crop Evol.*, **53**: 553-562.
- Pickersgill, B., 1984. "Migration of chili peppers, *Capsicum* spp. in the Americas". In: *Papers of the Peabody Museum of Archeology and Ethnology*. Ed. for Stone D. vol. 76. Harvard University Press, pp. 105-123.

Hernández-Verdugo, S. et al.: Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile silvestre del NE de Méx.

- Pickersgill B., 1991. "Cytogenetics and evolution of *Capsicum* L". En: Tsuchiya T. y Gupta P.K. (Edrs.) *Chromosome engineering in plants: Genetics, breeding, evolution*. Part B. Elsevier, Amsterdam, pp. 139-160.
- Rice, K.J., R.N. Mack, 1991. "Ecological genetics of *Bromus tectorum*. I. A hierarchical analysis of phenotypic variation". *Oecologia*, **88**: 77-83.
- SAS Institute, 1995. "Statistical and Graphical Guide". SAS Institute Inc. Cary, North Caroline.
- Shao, G., P.N. Halpin, 1995. "Climatic control of eastern North American coastal tree and shrub distribution". *J. Biogeograph.*, **22**: 1083-1089.
- Solis-Neffa, V.G., 2010. "Geographic patterns of morphological variation in *Turnera sidoides* subsp. *pinnatifida* (Turneraceae)". *Plant Syst. Evol.*, **284**: 231-253.
- Souza, A.F., D.U. de Matos, C. Forgiarini, J. Martínez, 2010. "Seed crop size variation in the dominant South American conifer *Araucaria agustifolia*". *Acta oecologica*, **36**: 126-134.

Recibido: 31 enero 2011. Aceptado: 20 septiembre 2011.