UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Universidad Autónoma
de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

TESIS

PATRONES DE VARIACIÓN MORFOLÓGICA EN CHILE SILVESTRE (*Capsicum annuum var. glabriusculum*) DEL NOROESTE DE MÉXICO.

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA:
JUAN JOSÉ GARCÍA GERARDO

DIRECTOR DE TESIS
DR. SERGIO HERNÁNDEZ VERDUGO

CO-DIRECTOR DE TESIS
DR. SAÚL PARRA TERRAZA

CULIACÁN DE ROSALES, SINALOA, FEBRERO DE 2012

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **JUAN JOSÉ GARCÍA GERARDO** BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Universidad Autónoma de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR _____

DR. SERGIO HERNÁNDEZ VERDUGO

CO-DIRECTOR _____

DR. SAÚL PARRA TERRAZA

ASESOR _____

DR. MANUEL VILLARREAL ROMERO

CULIACÁN DE ROSALES, SINALOA, FEBRERO DE 2012

Universidad Autónoma
de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

A Juan José García Gerardo y Sonia Armida Gerardo López, quienes con todo su amor y apoyo incondicional me alentaron a seguir adelanté. A quien sin escatimar tiempo y esfuerzo han logrado fomentar mis valores y deseos de superación, además de convertirme en un hombre de provecho, gracias a ustedes he logrado concluir una meta más en mi vida y espero seguir contando con su valioso apoyo, porque estos logros han sido también suyos. Por esto y más….! Gracias!

A MIS HERMANOS

A Juan Carlos García Gerardo y Sonia Armida García Gerardo, por apoyarme con sus palabras y por darme ánimos.

A MI ABUELA

Armida López Higuera (DEP), por todo su amor, cariño y consejos para superarme.

A MI FAMILIA

Por todo su apoyo y su consejo los cuales me alentaron a seguir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

A Badrolilia Castro Chávez

Quien me apoyo en todos los momentos y me aliento a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, por brindarme la oportunidad de realizar estudios de posgrado en uno de sus programas reconocidos por el CONACYT. Asimismo, por el apoyo que me proporcionó con beca a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado, hasta antes de recibir la beca CONACYT.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnologia (CONACYT) por el financiamiento (Proyecto: 106129) y por la beca otorgada.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por su apoyo en el Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI).

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias, por darme la oportunidad de estudiar la Maestria en Ciencias Agropecuarias, incluida en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.

A la Facultad de Agronomía y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por facilitarme los medios para estudiar la Maestria en Ciencias Agropecuarias en sus aulas, bibliotecas, laboratorios y campos experimentales.

Al Dr. Sergio Hernández Verdugo, por su comprensión, tiempo y paciencia, me ayudo a obtener nuevos conocimientos y para la culminación de esta tesis.

Al M.C. Ricardo López España, por su apoyo que me proporciono durante mis estudios en la Maestría en Ciencias Agropecuarias.

A todos mis maestros, que con su apoyo obtuve nuevos conocimientos, para crecer profesionalmente.

A todos mis compañeros, de estudio y de laboratorio, en quienes encontré amistad y apoyo incondicional.

CONTENIDO

		Pág.
ÍNDICE DE CUADROS		i
ÍNDICE DE FIGURAS		ii
RESUMEN		iii
ABSTRACT		v
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	4
III.	HIPÓTESIS	5
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1.	Origen del género *Capsicum*	6
4.2.	El chile silvestre como recurso genético	6
4.3.	Especies domesticadas de *Capsicum*	7
4.4.	Variación genética de *Capsicum annuum* silvestre	8
4.5.	Variación morfológica y su relación con características climáticas y geográficas	8
4.6.	Pérdida de recursos genéticos	9
4.7.	Diversidad genética	9
V.	MATERIALES Y MÉTODOS	11

5.1. Desarrollo del experimento ---------- 11

5.2. Material vegetal y diseño experimental ---------- 11

5.3. Características medidas ---------- 13

5.4. Análisis estadístico ---------- 13

VI. RESULTADOS ---------- 15

6.1. Variación dentro poblaciones ---------- 15

6.2. Variación morfológica entre poblaciones ---------- 16

6.3. Asociación entre las características morfológicas y las variables climáticas y geográficas de los sitios de colecta ---------- 23

VII. DISCUSIÓN ---------- 30

7.1. Variación dentro poblaciones ---------- 30

7.2. Variación entre poblaciones ---------- 30

7.3. Variación morfológica y su relación con los factores climáticos y geográficos ---------- 31

VIII. CONCLUSIONES ---------- 33

IX. LITERATURA CITADA ---------- 34

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Ubicación y condiciones climáticas de los sitios de colecta de las 18 poblaciones de *C. annuum*. PMA= precipitación media anual, TMA= temperatura media anual 12

Cuadro 2. Valores de media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos de las características medidas en las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* silvestre 15

Cuadro 3. Medias de altura de planta (APL), diámetro de tallo (DTA), largo de hoja (LH), ancho de hoja (AH) y número de ramas del tallo principal (NR) de las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* del noroeste de México 17

Cuadro 4. Medias de las características número de frutos (NF), largo de fruto (LF), ancho de fruto (AF), peso de fruto (PF) de las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* del noroeste de México 18

Cuadro 5. Medias de las características número de semillas por fruto (NSF), peso promedio de semilla (PPS), número de semillas por planta (NSP) de las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* del noroeste de México 19

Cuadro 6. Resultado del análisis de componentes principales de 12 características en 18 poblaciones de C. annuum silvestre. Las variables con mayor peso están en negritas 21

Cuadro 7. Resultados de los análisis de regresión lineal entre las variables morfológicas y las variables geográficas y climáticas de los sitios de origen de las poblaciones de *C. annuum* silvestres estudiadas 24

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de origen de las 18 poblaciones de *C. annuum* silvestre estudiadas 13

Figura 2. Dendrograma de las distancias genéticas entre las 18 poblaciones silvestres de *C. annuum* 20

Figura 3. Grafica de dispersión de 18 poblaciones de chile silvestre 22

Figura 4. Relación entre altura de planta y Latitud (A), Longitud (B), Altitud (C), precipitación media anual (D), temperatura media anual (E) y número de ramas con la precipitación media anual (F) de los sitios de origen de las 18 poblaciones de *C. annuum* 26

Figura 5. Relación entre número de frutos y Latitud (A), Longitud (B), Altitud (C) y precipitación media anual (D) de las 18 poblaciones de *C. annuum* 27

Figura 6. Relación entre largo de frutos y Latitud (A), Longitud (B), y precipitación media anual (C), y ancho de fruto con temperatura media anual (D) de las 18 poblaciones de *C. annuum* 28

Figura 7. Relación entre número de semillas por planta y Latitud (A), Longitud (B), Altitud (C), precipitación media anual (D), número de semillas por fruto y Altitud (E) y peso de semilla con precipitación media anual (F) de los sitios de origen de las 18 poblaciones de *C. annuum* 29

Universidad Autónoma de Sinaloa
FACULTAD DE AGRONOMIA
Coordinación de Posgrado
Culiacán, Sinaloa, México.

RESUMEN

Se analizó la variación morfológica dentro y entre 18 poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum var. glabriusculum*) del noroeste de México y su relación con los principales factores climáticos y geográficos de los sitios de origen. Los caracteres medidos fueron: altura de planta, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, número de ramas, número de frutos, peso de fruto, largo y ancho de fruto , número de semillas por fruto, peso promedio de semilla y número de semillas por planta. El análisis de una vía mostró una elevada variación dentro de las poblaciones en la mayoría de las características medidas. Los CV variaron de 18.68 (peso promedio de semilla) a 46.78 (número total de semillas) con una media de 32.03. Los análisis univariados mostraron que las poblaciones se diferenciaron significativamente en todas las características consideradas. El dendrograma construido con el método de Ward separó a las poblaciones en cuatro grupos. El análisis de componentes principales mostró que los primeros tres componentes explicaron 80.84 % de la variación total. El CP1 explicó 35.36 % de la variación y estuvo definido por las características ancho de fruto, peso de fruto, largo de fruto, peso promedio de semilla, diámetro de tallo y largo de hoja. El CP2 explicó 28.68% de la variación y estuvo definido por las características número de semillas por planta, número de frutos, número de semillas por fruto y altura de planta. El CP3 explicó 16.79% y lo definió las características ancho de hoja, largo de hoja, número de ramas y número de semillas por fruto. De las 60 regresiones lineales efectuadas entre las características morfológicas y las variables geográficas y climáticas de los sitios de origen de las poblaciones, 20 fueron significativas. La característica altura de planta se correlacionó positiva y significativamente con la

precipitación media anual y la temperatura media anual. Esta misma característica se correlacionó negativamente con la latitud y la longitud. Número de ramas se correlacionó negativamente con la precipitación media anual. Número de frutos se correlacionó positiva y significativamente con la latitud, la longitud y la altitud y negativamente con la precipitación media anual. Largo de fruto se correlacionó negativamente con la latitud y la longitud y positivamente con la precipitación media anual. Ancho de fruto se correlacionó negativamente con la temperatura media anual. Peso de semilla se correlacionó positivamente con la precipitación media anual. Número de semillas por fruto se correlacionó positivamente con altitud. Peso promedio de semilla se correlacionó positivamente con precipitación media anual y número de semillas por planta se correlacionó positivamente con la latitud, la altitud y la longitud y negativamente con la precipitación media anual. Estos resultados indican que la cantidad de agua disponible y la temperatura de los sitios de origen de las poblaciones son factores de selección importante y que esta variación posiblemente es de carácter adaptativo.

Palabras claves: *Capsicum annuum* silvestre, variación morfológica, Correlación entre variación morfológica y factores geográficos y climáticos.

ABSTRACT

The morphological variation within and among 18 populations of wild pepper (*Capsicum annuum var. glabriusculum*) from northwestern México and their relationships with the principal climatic and geographic factors was analyzed. The traits measured were: plant height, stem diameter, leaf length, leaf width, number of branches, number of fruits, weigh of fruit, length and width of fruit, number of seeds per fruit, average weight of seed and number of seeds per plant. The one-way analysis showed high variation within the populations in the majority of the characteristic measured. The VC varied of 18.68 (average weight of seed) to 46.78 (total number of seeds) with mean of 32.03. The univaried analyses showed that populations were significantly different in all the considered characteristics. The cluster constructed with Ward's method separated the populations into four groups. Principal component analysis showed that the first three components explained 80.84 % of the total variation. The CP1 explained 35.36 % of the variation and it was defined for the characteristics of width of fruit, weigh of fruit, length fruit, average weight of seed, stem diameter, and leaf length. The CP2 explained 28.68% of the variation and it was defined for the characteristics number of seeds per plant, number of fruits, number of seeds per fruit and plant height. The CP3 explained 16.79% and was defined by the characteristics leaf width, leaf length, number of branches, and number of seeds per fruit. Of out the 60 linear regressions executed between the morphologic characteristics and the geographic variables and climatic variables of the places of origin, 20 were significant. The characteristic plant height was correlated positive and significantly with precipitation annual mean and temperature annual mean. This same characteristic was correlated negatively with the latitude and

the longitude. Number of branches was correlated negatively with the precipitation annual mean. Number of fruits was correlated positive and significantly with latitude, longitude and the altitude and negatively with the precipitation annual mean. Length of fruit was correlated negatively with the latitude and the longitude and positively with the precipitation annual mean. Width of fruit was correlated negatively with the temperature annual mean. Weight of seed was correlated positively with the precipitation annual mean. Number of seeds for fruit was correlated positively with altitude. Average weight of seed was correlated positively with precipitation annual mean and number of seeds for plant was correlated positively with the latitude, the altitude and the longitude and negatively with the precipitation annual mean. These results suggest that the quantity of available water and the temperatures of the places of origin of the populations are important factors of selection and that this variation possibly is of character adaptive.

Keywords: *Capsicum annuum* wild type, Morphological variation, Correlation among morphologic and geographic and climatic factors.

I. INTRODUCCIÓN

El Chile (*Capsicum annuum*) es uno de los alimentos más utilizado en México y a nivel mundial. Como alimento contiene proteínas y vitaminas en concentraciones superiores a otras especies cultivadas (Almanza *et al.*, 1993) El género *Capsicum (Solanaceae)* está formado por alrededor de 30 especies (Hernández-Verdugo *et al., 1999),* de las cuales *C. annuum, C. chinense, C. frutescens, C. baccatum y C. pubescens* son domesticadas. De las domesticadas, *C. annuum* es la especie de mayor importancia económica, se cultiva ampliamente en todo el mundo y se considera que fue domesticada en México (Hernández-Verdugo *et al., 1999*). Esta especie es la que presenta la mayor variación en tamaño, color y forma de los frutos. A ella pertenecen los tipos de chiles conocidos como 'Serrano', 'Jalapeño', 'Ancho' y 'Morrón' o 'Bell pepper', entre otros (Pickersgill, 1971a). Las plantas de Chile silvestre (*Capsicum annuum var. glabriusculum)* (Dunal) Heiser y Pickersgill), conocidas comúnmente como chiles "chiltepines" o "piquines" son perennes, herbáceas o trepadoras, sus frutos son pequeños, rojos y picantes; son comidos por las aves que dispersan sus semillas Vázquez-Dávila (1996). Además de que el fruto es importante por poseer algunas propiedades medicinales (Días, 1977; Morales, 1986). Las poblaciones de chile silvestre se distribuyen ampliamente por todo el territorio nacional. Es posible encontrarlas en sitios imperturbados de la selva baja caducifolia, asi 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), generalmente en altitudes menores de 1000 m (D' Arcy y Eshbaugh, 1974). Los recursos genéticos presentes en los parientes silvestres de las plantas cultivadas

constituyen un acervo de genes que puede ayudar a resolver problemas agrícolas, tales como tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades, y aumentar la calidad y cantidad de la producción (Harlan, 1976; Stalker, 1980; Burdon y Jarosz, 1989). A pesar de su importancia, el chile silvestre, así como otras especies nativas de México no ha recibido la atención debida por parte de investigadores para estudiar la variación genética mantenida in situ para que sirvan como fuente de genes de importancia económica y para el conocimiento de generaciones futuras en caso de especies en peligro de extinción. La fragmentación y destrucción del hábitat donde se encuentran las poblaciones silvestres parientes de las plantas cultivadas, hace que el estudio y estimación de los niveles de variación genética y su distribución entre y dentro de las poblaciones sean aspectos necesarios para su manejo y conservación (Vida, 1994). El potencial evolutivo de las especies que viven en condiciones naturales depende de sus niveles de variación genética y la manera como se distribuye esta variación dentro y entre sus poblaciones. Una población o especie con bajos niveles de variación genética puede sobrevivir y mantenerse en un ambiente determinado, pero corre el riesgo de extinguirse cuando estas condiciones se modifican (Hamrick y Godt, 1997). Se considera que el cambio evolutivo es conducido principalmente por los procesos de selección natural y la deriva génica al azar (Wright, 1951). La selección natural opera en aquellas poblaciones donde sus individuos presentan diferencias entre sí, y cuando tales diferencias son heredables y tienen un valor adaptativo; en cambio, la deriva génica juega un papel importante en las poblaciones de tamaño pequeño (Kimura y Otha, 1971). Diversos investigadores han indicado que la distribución de la variación fenotípica entre y dentro de las poblaciones, así como la proporción heredable de ésta, dependen del carácter y la

especie estudiadas (Rice y Mack, 1991; Cahill y Ehdaie, 2005; Felde *et al., 2006;* Zhang y Zhou, 2006). Existen varios métodos usados ampliamente para estimar los niveles de diversidad genética, tales como isoenzimas, marcadores RAPD's y microsatélites. Sin embargo, el estudio de caracteres fenotípicos es uno de los primeros pasos para caracterizar el germoplasma que se encuentra en condiciones naturales en México. En particular, las características del fruto son los factores más importantes para seleccionar y fomentar el desarrollo de esta especie. Es importante caracterizar la variabilidad genética del material vegetal con que se cuenta, para ampliar las alternativas de producción.

En la actualidad es indispensable el establecimiento de estrategias sobre conservación, uso y manejo de los recursos genéticos, la reconstrucción de los mapas de origen o rutas de colecta, el estudio y la comprensión de los patrones ecogeográficos de la variación biológica. En México, existen poblaciones de plantas silvestres que están estrechamente relacionadas con plantas cultivadas de gran importancia económica y alimenticia que pueden contribuir a la solución de problemas presentes y futuros. Sin embargo, estos recursos genéticos están desaprovechados, han sido poco estudiados y se están perdiendo a un ritmo alarmante.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar los patrones de distribución de la variación morfológica en caracteres cuantitativos en 18 poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) del noroeste de México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Determinar los niveles de variación morfológica dentro y entre de 18 poblaciones de *C. annuum* silvestre creciendo en condiciones de invernadero.

b) Relacionar la variación morfológica con la variación geográfica y climática de los sitios de origen de las poblaciones.

III. HIPÓTESIS

Existe una gran variación morfología entre las poblaciones de chile silvestre del noroeste de México y esta variación está relacionada con los principales factores climáticos y geográficos de los sitios de origen.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Origen del género *Capsicum*

En 1886, De Candolle reconoció dos especies del género Capsicum: *C. annuum* y *C. frutescens*, con su centro de origen en Brasil. En 1930, Bukasov también reconoció a Brasil como el centro de origen para las especies de chiles cultivados, pero a partir de la variabilidad que observó en *C. annuum* en México, concluyó que esta especie tenía dos centros de diversidad: México y Brasil. Posteriormente, en 1931 Vavilov aceptó la propuesta de Bukasov de la existencia de dos centros de origen, uno que comprende el sur de México y Guatemala y otro en Brasil. Consideró que Colombia, Venezuela, Panamá y costa rica eran pobres en variedades de chile (Pickersgill, 1984b).

Actualmente, se considera que el género *Capsicum* es originario de América del sur de la región que comprende Perú, Bolivia, Brasil y Argentina. Durante su dispersión por el continente americano, algunas de las especies fueron domesticadas de manera independiente en diferentes lugares: *C. annuum* en México, *C. frutescens* en Costa Rica, *C. chinense* en las tierras altas del río Amazonas, *C. baccatum* en Bolivia y *C. pubescens* en Los Andes. En México se encuentran bajo cultivo *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* y *C. pubescens* (Hernández-Verdugo *et al.*, 1999). Además están *C. ciliatum* y *C. lanceolatum*, dos especies no utilizadas por el hombre.

4.2. El chile silvestre como recurso genético

Actualmente existen en México poblaciones de plantas silvestres, como es el caso del chile (*Capsicum spp.*) que están cercanamente relacionadas con plantas cultivadas de gran importancia económica y alimenticia que pueden ayudar en la solución de problemas presentes o futuros. Los parientes silvestres de las plantas cultivadas son un recurso genético importante que constituye un acervo primario de genes que pueden 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 han mostrado que las poblaciones de *C. annuum* silvestre pueden ser fuente de resistencia genética contra enfermedades importantes, como es el caso de la virosis (geminivirus) transmitida por la "mosquita blanca" (Hernández Verdugo *et al.*, 2001).

4.3. Especies domesticadas de *Capsicum*

El género *Capsicum* (Solanaceae), al cual pertenece el chile, está conformado de alrededor de 30 especies distribuidas desde el sur de los Estados Unidos hasta el norte de Argentina. Su centro de origen es América del sur con 22 especies endémicas (Eshbaugh, 1980; Pickersgill, 1984). Del género han sido domesticadas *C. annuum, C. chinense, C. frutescens, C. baccatum* y *C. pubescens* (Pickersgill, 1984). De éstas, *C. annuum* presenta una gran diversidad morfológica, es la más importante económicamente y se cultiva en todas las regiones agrícolas de México. A esta especie pertenecen los chiles serranos, jalapeños, pasillas y morrón, entre otros. Las otras tres especies se cultivan en la parte centro y sureste del país. Se

considera que *C. annuum* fue domesticada en México (Pickergill, 1984) y posiblemente también *C. frutescens* (Loaiza-Figueroa *et al.*, 1989).

4.4. Variación genética de *Capsicum annuum* silvestre

Estudios recientes han revelado que las poblaciones silvestres de *C. annuum* del noroeste de México mantienen altos niveles de variación genética, morfológica, ecofisiológica y en la resistencia a patógenos (Hernández-Verdugo *et al.*, 1998). En contraste con los reportes previos (McLeod *et al.*, 1983; Loaiza-Figueroa *et al.*, 1989) que indicaban que las accesiones de C. *annuum* presentaban bajos niveles de variación genética isoenzimática (valores de heterocigosis en un intervalo de 0.012–0.025), Hernández-Verdugo *et al.*, 2001b, utilizando el mismo método, encontraron que las poblaciones silvestres de C. *annuum* del noroeste de México mantienen elevados niveles de heterocigosis (intervalo de 0.255–0.325). Hernández-Verdugo *et al.*, 2006 encontraron que estas poblaciones mantienen elevados niveles de variación estimada con marcadores moleculares RAPD. Estas mismas poblaciones también mostraron elevada variación en características fenotípicas, tales como altura de planta, largo y ancho del fruto, número y peso de las semillas entre otras.

4.5. Variación morfológica y su relación con características climáticas y geográficas

Los estudios de variación geográfica y climática pueden proveer información importante estimando los patrones de adaptación para hábitats diferentes y el aislamiento ecológico (Zink y Remsen 1987). La adaptación local ha sido definida como (1) cambios genéticos en una población en repuesta a una presión de

selección geográficamente localizada o (2) si la adaptación local existe, los genotipos de poblaciones locales tendrán una mayor adecuación relativa que los procedentes de otros hábitats.

El ambiente del lugar ejerce presiones sobre organismos y su genotipo; como respuesta pueden ser acentuados determinados rasgos o más específicamente, determinadas combinaciones genéticas son perpetuadas con mayor frecuencia en una población con un ambiente, originando la predominancia de un fenotipo particular (Bell, 1968). Sin embargo, la variación geográfica puede ser definida como variación fenotípica asociada con la localidad, una amplia área de distribución de la especie implica invariablemente diferencias en una o más características de una parte a otra de su área. Las diferencias pueden deberse a factores genéticos, factores ambientales o interacciones entre ellos (Schonike, 1976). Existe una variación que es originada por los diferentes ambientes donde crecen los individuos, por lo que los factores ambientales modifican drásticamente la variabilidad en plantas especialmente en el crecimiento (Zobel y Talbert, 1988).

4.6. Pérdida de recursos genéticos

La FAO advierte en su primer informe sobre una pérdida masiva de recursos fitogenéticos a nivel mundial, así como una erosión de la biodiversidad y una pérdida irreversible para la agricultura y la seguridad alimentaria (FAO, 1996).

4.7. Diversidad genética

En América Latina, por lo menos 42 especies vegetales son originarias de esta zona, como son el chile, la papa, el tomate, el maíz y el cacao, por mencionar algunas, sin embargo existen otras especies de plantas que tienen uso medicinal, forrajero y forestal (Torres, 2004). La importancia de la diversidad genética radica en el potencial que tiene de proporcionar genes para producir variedades mejor adaptadas o más productivas y resistentes a plagas y enfermedades (Yañez, 2007).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Desarrollo del experimento

La presente investigación se realizó en el invernadero y en el Laboratorio de Recursos Genéticos en la facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada en el kilómetro 17.5 carretera Culiacán-El dorado. Las coordenadas geográficas del lugar son 24°37´29´´ de latitud norte y 107°26´36´´ oeste. La altitud es 38 metros sobre el nivel del mar (msnm).

5.2. Material vegetal y diseño experimental

Se colectaron frutos maduros de 18 poblaciones de chile silvestre distribuidas en un gradiente latitudinal en los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit entre los meses de octubre a diciembre en el año 2008. Los datos geográficos y principales factores climáticos de los sitios de recolección se muestran en el cuadro 1.

De cada planta se sembraron 80 semillas en charolas de poliestireno con 128 cavidades (5 semillas por cavidad) y se cultivaron durante 60 d. Después de la germinación se tomaron al azar en promedio 32 plántulas por población. Posteriormente se trasplantaron en macetas con 12 kg de suelo de aluvión, en un invernadero con malla-sombra que permitirá el paso de 50% de luz solar.

Cuadro 1. Ubicación y condiciones climáticas de los sitios de colecta de las 18 poblaciones de *C. annuum*. PMA= precipitación media anual, TMA= temperatura media anual.

Población	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	PMA (mm)	TMA (°C)
1. Llano Colorado	29° 55'59"	109° 49'48"	552	682	22.8
2. Mazocahui	29° 34'46"	109° 59'41"	326	586	21.1
3. El Cardón	27° 51'59"	109° 23'08"	455	712	22.1
4. Presa Oviachic	27° 49'25"	109° 53'59"	582	389	25.5
5. Mocuzari	27° 11'49"	109° 07'26"	105	384	24.7
6. Piedras Verdes	27° 06'50"	108° 59'21"	288	647	22.8
7. Rancho el Coyote	26° 53'56"	108° 46'29"	349	534	23.1
8. Buyubampo	26° 37'48"	108° 39'07"	225	632	25.1
9.Yecorato Mezquite	26° 26'21"	108° 12'21"	405	855	24.1
10. Yecorato Camino	26° 26'20"	108°12' 12"	392	855	24.1
11. Lo de Vega	26° 11'36"	108° 36 25"	116	670	23.4
12. Texcalama	25° 43'18"	107° 59'11"	296	751	25.2
13. Pozo de Imala	24° 55'02"	107° 15'16"	155	1138	25.0
14. Alcoyonqui	24° 44'40"	107° 12'22"	130	894	24.8
15. Las Flores	24° 20'21"	107° 05'42"	87	543	25.5
16. Sabinal	24° 13'52"	106° 44'49"	326	849	25.7
17. Piedras Lisas	23° 00'41"	105° 47'41"	115	1060	25.1
18. Cuero de Vaca	21° 28'58"	105° 05'19"	487	1237	22.8

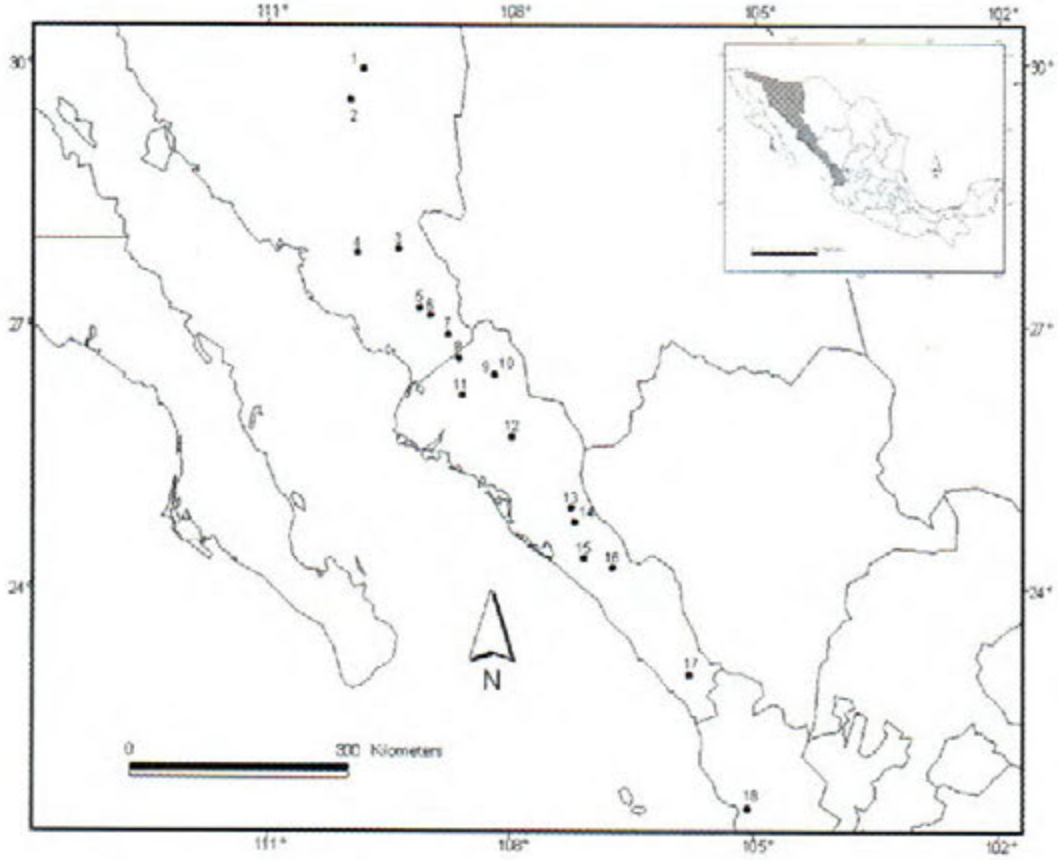

Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de origen de las 18 poblaciones de *C. annuum* silvestre estudiadas.

5.3. Características medidas. Seis meses después del trasplante se midieron las características: altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm), largo de hoja (mm), ancho de hoja (mm), número de ramas sobre el tallo principal, número de frutos, peso de fruto (mg), largo de fruto, ancho de fruto, número de semillas por fruto, peso promedio de semilla (mg) y número de semillas por planta.

5.4. Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante análisis de una vía, análisis multivariados de CPA y de conglomerados con el método de Ward. Se obtuvieron la media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos. En las características donde las diferencias fueron significativas se efectuaron análisis de múltiples de medias ($\alpha < 0.05$). Se efectuaron análisis de regresión con las variables morfológicas y las condiciones climáticas y geográficas de los sitios de origen de las poblaciones. Todos los análisis se hicieron con el paquete estadístico JMP-SAS versión 6.12.

VI. RESULTADOS

6.1. Variación dentro poblaciones

El análisis de una vía mostró una elevada variación dentro de las poblaciones en la mayoría de las características medidas (Cuadro 2). Los CV variaron de 18.68 (peso promedio de semilla) a 46.78 (número total de semillas) con una media de 32.03. Las características que mostraron mayor variación fueron número total de semillas (CV = 46.78), peso de fruto (CV =40.88) y número de frutos (CV = 40.33). Las características peso promedio de semillas, diámetro de tallo y altura de planta presentaron los menores niveles de variación, mientras que las demás características mostraron niveles intermedios de variación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos de las características medidas en las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* silvestre.

Variables	Media	DE	EE	CV%	MIN	MAX
Altura de planta (cm).	119.74	27.02	1.04	22.56	53.00	203.00
Diámetro de tallo (mm).	11.03	2.38	0.09	21.63	5.13	19.72
Largo de hoja (mm).	35.21	10.24	0.40	29.08	15.04	70.99
Ancho de hoja (mm).	21.00	6.45	0.25	30.72	8.38	44.64
Número de ramas	2.18	0.45	0.01	20.82	2.00	5.00
Número de frutos.	32.17	30.24	1.09	40.33	4.00	199.00
Largo de fruto (mm).	5.92	1.56	0.03	26.39	2.47	53.80
Ancho de fruto (mm).	5.19	1.41	0.03	27.50	1.85	52.80
Peso de fruto (mg).	57.95	23.54	0.56	40.88	2.80	212.70
Número de semillas por fruto	8.91	4.18	0.09	46.78	3.00	26.00
Peso promedio de semilla	3.50	0.65	0.15	18.68	0.85	5.60
Numero de semillas por planta	300.32	0.55	0.02	25.03	5.00	1472.00

6.2. Variación morfológica entre poblaciones.

Se observó alta variación entre poblaciones en todas las características medidas (Cuadros 3, 4 y 5). La población Piedras Lisas fue la que presentó la mayor altura de planta, menor número de frutos, menor peso de frutos, menor número de semillas por fruto y menor número de semillas por planta. La población Cuero de Vaca mostró el mayor diámetro de tallo, mayor largo de hoja, mayor largo, ancho, peso de fruto, mayor numero de semillas por fruto y mayor peso promedio de semillas. La población Lo de Vega fue la que presentó el mayor ancho de hoja. La población Presa Oviachic fue la que tuvo el mayor número de ramas, mayor número de frutos por planta, mayor número de semillas por planta, pero la de menor altura de planta y menor peso promedio de semillas. La población Alcoyonqui fue la que presentó el menor diámetro de tallo, menor número de ramas por tallo principal y el menor ancho de fruto. La población Yecorato Camino fue la que presentó el menor largo de hoja. La población Las Flores fue la que presentó el menor ancho de hoja. Las poblaciones Mazocahui y Buyubampo fueron las que presentaron el menor largo de fruto.

Cuadro 3. Medias de altura de planta (APL), diámetro de tallo (DTA), largo de hoja (LH), ancho de hoja (AH) y número de ramas del tallo principal (NR) de las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* del noroeste de México.

Población	APL (cm)	DTA (mm)	LH (mm)	AH (mm)	NR
Llano Colorado	102.7 ± 4.1	9.4 ± 0.4	37.2 ± 1.4	21.6 ± 0.9	2.1 ± 0.1
Mazocahui	99.7 ± 2.5	9.9 ± 0.2	32.8 ± 1.3	20.0± 0.7	2.1 ± 0.2
El cardon	114.2 ± 3.4	9.6 ± 0.2	29.7 ± 1.2	19.8 ± 2.1	2.2 ± 0.1
Presa Oviachi	97.9 ± 5.9	10.8 ± 0.6	30.2± 2.3	18.8 ± 1.9	2.5 ± 0.2
Mocuzari	115.7 ± 2.5	11.9± 0.3	36.3 ± 1.0	21.4± 0.8	2.2 ± 0.1
Piedras . Verdes	110.7 ± 3.9	12.3 ± 0.5	42.9 ± 1.6	23.6 ± 1.1	2.3 ± 01
El coyote	117.7 ± 3.3	10.7 ± 0.3	37.1 ± 1.5	22.2 ± 1.2	2.4 ± 0.1
Buyubampo	125.5 ± 3.9	11.8 ± 0.3	33.8 ± 1.5	20.8 ± 1.1	2.3 ± 0.1
Yecorato Mezquite	112.0 ± 2.4	11.8 ± 0.2	42.9 ± 1.1	25.5 ± 0.7	2.1 ± 0.4
Yecorato Camino	120.4 ± 5.1	12.4 ± 0.4	27.9 ± 0.9	17.6 ± 0.7	2.1 ± 0.1
Lo de Vega	130.8 ± 4.4	11.4 ± 0.3	43.5 ± 1.6	26.3 ± 1.1	2.4 ± 0.1
Texcalama	132.9 ± 3.3	11.6 ± 0.3	28.1 ± 0.9	16.4 ± 0.6	2.1 ± 0.4
El pozo	148.8 ± 5.6	11.9± 0.5	31.8 ± 2.4	19.9 ± 1.6	2.1 ± 0.1
Alcoyonqui	124.4 ± 3.1	7.9 ± 0.3	25.8 ± 0.9	15.9 ± 0.6	1.9 ± 0,04
Las flores	144.5 ± 9.3	9.6 ± 0.3	25.3 ± 1.6	15.3 ± 1.1	2.0 ± 0.0
El sabinal	144.4 ± 6.3	11.2± 0.6	37.3 ± 1.6	22.8 ± 1.3	2.4 ± 0.1
Piedras Lisas	152.2 ± 11.3	11.7 ± 0.5	36.3 ± 4.1	22.6 ± 3.2	2.2 ± 0.7
Cuero de Vaca	138.6 ± 7.4	14.7± 0.5	46.9 ± 2.0	24.4 ± 1.6	2.0 ± 0.0
F	11.3322	18.4449	20.1704	12.8745	3.4189
P > F	**<.0001**	**<.0001**	**<.0001**	**<.0001**	**<.0001**

Cuadro 4. Medias de las características número de frutos (NF), largo de fruto (LF), ancho de fruto (AF), peso de fruto (PF) de las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* del noroeste de México.

Población	NF	LF (mm)	AF (mm)	PF (mg)
Llano	59.9 ± 37.9	5.4±0.1	5.3±0.1	60.2±2.2
Mazocahui	49.7±27.4	5.3±0.1	5.5±0.1	54.2±1.3
El cardon	52.1±4.8	6.2±0.1	5.2±0.6	59.9±1.5
Presa Oviachic	79.1±44.7	6.5±0.2	5.0±0.1	56.1±1.9
Mocuzari	34.6±26.7	5.9±0.1	4.9±0.1	56.3±1.7
Piedras Verdes	28.7±32.5	6.1±0.5	5.6±0.4	60.7±2.3
El coyote	27.5±2.5	5.7±0.8	5.0±0.1	60.7±2.4
Buyubampo	26.1±2.5	5.3±0.1	4.7±0.4	43.5±1.1
Yecorato Mezquite	30.6±30.7	6.2±0.1	5.1±0.1	58.4±1.5
Yecorato Camino	20.9±19.2	6.3±0.1	5.4±0.1	58.3±1.9
Lo de Vega	42.5±30.9	5.9±0.1	4.9±0.1	58.4±2.3
Texcalama	13.4±14.8	5.5±0.1	5.2±0.1	55.3±1.7
El pozo	4.6±5.3	6.1±0.2	4.9±0.1	58.8±3.1
Alcoyonqui	16.3±1.7	5.9±0.1	4.6±0.1	50.9±1.9
Las flores	5.0±3.7	6.2±0.4	5.4±0.3	64.4±9.2
El sabinal	14.4±18.5	6.2±0.2	4.9±0.1	45.6±2.4
Piedras Lisas	3.0±2.1	7.1±0.3	5.4±0.3	34.5±8.1
Cuero de Vaca	20.8±4.4	8.1±0.1	6.5±0.1	116.6±4.9
F	18.9308	13.0203	6.8989	31.7817
P > F	**<.0001**	**<.0001**	**<.0001**	**<.0001**

Cuadro 5. Medias de las caracteristicas número de semillas por fruto (NSF), peso promedio de semilla (PPS), número de semillas por planta (NSP) de las 18 poblaciones de *Capsicum annuum* del noroeste de México.

Población	NSF	PPS	NSP
Llano	9.1±0.4	3.5±0.1	603.9±0.1
Mazocahui	7.7±0.3	3.5±0.4	430.7±0.1
El cardon	11.4±0.3	3.2±0.4	503.7±0.1
Presa Oviachic	15.3±0.7	2.4±0.1	856.6±0.1
Mocuzari	9.2±0.3	3.4±0.1	337.8±0.1
Piedras Verdes	9.3±0.4	3.7±0.1	322.7±0.1
El coyote	9.6±0.5	3.4±0.1	220.1±0.1
Buyubampo	7.6±0.2	2.9±0.4	211.2±0.6
Yecorato Mezquite	8.1±0.2	3.7±0.3	278.9±0.6
Yecorato Camino	8.6±0.4	3.8±0.1	204.7±0.1
Lo de Vega	8.6±0.4	3.7±0.1	355.7±0.1
Texcalama	7.4±0.3	3.8±0.4	110.9±0.1
El pozo	9.5±0.6	3.6±0.1	59.8±0.1
Alcoyonqui	8.4±0.4	3.5±0.1	139.2±0.1
Las flores	10.4±1.7	3.4±0.2	63±0.4
El sabinal	7.5±0.5	3.1±0.1	120.9±0.1
Piedras Lisas	5.5±0.6	3.5±0.2	18.7±0.2
Cuero de Vaca	15.7±0.7	4.6±0.6	369.5±0.1
F	22.5270	35.7560	10.2115
P > F	**<.0001**	**<.0001**	**<.0001**

El dendrograma construido con el método de Ward separó a las poblaciones en cuatro grupos (Figura 2). El grupo uno se conformó con las poblaciones Llano Colorado, Mazocahui, El Cardón y Presa Oviachic. En el grupo 2 estuvieron las poblaciones Mocuzari, El Coyote, Nuevas Piedras Verdes Yecorato Mezquite, Lo de Vega, Buyubampo, El Sabinal y Piedras Lisas. El grupo 3 estuvo conformado por las poblaciones Yecorato Camino, Texcalama, El Pozo, Alcoyonqui y Las Flores. La población Cuero de Vaca se diferenció claramente de las demás poblaciones silvestres se separaron claramente en el dendrograma de la Figura 2.

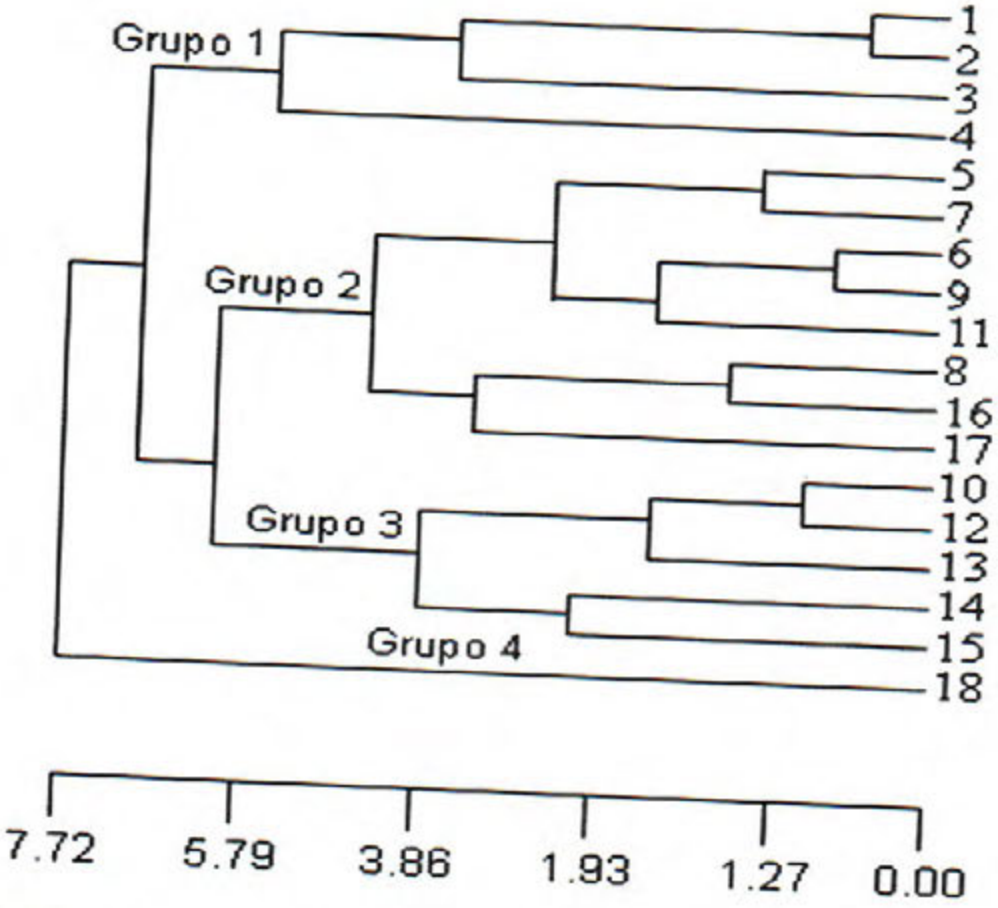

Figura 2. Dendrograma de las distancias genéticas entre las 18 poblaciones silvestres de *C. annuum*.

El análisis de componentes principales mostró que los primeros tres componentes explicaron 80.84 % de la variación total (Cuadro 6). El CP1 explicó 35.36 % de la variación y estuvo definido por las características ancho de fruto, peso de fruto, largo de fruto, peso promedio de semilla, diámetro de tallo y largo de hoja. El CP2 explicó 28.68% de la variación y estuvo definido por las características número de semillas por planta, número de frutos, número de semillas por fruto y altura de planta. El CP3 explicó 16.79% y lo definió las características ancho de hoja, largo de hoja, número de ramas y número de semillas por fruto.

Cuadro 6. Resultado del análisis de componentes principales de 12 caracteristicas en 18 poblaciones de *C. annuum* silvestre. Las variables con mayor peso están en negritas.

Características	CP1	CP 2	CP 3
Altura de planta (cm)	0.141	**-0.423**	0.121
Diámetro de tallo (mm)	**0.371**	0.002	0.229
Largo de hoja (mm)	**0.322**	0.169	**0.432**
Ancho de hoja (mm)	0.240	0.180	**0.527**
Número de ramas	-0.106	0.298	**0.432**
Número de frutos	-0.111	**0.504**	-0.070
Largo de fruto (mm)	**0.374**	-0.022	-0.076
Ancho de fruto (mm)	**0.406**	0.061	-0.209
Peso de fruto (mg)	**0.405**	0.111	-0.279
Número de semillas por fruto	0.220	**0.307**	**-0.349**
Peso promedio de semilla	**0.375**	-0.189	-0.078
Numero de semillas por planta	-0.017	**0.520**	-0.147
Porcentaje de varianza explicada	35.360	28.680	16.798
Porcentaje de Varianza acumulada	35.360	64.040	80.838

El CP1 separó a la población Cuero de Vaca de las demás poblaciones en la región de mayor peso, ancho y largo de fruto, mayor peso promedio de semilla, mayor diámetro de tallo y largo de hoja (Figura 3). En el extremo opuesto están las poblaciones Alcoyonqui, Buyubampo, Presa Oviachic, Mazocahui, Cardón y Llano. Las poblaciones restantes ocupan un lugar intermedio.

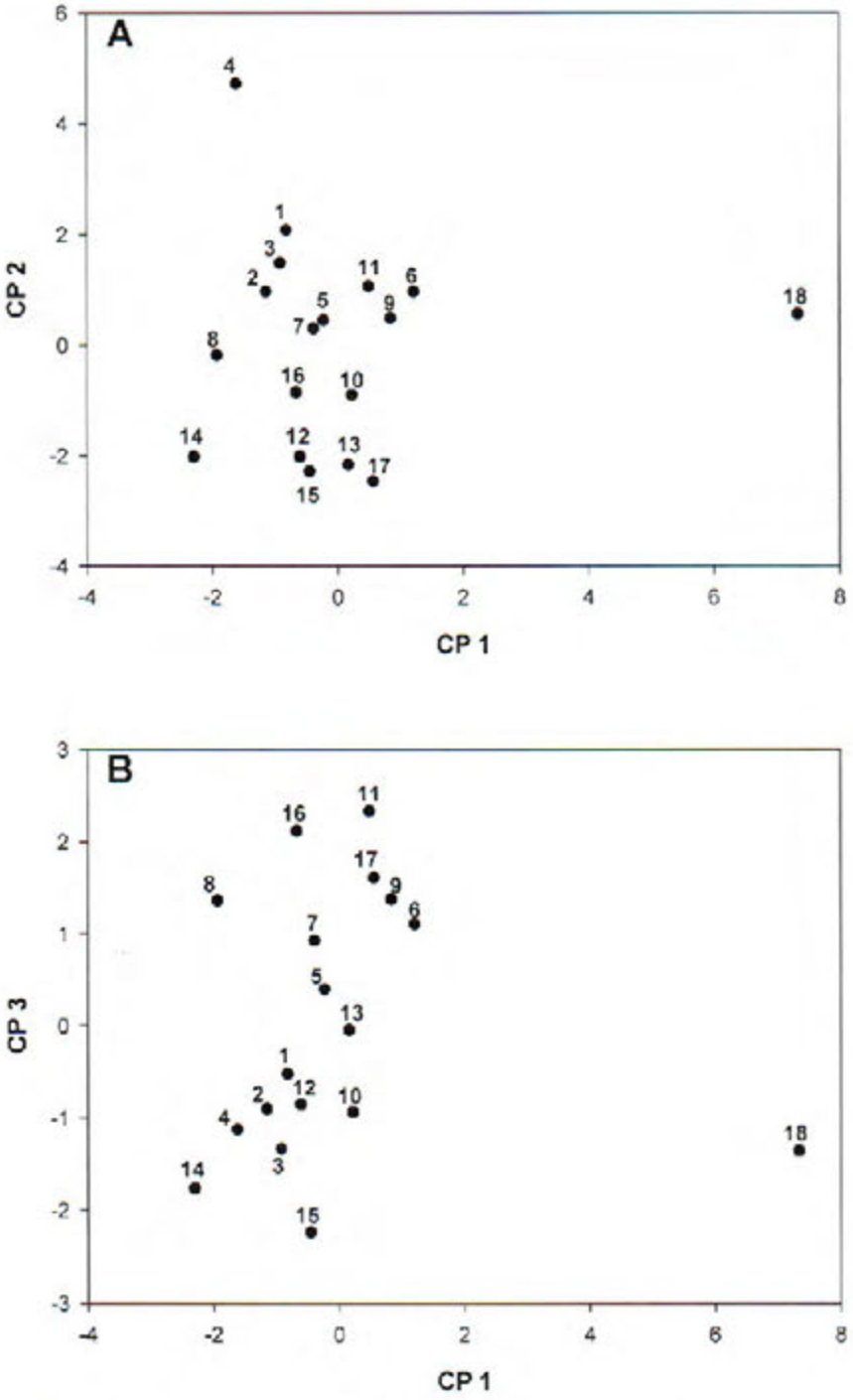

FIGURA 3. Grafica de dispersión de 18 poblaciones de chile silvestre.

El CP2 colocó a la población Presa Oviachic (población 4) en la región de mayor número de semillas por planta, número de frutos, número de semillas por fruto y con menor altura de planta. En el extremo opuesto están las poblaciones Piedras Lisas (17), Las Flores (15), Pozo de Imala (13), Texcalama (12), y Alcoyonqui (14). Las poblaciones restantes ocupan un lugar intermedio (Figura 3 A).

El CP3 separó a las poblaciones en un gradiente con las poblaciones Lo de Vega y Sabinal en el lugar de mayor anchura y largo de hoja, número de ramas y con menor número de semillas por fruto (Figura 3B). En el extremo opuesto se encuentran las poblaciones Las flores, Alcoyonqui y Cardón. Las poblaciones restantes ocupan un lugar intermedio.

6.3. Asociación entre las características morfológicas y las variables climáticas y geográficas de los sitios de colecta.

De las 60 regresiones lineales efectuadas entre las características morfológicas y los principales factores climáticos y geográficos de los sitios de origen de las poblaciones estudiadas, 20 fueron significativas (Cuadro 7). La característica altura de planta se correlacionó positiva y significativamente con la precipitación media anual y la temperatura media anual (Cuadro 7, Figura 4D y 4E). Esta misma característica se correlacionó negativamente con la latitud, la longitud y la altitud (Cuadro 7, Figura 4A, 4B y 4C). La caracteristica número de ramas se correlacionó negativamente con la precipitación media anual (Cuadro 7, Figura 4F). El número de frutos se correlacionó positiva y significativamente con la latitud, la longitud y la altitud y negativamente con la precipitación media anual (Cuadro 7, Figura 5A, 5B, 5C y 5D). Largo de fruto se correlacionó negativamente con la latitud y la longitud y

positivamente con la precipitación media anual (Cuadro 7, Figura 6A, 6B y 6C). Ancho de fruto se correlacionó negativamente con la temperatura media anual (Cuadro 7, Figura 6D). Número de semillas por planta se correlacionó positivamente con la latitud, la longitud y la altitud y negativamente con la precipitación media anual (Cuadro 7 y figura 7A, 7B, 7C y 7D). Número de semillas por fruto se correlacionó positivamente con altitud (Cuadro 7, Figura 7E) y peso de semilla se correlacionó positivamente con la precipitación media anual (Cuadro 7, Figura 7F).

Cuadro 7. Resultados de los análisis de regresión lineal entre las variables morfológicas y las variables geográficas y climáticas de los sitios de origen de las poblaciones de *C. annuum* silvestres estudiadas. Están en negritas las regresiones significativas (<0.05).

Correlación	Ecuación	R^2	F	P
APL – LAT	**y= 295.96 - 6.594 x**	**0.743**	**46.366**	**<,0001**
APL – LON	**y= 1210.52 - 10.050 x**	**0.758**	**50.132**	**<,0001**
APL – ALT	**y= 142.11 - 0.060 x**	**0.335**	**8.019**	**0.0118**
APL – PMA	**y= 83.35 + 0.053 x**	**0.544**	**19.106**	**0.0005**
APL – TMA	**y= -32.478 + 6.513 x**	**0.263**	**5.711**	**0.0295**
DTA – LAT	y= 18.047 – 0.264 x	0.150	2.842	0.1112
DTA – LON	y= 48.180 – 0.343 x	0.110	1.993	0.1772
DTA – ALT	y= 10.815 + 0.001 x	0.013	0.223	0.6429
DTA – PMA	y= 9.677 + 0.001 x	0.088	1.552	0.2307
DTA – TMA	y= 9.727 + 0.058 x	0.002	0.043	0.8378
LHO – LAT	y=41.518 – 0.259 x	0.008	0.130	0.7227
LHO – LON	y= 73.733 – 0.360 x	0.006	0.110	0.7444
LHO – ALT	y= 32.57 + 0.007 x	0.033	0.560	0.4650
LHO – PMA	y= 32.844 + 0.002 x	0.008	0.133	0.7196
LHO – TMA	y= 73.497 – 1.612 x	0.112	2.035	0.1730
AHO – LAT	y= 20.526 + 0.012 x	6.911	0.001	0.9739
AHO – LON	y= 16.233 + 0.042 x	0.000	0.006	0.9388
AHO – ALT	y= 19.981 + 0.002 x	0.021	0.345	0.5647
AHO – PMA	y= 20.648 + 0.000 x	0.000	0.005	0.9425
AHO – TMA	y= 39.114 – 0.760 x	0.099	1.776	0.2013
NRA – LAT	y= 1.626 + 0.021 x	0.084	1.483	0.2409
NRA – LON	y= -2.705 + 0.045 x	0.165	3.169	0.0940
NRA – ALT	y= 2.119 + 0.000 x	0.049	0.826	0.3769
NRA – PMA	**y= 2.494 – 0.000 x**	**0.337**	**8.136**	**0.0115**
NRA – TMA	y= 1.788 + 0.016 x	0.018	0.2985	0.5924
NFT - LAT	**y= -167.035 + 7.427 x**	**0.581**	**22.2379**	**0.0002**
NFT - LON	**y= - 1233.44 + 11.656 x**	**0.628**	**27.0838**	**<.0001**
NFT - ALT	**y= 0.964 + 0.085 x**	**0.417**	**11.4627**	**0.0038**

NFT - PMA	**y= 72.632 – 0.060 x**	**0.429**	**12.0265**	**0.0032**
NFT - TMA	y= 179.897 – 6.378 x	0.155	2.9468	0.1053
LFR - LAT	**y= 11.756 – 0.216 x**	**0.510**	**16.6868**	**0.0009**
LFR - LON	**y= 40.034 – 0.313 x**	**0.469**	**14.1431**	**0.0017**
LFR - ALT	y= 5.923 + 0.000 x	0.020	0.3382	0.5690
LFR – PMA	**y= 4.781 + 0.001 x**	**0.363**	**9.1191**	**0.0081**
LFR - TMA	y= 4.969 + 0.047 x	0.008	0.1409	0.7123
AFR – LAT	y= 6.645 – 0.055 x	0.081	1.4203	0.2507
AFR – LON	y= 15.679 – 0.096 x	0.109	1.9646	0.1801
AFR – ALT	y= 4.928 + 0.000 x	0.117	2.1369	0.1632
AFR – PMA	y= 4.663 + 0.000 x	0.147	2.7532	0.1165
AFR – TMA	**y= 8.879 – 0.153 x**	**0.225**	**4.6511**	**0.0466**
PFR – LAT	y= 119.283 – 2.331 x	0.100	1.7854	0.2002
PFR – LON	y= 421.714 – 3.360 x	0.091	1.6114	0.2224
PFR – ALT	y= 47.555 + 0.036 x	0.133	2.4613	0.1362
PFR – PMA	y= 39.776 + 0.024 x	0.124	2.2720	0.1512
PFR – TMA	y= 169.644 – 4.624 x	0.143	2.6742	0.1215
NSF – LAT	y= 12.457 – 0.118 x	0.010	0.1679	0.6875
NSF – LON	y= 11.963 – 0.023 x	0.000	0.0030	0.9571
NSF – ALT	**y= 6.853 + 0.008 x**	**0.283**	**6.3339**	**0.0229**
NSF – PMA	y= 9.425 – 6.815 x	3.886	0.0006	0.9804
NSF – TMA	y= 16.166 – 0.282 x	0.021	0.3512	0.5617
PPS – LAT	y= 5.482 – 0.077 x	0.155	2.9505	0.1051
PPS – LON	y= 18.143 – 0.136 x	0.212	4.3186	0.0542
PPS – ALT	y= 3.519 – 0.000 x	0.002	0.0448	0.8351
PPS – PMA	**y= 2.636 + 0.001 x**	**0.357**	**8.9038**	**0.0088**
PPS – TMA	y= 6.365 – 0.120 x	0.137	2.5559	0.1294
NSP – LAT	**y= -1288.676 + 60.533 x**	**0.390**	**10.2330**	**0.0056**
NSP – LON	**y= -10262.06 + 97.609 x**	**0.445**	**12.8379**	**0.0025**
NSP – ALT	**y= 6.140 + 0.950 x**	**0.514**	**16.9630**	**0.0008**
NSP – PMA	**y= 683.491 – 0.514 x**	**0.317**	**7.4490**	**0.0149**
NSP – TMA	y= 1838.37 – 64.453 x	0.160	3.0560	0.0996

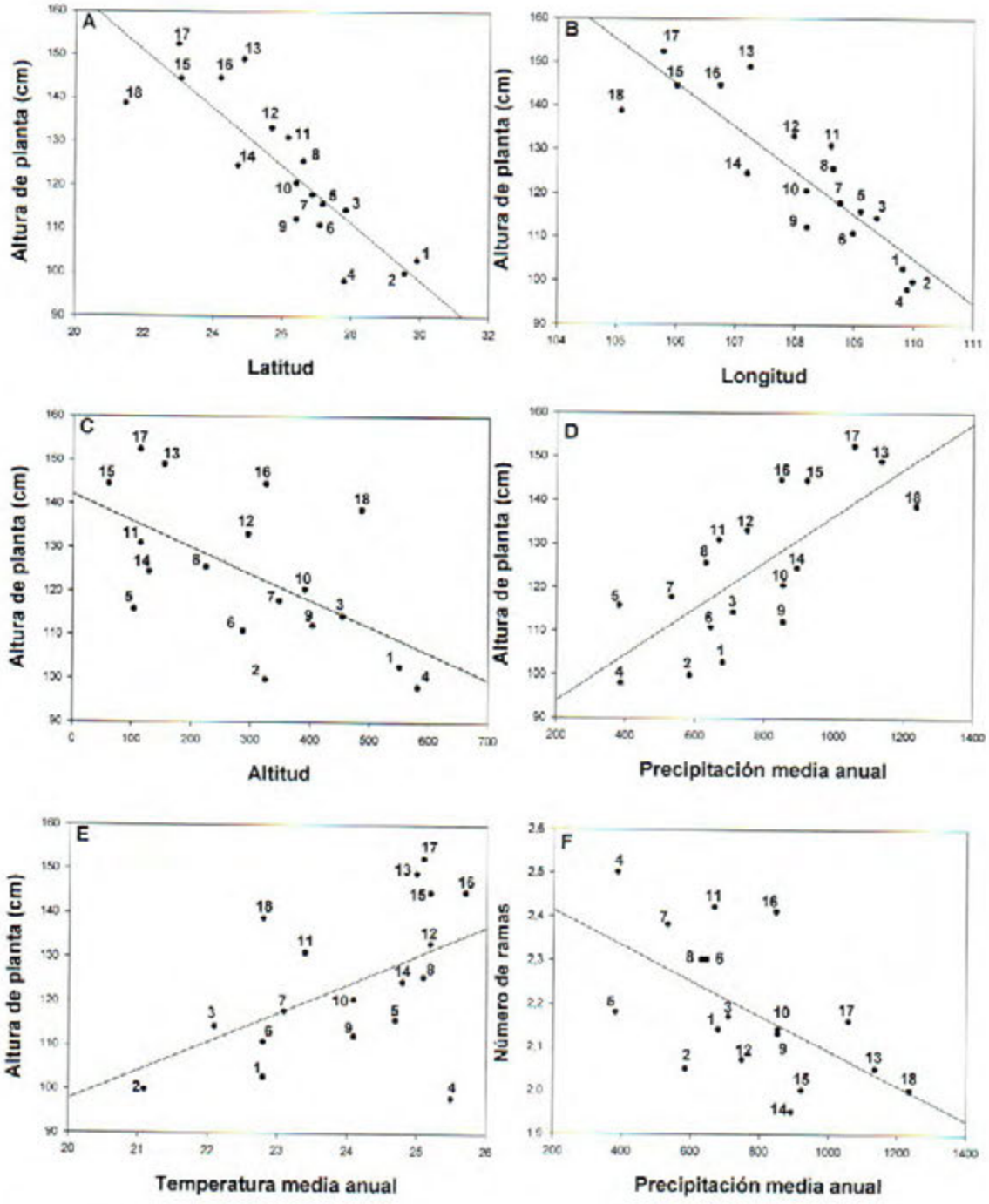

Figura 4. Relación entre altura de planta y Latitud (A), Longitud (B), Altitud (C), precipitación media anual (D), temperatura media anual (E) y número de ramas con la precipitación media anual (F) de los sitios de origen de las 18 poblaciones de *C. annuum*.

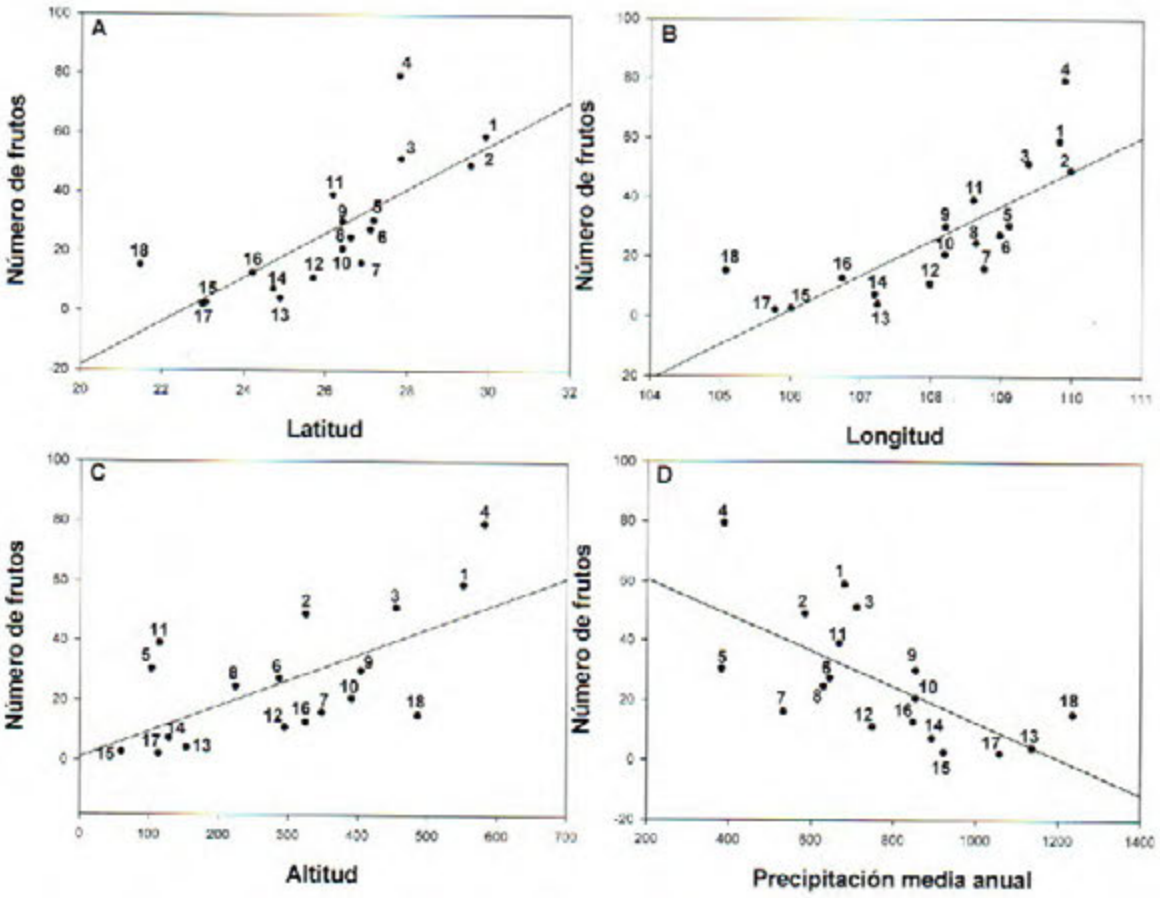

Figura 5. Relación entre número de frutos y Latitud (A), Longitud (B), Altitud (C) y precipitación media anual (D) de las 18 poblaciones de *C. annuum*.

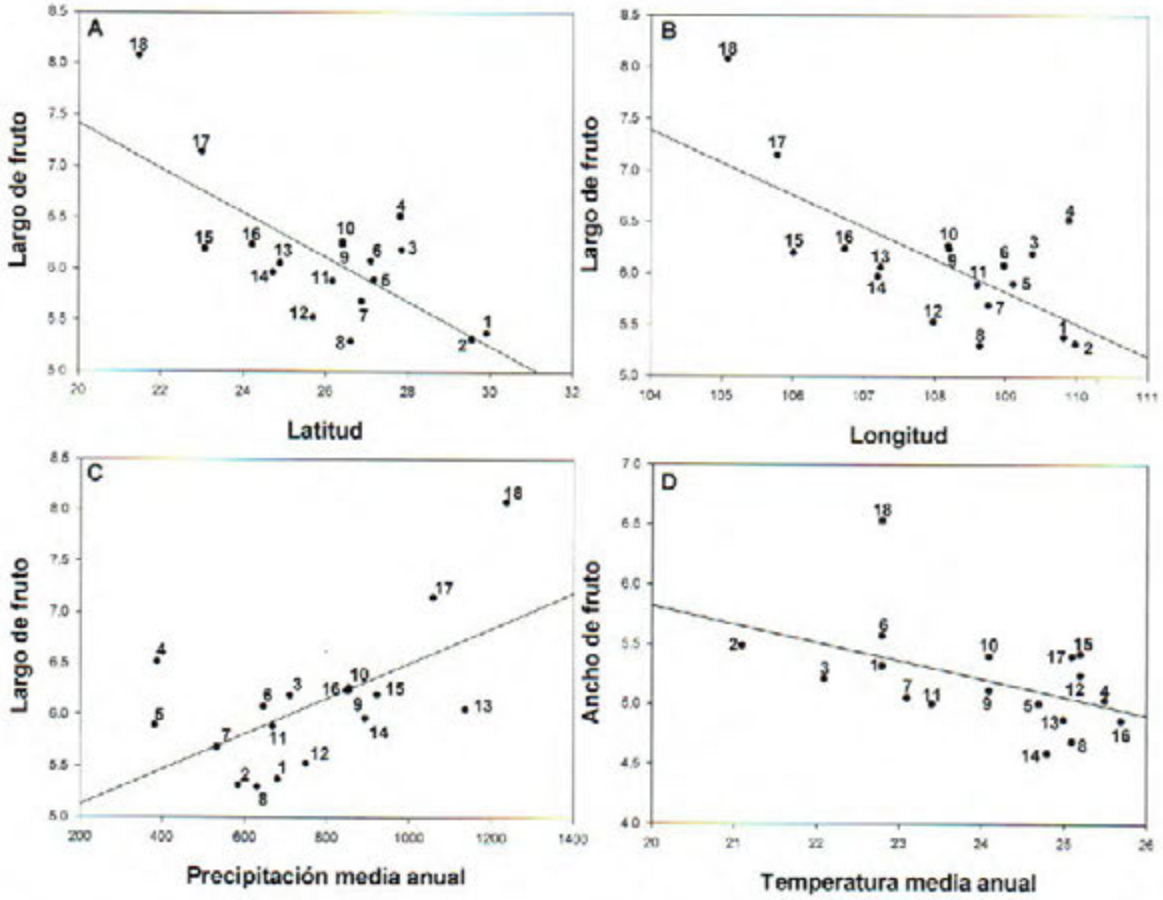

Figura 6. Relación entre largo de frutos y Latitud (A), Longitud (B), y precipitación media anual (C), y ancho de fruto con temperatura media anual (D) de las 18 poblaciones de *C. annuum*.

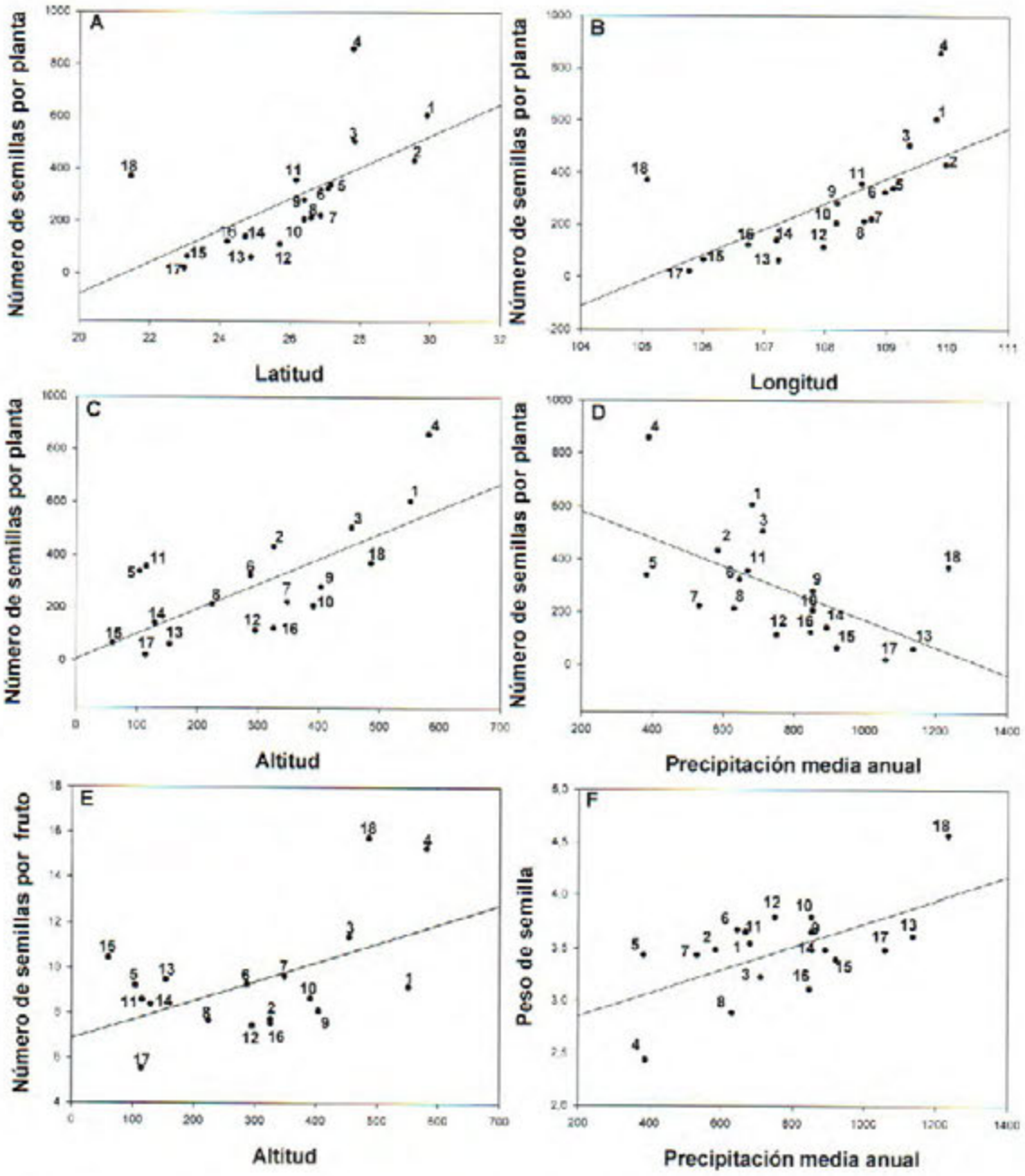

Figura 7. Relación entre número de semillas por planta y Latitud (A), Longitud (B), Altitud (C), precipitación media anual (D), número de semillas por fruto y Altitud (E) y peso de semilla con precipitación media anual (F) de los sitios de origen de las 18 poblaciones de *C. annuum*.

VII DISCUSIÓN

7.1. Variación dentro poblaciones

Los CV fueron superiores a 20 % en todas las características excepto en peso promedio de semilla. Considerando todas las características el CV promedio fue 32.03. Estos resultados indican una elevada variación dentro de poblaciones en casi todas las características medidas (cuadro 2). 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.

7.2. Variación entre poblaciones

Los análisis univariados y multivaridados indicaron diferencias significativas entre poblaciones para todas las características medidas (cuadro 3, 4 y 5). Esta elevada diferenciación morfológica observada entre poblaciones es consistente con otros estudios de izoenzimas (Hamrick y Godt, 1997), RAPDs (Buseell, 1999) y caracteres fenotipicos (Rice y Mack, 1991), que han indicado que las especies vegetales con autofertilización muestran una alta variación 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).

7.3. Variación morfológica y su relación con los factores climáticos y geográficos

Los resultados indicaron que la variación de varias características morfológicas se correlacionaron significativamente con la variación de los principales factores geográficos y climáticos de los sitios de colecta. Las características largo de fruto, peso promedio de semilla y altura de planta se correlacionaron positiva y significativamente con las precipitación media anual, mientras que las características número de frutos, número de semillas por planta y número de ramas en el tallo principal se correlacionaron negativa y significativamente con este mismo factor. Altura de planta se correlacionó positiva y significativamente con la temperatura media anual, mientras que ancho de fruto se correlacionó negativa y significativamente. Estos resultados indican que estas características dependen ampliamente de la temperatura y humedad disponible durante el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, la población Cuero de Vaca que se caracterizó por sus frutos largos, anchos, pesados y con mayor número de semillas por fruto y semillas de mayor peso (Cuadro 5) se encontró en un sitio con la mayor precipitación anual y temperatura baja, en relación a las demás poblaciones (Cuadro 1). En contraste, las poblaciones Presa Oviachic y Mocozari 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 Koening *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. Nooryazdan *et al.* (2010) encontraron que altura de planta se correlacionó positiva y significativamente con la precipitación. En cambio el número de ramas se correlacionó negativamente con la precipitación y positivamente con la temperatura.

Esta correlación observada entre la variación de caracteres relacionados con la adecuación con los datos climáticos de los sitios de origen de las poblaciones, indicó que posiblemente es debida a adaptaciones locales (Nooryazdan *et al.* (2010).

VIII. CONCLUSIONES

Las poblaciones de *C. annuum* silvestre del noroeste de México mantienen elevada variación en las caracteristicas 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. El alto número de correlaciones entre las características morfológicas y los factores geográficos y climáticos de los sitios de colecta indica que el ambiente donde crecen las plantas de chile silvestre es un factor importante en la diferenciación de las poblaciones de esta especie. Varias caracteristicas relacionadas con la adecuación se correlacionaron con los factores climáticos de los sitios de origen de las poblaciones, indicando que esta variación posiblemente tiene un valor adaptativo.

IX. LITERATURA CITADA

Adebola, P. O. y J. A. Morakinyo. 2006. Evaluation of morpho-agronomic variability of wildand cultivated kola (Cola species Schott et Endl.) in South Western Nigeria. *Gen. Res. Crop. Evol.* 53: 687–694.

Almanza E. J. G. 1993. El chile piquín (*Capsicum annum* L var. aviculare Dierb). Estudio etnobotánico, biología y productividad. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Faculta de Ciencias Biológicas. Monterrey, N. L. Mex.

Bell, R. C. 1968. Variación y clasificación de las plantas. Ed. Herrero Hermanos Sucesores, S.A. México. 142 pp.

Burdon J. J. y A. M. Jarosz. 1989. Wild relatives as sources of disease resistance. En: Brown A. H. D. Frankel O. H., Marshall D. R y Williams J. T. Eds. The use of plant genetic resources. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 280-296.

Bussell D. 1999. The distribution of random amplified polymorphic DNA (RAPD) diversity amongst populations of *Isotoma petreae* (Lobeliaceae). *Mol. Ecol.* 88: 775-789.

Cahill J. P. y B. Ehdaie. 2005. Variation and heritability of seed mass in chia (*Salvia hispanica L.*). *Gen. Res. Crop Evol.* 52: 201-207.

D'Arcy W. G. y W. H. Eshbaugh. 1974. New World peppers (*Capsicum* Solanaceae) north of Colombia. *Baileya* 19: 93-103.

Días J. L. 1977. Uso de plantas medicinales de México. Monografía científica. IMEPLAN. México.

Eshbaugh W. H. 1980. The taxonomy of the genus *Capsicum* (Solanaceae). *Phytologia* 47: 153-166.

Felde T, H., C. Becker y C. Möllers. 2006. Genotype x environment interactions, heritability, and traits correlations of sinapate ester content in winter rapeseed (*Brassica napus L.*). *Crop Sci.* 46: 2195-2199.

FAO. 1996. Informe FAO sobre el estado mundial de los recursos fitogenéticos. Rome Italy.

Gamache I. y S. Payette 2004. Height growth response of tree line black spruce to recent climate warming across the foresttundra of eastern Canada. *Journal of Ecology* 92: 835–845.

Hamrick J. T. y M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Sci.* 37:26-30.

Hamidreza N. 2009. Structure of wild annual sunflower (Helianthus annuus L.) accessions based on agro-morphological traits. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57:27-39.

Harlan J .R. 1876. Genetics resources in the wild relatives of crops. *Crop Science* 16: 329-333.

Hernández-Verdugo S., R. Guevara-González, F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez Yanes y K. Oyama. 1998. Los parientes silvestres del chile (Capsicum spp.) como recursos genéticos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 62:171 181.

Hernández-Verdugo S., R. Guevara-González. G., F. Rivera-Bustamante y Oyama K. 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., P. Dávila y K. Oyama. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64: 65- 84.

Hernández-Verdugo S., R. G. Guevara-González, R. F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yanes y K. Oyama. 2001a. Screening wild plants of *Capsicum annum* for resistance to pepper huasteco virus: presence of viral DNA and differentiation among populations. *Euphytica* 22:31-36.

James J. C., J. Grace y S. P. Hoad 1994. Growth and photosynthesis of *Pinus sylvestris* at its altitudinal limit in Scotland. *Journal of Ecology* 82: 297–306.

Kimura M., y T. Otha. 1971. Theoretical Aspects of Population Genetics. Princeton University Press. Princenton, New Jersey, USA. 219 p.

Koenig W. D. 2009. Latitudinal decrease in acorn size in bur oak (*Quercus macrocarpa*) is due to environmental constraints, not avian dispersal. *American Joural of Botany* 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.

Loaiza-Figueroa F., Ritlans K., Laborde-Casino J. A., Tanksley, S. D. 1989. Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanaceae) in Mexico. *Plant Systematic and Evolution* 165: 159-188.

McLeod, M. J., S. I., Guttman, W. H. Eshbaugh, y R. E. Rayle, 1983. An electrophoretic study of evolution in *Capsicum* (Solanaceae). *Evolution* 37: 562 574.

Morales C. A. 1986. Ecología y productividad de chiltepín silvestre *Capsicum baccatum* L. bajo condiciones silvestres en la región del Río Sonora, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de México.

Nooryazdan, H., H. Serieys y R. B. David. 2010. Structure of wild annual sunflower (*Heliantuhus annus* L.) accesions based on agro-morphological traits. *Gen. Res. Crop Evol.* 57: 27-39.

Oyama K., S., Hernández-Verdugo, C., Sánchez, A., González-Rodríguez 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 RAPDS. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 53: 553-562.

Pickersgill B. 1971a. Relationships between weedy and cultivated forms in some species of chili peppers (genus *Capsicum). Evolution* 25:683-691.

Pickersgill, B. 1984b. Migration of chilli peppers *Capsicum* spp. In the Americas en stone D. (Ed.). Papers of the Peabody museum of archeology and ethnology, vol. 76. Harvard University Press. Pp. 105-123.

Rice K.J . y R. N. Mack. 1991. Ecological genetics of *Bromus tectorum. I.* A hierachical analysis of phenotypic variation. *Oecologia* 88:77-83.

SAS, 1989-1997. SAS Institute Inc. All rights reserved. Do not copy or distribute except under the license terms http://SAS.com/jmp.

Schonike R. E. 1976. Geographical variation in jack pines (*Pinus banksiana* Lamb.) *Agricultural Experiment Station. University of Minnesota. Tech. Bull.* 47:3.

Stalker H. T. 1980. Utilization of the wild species for crop improvement. *Advances in Agronomy* 33:717-724.

Takahashi K. 2003. Effects of climatic conditions on shoot elongation of alpine dwarf pine (*Pinus pumila*) at its upper and lower altitudinal limits in central Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 35: 1–7.

Torres, M. de L. 2004. La diversidad genética. Disponible en linea en: www.ambiente,gov,ec/AMBIENTE/chmcibe/estrategia/cap/04.pdf+DIVERSIDA +GENETICA+DEL+TOMATE+Lycopersicon+spp&hl=es&ie=UTF-8.

Vázquez-Dávila M. A. 1996. El amash y el pistoqué: un ejemplo de la etnoecología de Los Chontales de Tabasco, México. *Etnoecológica* 3: 59-69.

Vida G. 1994 Global issues of genetic diversity. *In: Conservation Genetics.* V. Loeschcka, J. Tomiuk y S. KJain (eds). Bikhäuser Verlag. Berlin, Germany. pp: 9-19.

Wright S. 1951. The genetic structure of populations. Ann. *Eugenesic* 15: 323 354.

Yañez S. O. 2007. Caracterización fenotipica y su respuesta a la incidencia de mosca blanca (Bemisia tabaci) de 35 poblaciones silvestres de tomate (*Solanum lycopersicum var. Cerasiforme*) de México. Tesis de maestro en ciencias. Universidad Autónoma de Sinaloa Facultad de agronomía. Culiacán Rosales, Sinaloa. Pp.199.

Zink R. M y V.R. Remsen 1987. Evolutionary processes and patterns of geographic variation in birds. *Curr. Ornithol.* 4: I–69.

Zobel J. B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA, México. 595 pp.

Zhang G., W. Zhou. 2006. Genetics analysis of agronomic and seed quality traits of synthetic oilseed *Brassica napus* produced from interspecific hybridization of *B. campestri* and *B. oleracea. J. Genetics* 85: 45-51.