



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

## **DIVERSIDAD MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA Y CLIMÁTICA EN COLECTAS DE CHILE PIQUÍN (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) EN MÉXICO**

**GABRIELA RAMÍREZ OJEDA**

TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

Febrero 2017



La presente tesis, titulada: **Diversidad morfológica, fisiológica y climática en colectas de Chile Piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en México** realizada por la alumna: **Gabriela Ramírez Ojeda** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

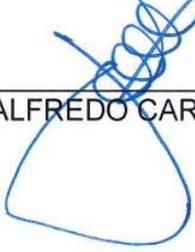
CONSEJERO:

  
DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ASESOR:

  
DR. MANUEL LIVERA MUÑOZ

ASESOR:

  
DR. JOSÉ ALFREDO CARRILLO SALAZAR

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2017

DIVERSIDAD MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA Y CLIMÁTICA EN COLECTAS DE  
CHILE PIQUÍN (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) EN MÉXICO

Gabriela Ramírez Ojeda, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2017

**RESUMEN**

El chile Piquín o Chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*), es el pariente silvestre más cercano a los chiles cultivados, el cual se distribuye en todo el país y tiene gran diversidad morfológica y genética. Actualmente esta especie es muy demandada por consumidores mexicanos a pesar de no ser un cultivo establecido. Esta especie se encuentra bajo fuerte presión antropogénica debido a la eliminación del hábitat en el que crece y al deterioro del ecosistema en general, además de la extracción descuidada cuando los frutos son cosechados de plantas silvestres. El conocimiento de la variación morfológica, fisiológica y climática así como los patrones de distribución geográfica de cualquier especie, son aspectos de considerable interés para entender la evolución y conservación de especies. A pesar de su importancia económica, social y cultural así como recurso fitogenético, el chile Piquín ha sido poco estudiado. El objetivo de la presente investigación fue realizar una caracterización morfológica, fisiológica y climática de colectas de chile Piquín colectadas de 12 estados de la República Mexicana y también de Arizona, EE. UU., con la finalidad de identificar patrones de agrupamiento a través de técnicas estadísticas multivariantes. Los análisis estadísticos empleados fueron análisis de componentes principales (ACP), análisis clúster y pruebas de Mantel. El análisis de datos morfológicos se realizó con 23 variables y reveló que, a diferencia de otros estudios en chiles donde las características de fruto explican la mayoría de la variación, en Piquín estas variables de fruto tienen importancia secundaria. Once de las 23 variables morfológicas fueron asignadas en los tres primeros componentes principales (CP), y explicaron 43.2 % de la variación total. La caracterización climática hecha con 24 variables demostró la plasticidad y adaptabilidad de la especie para crecer en diferentes ambientes, y 14 variables en

los tres primeros CP explican 87.6 % de la variación total. Los seis parámetros fisiológicos usados para el ACP explicaron 94.3 % del total de la variación entre las colectas de Piquín en los primeros tres CP. El análisis integral de todo el conjunto de datos reveló que las variables climáticas tienen mayor significancia para explicar la variación, ya que éstas se integran en los primeros tres CP; además, las pruebas de Mantel muestran que los factores climáticos presentan la mayor relación positiva y significativa con los rasgos de las plantas, ya sean morfológicos o fisiológicos. Así mismo, el dendrograma resultante del análisis clúster con datos climáticos, es similar al resultante del análisis integral con todas las variables.

Palabras clave: chile Piquín, caracterización morfológica, caracterización fisiológica, descriptores ecológicos, caracterización climática.

MORPHOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND CLIMATIC DIVERSITY IN  
COLLECTIONS OF CHILE PIQUÍN (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) IN  
MÉXICO

Gabriela Ramírez Ojeda, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2017

**ABSTRACT**

Chile Piquín or Chiltepín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*), is the closest wild relative to the cultivated chilies, that is distributed across the country and has a large morphological and genetic diversity. Currently this species is highly demanded by Mexican consumers in spite that it is not an established crop. This species is under a strong anthropogenic pressure due to the elimination of the habitat where it grows and the deterioration of the ecosystem in general, in addition to the careless extraction when fruits are harvested from wild plants. Knowledge of morphological, physiological and climatic variation as well as patterns of geographic distribution of any plant species are aspects of interest to understand evolution and conservation of species. Despite its economic, social, cultural importance as plant genetic resource, Chile Piquín has been little studied. The objective of the present research was to perform a morphological, physiological and climatic characterization of Chile Piquín accessions collected from 12 states of the Mexican Republic and also from Arizona, EE. UU., in order to identify patterns of grouping through multivariate statistical techniques. The statistical analyses used here were principal component analysis (PCA), cluster analysis and Mantel tests. The morphological data analysis was performed with 23 variables and revealed that, unlike other studies in chilies where fruit characteristics explained most of the variation, in Piquín these fruit traits have a secondary importance. Eleven out of the 23 morphological variables were allocated in the first three principal components (PC), and they explained 43.2 % of the total variation. The climatic characterization performed with 24 variables demonstrated the plasticity and adaptability of the species to grow at different environments, and 14 variables in the first three PC explained 87.6 % of the total

variation. The six physiological traits used for the PCA explained 94.3 % of the total variation among the Piquín accessions in the first three PC. The integral analysis of the whole dataset revealed that the climatic variables have the greatest significance for explaining the variation, since these variables are included in the first three PC; besides, the Mantel tests revealed that the climatic factors have the highest positive and significant relation with plant traits, either morphologic or physiologic. Furthermore, the dendrogram resulting from cluster analysis with climatic data is similar to that resulting from the integral analysis with all variables.

Keywords: Chile Piquín, morphological characterization, physiological characterization, ecological descriptors, climatic characterization.

# DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE CHILE PIQUÍN



Chihuahua



Aguascalientes



Veracruz



Durango



Tucson



Hidalgo



Michoacán



Oaxaca



Querétaro



Sonora



Sinaloa



Puebla

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis .....	3
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Generalidades del chile Piquín.....	4
2.2. Nombres comunes.....	5
2.3. Clasificación taxonómica.....	6
2.4. Descripción morfológica.....	7
2.5. Ecología y fenología .....	9
2.6. Distribución geográfica .....	10
2.7. Usos comunes e importancia .....	11
2.8. Plagas y enfermedades.....	12
2.9. Cultivo de chile Piquín en México .....	13
2.10. Caracterización de especies vegetales .....	15
2.11. Métodos para el análisis de datos.....	17
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	21
3.1 Descripción del área de estudio .....	21
3.2 Material vegetal .....	21
3.3 Producción de plántulas y diseño experimental .....	22
3.4 Análisis estadísticos.....	23
3.5 Descriptores para la caracterización morfológica.....	25
3.6 Descriptores para la caracterización climática .....	27
3.7 Descriptores para la caracterización fisiológica.....	29
3.8 Descriptores para la caracterización integral con variables morfológicas, fisiológicas y climáticas.....	30
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	31
4.1 Caracterización morfológica.....	31
4.2 Caracterización climática.....	39
4.3 Caracterización fisiológica.....	50
4.4 Caracterización integral (morfológica, fisiológica y climática).....	55
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	68
<b>6. LITERATURA CITADA</b> .....	71

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Procedencia y número de colectas de chile Piquín ( <i>Capsicum annuum</i> L. var. <i>glabriusculum</i> ).....	21
<b>Cuadro 2.</b> Colectas de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> L. var. <i>glabriusculum</i> ) establecidas en invernadero y empleadas para la cateterización morfológica, fisiológica y climática. ....	24
<b>Cuadro 3.</b> Variables empleadas para la caracterización morfológica de colectas de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i> ) en México.....	26
<b>Cuadro 4.</b> Variables empleadas para la caracterización climática de colectas de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i> ) en México.....	28
<b>Cuadro 5.</b> Variables empleadas para la caracterización fisiológica de colectas de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i> ) en México.....	29
<b>Cuadro 6.</b> Variación explicada por los siete componentes principales derivados de 23 variables morfológicas de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i> ). ....	33
<b>Cuadro 7.</b> Promedios y modas de las variables morfológicas que conforman los tres primeros componentes principales para los cinco subgrupos formados de las poblaciones de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i> ). ....	36
<b>Cuadro 8.</b> Descriptores ecológicos de las variables empleadas para la caracterización climática de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i> ) en México.....	40
<b>Cuadro 9.</b> Variación explicada por los cinco componentes principales derivados de 24 variables climáticas de chile Piquín ( <i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i> ). ....	42

**Cuadro 10.** Promedios y pruebas de medias con el método de Tukey de las variables climáticas que conforman los tres primeros componentes principales para los 5 subgrupos formados de las poblaciones de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*)..... 46

**Cuadro 11.** Variación explicada por los tres componentes principales derivados de seis variables fisiológicas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*)..... 51

**Cuadro 12.** Promedios y pruebas de medias con el método de Tukey de las variables fisiológicas que conforman los tres primeros componentes principales para los tres subgrupos formados de las poblaciones de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*)..... 52

**Cuadro 13.** Variación explicada por los seis componentes principales derivados de las variables morfológicas, fisiológicas y climáticas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*)..... 57

**Cuadro 14.** Promedios, pruebas de medias con el método de Tukey y modas de las variables que conforman los tres primeros componentes principales del análisis integral de las poblaciones de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*)..... 61

**Cuadro 15.** Resultados del análisis de varianza multivariado de los cinco grupos formados por el análisis clúster con las variables que integran los tres primeros componentes principales..... 64

**Cuadro 16.** Resultados de las pruebas de Mantel de las diferentes comparaciones de las matrices de distancias euclidianas de datos morfológicos, fisiológicos y climáticos de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*)..... 66

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución geográfica de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* L. var. *glabriusculum*) utilizadas en este estudio. .... 22
- Figura 2.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables morfológicas. .... 32
- Figura 3.** Grupos formados por colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables morfológicas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward. .... 36
- Figura 4.** Grupos formados por colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables climáticas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward. .... 44
- Figura 5.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables climáticas. .... 45
- Figura 6.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables fisiológicas. .... 52
- Figura 7.** Grupos formados por colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables fisiológicas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward. .... 53
- Figura 8.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables morfológicas, fisiológicas y climáticas. .... 56

**Figura 9.** Grupos formados de colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables morfológicas, fisiológicas y climáticas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward. .... 60

## 1. INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum annum* L.) es uno de los cultivos más importantes en México y el mundo, ya que sus frutos se consumen en fresco y en seco, lo cual proporciona una gran diversidad de colores, sabores y aromas a infinidad de platillos, situándose como una de las principales especias (Zegbe *et al.*, 2012). En México el chile se cultiva y se usa como alimento en la dieta diaria de la población desde tiempos precolombinos. Junto con la calabaza, el maíz y el frijol, el chile fue la base de la alimentación de las culturas Mesoamericanas (Ramírez, 1996).

Los chiles presentan gran variación morfológica y diversificación de poblaciones nativas (Pacheco-Olvera *et al.*, 2012), variación atribuible al proceso de domesticación y selección continua, mediante los cuales se han modificado características del fruto como forma, tamaño, color, apariencia y picor, entre otros (Borovsky y Paran, 2011; Toledo, 2015). Por la amplia variabilidad genética del chile es importante realizar estudios que ayuden a identificar variables agronómicas de interés antropocéntrico (Moreno-Pérez *et al.*, 2011). 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, 2010; Hernández-Verdugo *et al.*, 2012).

El género *Capsicum* se propuso en 1979 por la FAO como un cultivo de alta prioridad para estudios de conservación debido a su importancia económica y la pérdida en alto grado de la variabilidad natural (Alonso *et al.*, 2010). México es centro de domesticación y el país del mundo con la mayor diversidad genética de *Capsicum* (Pickersgill, 1989; Toledo, 2015), aunque cabe mencionar que no es el productor más importante (Ramírez, 1996). México es uno de los principales abastecedores de chile a los mercados de Estados Unidos y Canadá, principalmente en los meses de noviembre a mayo, en los cuales la producción en campo en estos países es limitada (Laborde, 1982).

El chile Piquín o Chiltepín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*), es el pariente silvestre más cercano a la variedad cultivada (Laborde, 1982; Ramírez, 1996; Montes *et al.*, 2010). Este chile presenta distribución nacional y una gran diversidad morfológica y genética. Es una especie silvestre que se encuentra distribuida en diversos tipos de vegetación de la república mexicana y otras partes del mundo (Gentry, 1942), en comunidades donde predomina la vegetación de tipo matorral espinoso o matorral submontano, en ambientes semidesérticos y tropicales.

Actualmente esta especie se encuentra bajo fuerte presión antropogénica debido a la eliminación del hábitat en el que crece naturalmente y al deterioro del ecosistema en general. Además, la extracción y la forma poco cuidadosa de la recolección de los frutos ejercen presión sobre este recurso. Así mismo, existe gran dificultad para cultivar esta especie por métodos agrícolas convencionales (Montes *et al.*, 2006; García *et al.*, 2010; López, 2012).

Cabe mencionar que la importancia de este fruto radica en que es base económica temporal de familias que viven en poblaciones rurales donde este crece naturalmente (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004). En 2008 la superficie cosechada de chile Piquín a nivel nacional fue de 1,035 ha, con una producción de 667.4 t y con valor de 33,826.80 miles de pesos (Montes *et al.*, 2010).

Debido a la importancia como recurso genético de esta especie al ser considerado el ancestro de todas las variedades cultivadas de chile, por constituir una fuente de ingreso para comunidades cercanas en los sitios donde este crece y por su importancia ecológica como alimento de algunas aves, es importante generar información básica que ayude al conocimiento de esta especie, para así poder garantizar un establecimiento y producción exitosa de este recurso.

## 1.1 Objetivos

- 1) Identificar y cuantificar la diversidad morfológica y fisiológica en poblaciones de Chile Piquín procedentes de diferentes estados de la República Mexicana.
- 2) Caracterizar los requerimientos climáticos e identificar y cuantificar la diversidad climática asociada a poblaciones de Chile Piquín procedentes de diferentes estados de la República Mexicana.

## 1.2 Hipótesis

- 1) Debido a que las accesiones a estudiar de Chile Piquín proceden de diferentes estados de la República, las plantas presentarán diferencias en su arquitectura morfológica, en sus características fisiológicas y en sus requerimientos climáticos.
- 2) Las poblaciones de Chile Piquín procedentes de la misma región climática presentarán los mismos caracteres morfológicos.
- 3) Es posible realizar una regionalización con los requerimientos climáticos de la especie a partir de su origen geográfico.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del chile Piquín

El chile Piquín o Chiltepín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill) es una especie silvestre que se distribuye en diferentes tipos de vegetación, y se encuentra presente en algunas partes de la República Mexicana y otras partes del mundo (Molina *et al.*, 2009).

Su nombre proviene del náhuatl y significa pulga, por lo que también se le denomina “chile pulga”. Es un chile perenne, que crece en diferentes terrenos debido a que es diseminado por pájaros. Los cambios en clima, suelo y la diseminación de la semilla han provocado variación genética en esta especie. Los frutos inmaduros son de color verde, de forma redonda y ligeramente cónicos, que al secarse adquieren un color rojo sepia. Fresco o seco es muy picante. Es especial para elaborar salsas, conservas y encurtidos (Zegbe *et al.*, 2012).

Durante la época de mayor oferta, este chile puede llegar a desplazar a otros tipos de chiles debido a su sabor y su picor. El costo de este chile alcanza hasta 40 veces el valor de los chiles serranos y jalapeños (Laborde, 1982; Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

Es una planta perenne, aunque su follaje puede morir durante el invierno. Presenta floración todo el año y reverdece con las primeras lluvias; se encuentra en plena producción al final de la temporada de lluvias, es decir, de agosto a diciembre, dependiendo de la localidad. Aunque no se cultiva a nivel comercial de manera nacional (algunas regiones como el noroeste de Veracruz), se le encuentra en los mercados locales al término del temporal (Laborde, 1982).

Según Laborde (1982), a esta especie de chile se le pueden reconocer las siguientes características en estado silvestre:

- 1) Es ampliamente aceptado, al grado que puede llegar a desplazar en gran medida a los otros tipos de chile en el tiempo en que fructifica.
- 2) Tiene un picor bien identificado por la gente, descrito como “arreatado” o “no rabioso”, refiriéndose a que aunque es muy picoso la sensación desaparece rápido y fácilmente.
- 3) A pesar de su picor, no es irritante para el estómago; se han reportado personas que tienen problemas de acidez estomacal y que solamente pueden consumir este tipo de chile.

Se estima que el área potencial en donde se localizan las poblaciones silvestres naturales de chile Piquín en México es alrededor de 10 millones de hectáreas (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

## 2.2. Nombres comunes

Comúnmente se le conoce como chile Piquín o Chiltepín. Martínez (1979) se refiere a él como chile chocolate. También es conocido como chile de monte (Hannan y Mondragón, 2009). En otras partes del territorio nacional se le conoce como quipín, chiltecpin, chiltepiquín, chiltepe, chilpaya, tilichile, pico de pájaro, estiércol de pájaro, chile de pájaro, chile de perro, diente de tlacuache, mosquito, silvestre de Chiapas, pulga, amashito (Tabasco), amomo, enano, tichusni (Oaxaca) (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

En cuanto a las diferentes culturas en México, este chile se nombra de diferentes maneras según la lengua indígena: axi, xubala, bolol, cahuas (Tarasca), cahuasa (Tarasca), cancol (Tepehuana), cucúrite (Huichol), l'k, chack-ik (Maya), chil (Dialecto náhuatl), dya-ah (Mixteca), guiná, guiñá (Zapoteca), gu'ucuri (Cora), Ich (Tzeltal), ñi (Otomí), Itz (Huasteca), nigui (Martínez, 1979).

En varias partes de Sudamérica es conocido solo como ají (Hannan y Mondragón, 2009). También es conocido como bird pepper, cayenne pepper (Hanan y Mondragón, 2009), cherry pepper, red cone pepper, bell pepper (Zipcodezoo, 2016) y pinhead pepper en EE. UU.; max, chilillo pequeño y guindilla en España, xao mi la en China, piment des oiseaux en Francia, y ot hiem en Vietnam (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

### 2.3. Clasificación taxonómica

El chile Piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill) presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

Subphylum: Euphyllophytina

Infraphylum: Radiatopses

Subclase: Magnoliidae

Superorden: Asteranae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Tribu: Solaneae

Género: *Capsicum*

Especie: *C. annum*

Variedad: *glabriusculum*

Por otra parte, diversos taxónomos han nombrado a esta variedad con los siguientes nombres científicos: *Capsicum aviculare* (D'Arcy y Eshbaugh), *C. frutescens*, *C. baccatum* (Terpó), variedad minus (Figherhut), minimun (Heiser y Pickersgill), y *Capsicum annum* L. (Molina *et al.*, 2009).

## 2.4. Descripción morfológica

Es una planta herbácea, arbustiva o trepadora, anual o perenne, que puede medir de 0.5 hasta 2 m de altura (Nee, 1986; Molina *et al.*, 2009). Hanan y Mondragón (2009) mencionan que las plantas de Chile Piquín pueden llegar a alcanzar hasta 4 m de altura. Las plantas presentan tallos verdes, acostillados, pubescentes con pelos incurvados de 0.4 mm de largo o casi glabros. Las hojas son solitarias o en pares, de forma lanceolada a ovalada, de 2 a 8 cm de largo y 1 a 3 cm de ancho, esparcidamente pubescentes en ambas superficies a glabras, con ápice acuminado y base cuneada a abruptamente acuminada en el peciolo. Los peciolos son de 5 a 20 mm de largo (Nee, 1986).

Las inflorescencias son axilares, de una sola flor; pedicelo erecto, curvado en el ápice. El cáliz mide 1 mm de largo en anthesis y hasta 2 mm de largo en el fruto, truncado y escasamente pentalobulado con apéndices diminutos justo abajo del margen, éstos apéndices son continuos con las costillas; corola blanca, raramente verdosa, rotado-campanulada, de 9 mm de ancho, con lóbulos ovado-trianguulares, de 3 mm de largo; filamentos de 1 a 1.5 mm de largo, glabros, anteras color verde-azulosas, de 1 mm de largo por 0.5 mm de ancho; estilo de 2.5 mm de largo (Nee, 1986). La floración en condiciones naturales ocurre del mes de julio a septiembre (Molina *et al.*, 2009).

El fruto es una baya de color verde o púrpura oscuro a negro cuando están inmaduros, que torna a rojo-anaranjado al madurar; es de forma ovoide o globosa, de 8 a 10 mm de largo por 5 a 8 mm de ancho, lustroso, extremadamente picante. Las semillas son de color pardo-amarillentas, comprimidas, de 2.5 mm de largo (D'Arcy y Eshbaugh, 1974; Nee, 1986; Montes *et al.*, 2010).

Esta especie puede presentar diversas formas de fruto. En una colecta de germoplasma de Chile Piquín realizada en 118 sitios en los estados de Coahuila,

Nuevo León y Tamaulipas en el periodo de 2001-2003, en donde se analizaron 263 plantas, se observó que de acuerdo con la caracterización morfológica, incluyendo el color, forma y tamaño del fruto, pueden diferenciarse tres biotipos o variedades de chile Piquín: “bolita”, “ovalado o cónico” y “japonés” (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

Rodríguez del Bosque (2003) y Sandoval (2011) mencionan que en México se presentan los siguientes ecotipos de chile piquín:

**Piquín del Noreste.** Son plantas con abundante ramificación dicotómica y horizontal, entrenudos largos y posición erecta cuando crece de manera natural bajo semi-sombra, que presenta entrenudos cortos si crece en ambientes soleados (posición semi-erecta a postrada). Antocianinas en los nudos en bandas longitudinales a lo largo del tallo. Hojas verde claro, deltoides de aproximadamente 5 cm de largo y 3 cm de ancho con nervaduras poco marcadas. Sin pubescencia. Frutos redondos u oblongos de 6 a 9 mm de longitud polar y 5 a 7 mm de diámetro, de color verde esmeralda obscuro y rojo intenso al madurar.

**Variante Chiapas/Oaxaca.** Sus plantas son vigorosas, erectas y con hojas ovaladas color verde obscuro. Los frutos presentan mayor tamaño que los de Piquín del noreste; presentan alto contenido de antocianinas, lo que provoca un “manchado oscuro” en casi la mitad del fruto.

**Variante Noroeste (Sinaloa, Sonora, Arizona).** Las plantas tienen hojas ovaladas, con pubescencia en hojas y tallos. Los frutos presentan tamaño, forma y sabor similar al ecotipo del noreste.

**Variante Huasteca.** Estas plantas son vigorosas de crecimiento erecto con hojas lanceoladas, gruesas, de color verde obscuro, cerosas y con nervadura bien definida. Los frutos son alargados, de aproximadamente 10 mm de largo por 4 mm de ancho.

**Variante Yucatán.** Forma plantas vigorosas, rústicas y muy prolíferas. Los frutos pueden presentar dos formas, redondos de color amarillo al madurar y frutos pequeños y alargados de color rojo al madurar.

La raíz es pivotante, primaria, subterránea, leñosa, perenne y presenta crecimiento secundario (Martínez, 2007).

## 2.5. Ecología y fenología

De manera natural, el chile Piquín se encuentra asociado comúnmente a vegetación de tipo matorral espinoso o submontano (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004; Medina *et al.*, 2005), principalmente con especies arbustivas o arbóreas como el ébano, mezquite, huizache, granjeno, nopal, chaparro prieto, barreta y anacahuita, la cuales proveen de sombra parcial a la especie (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

Según Nee (1986), esta especie de chile crece en vegetación de tipo selva alta perennifolia y sub-perennifolia, selva baja caducifolia, bosque caducifolio, y generalmente en vegetación secundaria derivada de éstos. La especie muestra alta preferencia a establecerse bajo árboles que le den sombra (Tewksbury *et al.*, 1999), principalmente asociado a especies de la familia *Fabaceae*, *Euphorbiaceae* y *Cactaceae* (Medina *et al.*, 2005; Martínez, 2007).

Rodríguez del Bosque *et al.* (2004) mencionan que el chile Piquín generalmente crece en suelos de tipo vertisol y rendzina, en texturas migajón-arcillosa. Estos autores agregan que los suelos deben ser profundos y bien drenados, con alto porcentaje de materia orgánica y con pendientes menores a 5 %. El sustrato en el que se desarrolla la especie puede ser una combinación de mantillo, tierra negra y algo de piedra suelta (Martínez, 2007).

La especie crece en altitudes menores a 1,300 m (Nee, 1986). Similarmente, D'Arcy y Eshbaugh (1974) mencionan que la especie se encuentra en lugares de poca elevación y raramente exceden los 1,000 m. López y Castro (2005) y Martínez (2007) mencionan que en Oaxaca se ha encontrado la especie desde el nivel del mar hasta 1,800 m de altitud.

Climáticamente la especie se establece en sitios con precipitaciones anuales promedio mayores a 500 mm y temperatura media anual entre 21 y 24 °C, en regiones donde la probabilidad de heladas es baja (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004). Por ser silvestre, el chile Piquín está ligado a cambios estacionales, y por ende sus etapas vegetativas y reproductivas dependen del temporal de lluvias. Cabe mencionar que en condiciones controladas el periodo vegetativo se reduce y el periodo de floración aumenta hasta 80 % aunque presenta baja producción de frutos (Martínez, 2007).

Una de las estrategias de dispersión de las semillas de esta especie en el norte de México es a través de las aves que las ingieren, la cual les ha permitido propagarse ampliamente en grandes regiones (Villalón *et al.*, 2013).

## **2.6. Distribución geográfica**

Pickersgill (1989) y D'Arcy y Esbaugh (1974) mencionan que esta especie se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos, pasando por México y América central, hasta el noroeste de Sudamérica. Molina *et al.* (2009) mencionan que se encuentra en montañas de Baboquivari y el territorio Pima en EE. UU.

Según Laborde (1982), en México esta especie se localiza en todas las costas y serranías costeras del Océano Pacífico y del Golfo de México, es decir, desde Sonora hasta Chiapas y de Tamaulipas hasta la Península de Yucatán. También presenta una amplia adaptación en el trópico y zonas semiáridas en los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas,

Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Colima, Sinaloa, Sonora, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo y Tamaulipas (Sandoval, 2011). Cabe mencionar que la especie también se encuentra presente en zonas elevadas de encinos y bosques caducifolios (Rodríguez del Bosque, 2003).

Su área de origen se considera toda América tropical (sur de los Estados Unidos, casi todo México, Centroamérica, las Antillas y norte de Sudamérica) (Nee, 1986; Hanan y Mondragón, 2009). Es posible encontrarla creciendo en las orillas de los caminos, huertas y potreros, así como en lugares no perturbados.

## **2.7. Usos comunes e importancia**

Los frutos son empleados como condimento y a menudo provienen de plantas silvestres o malezas (Nee, 1986). La forma silvestre es recolectada para uso doméstico, aunque también se hace uso comercial en algunas regiones (Hanan y Mondragón, 2009).

El fruto es utilizado en dos formas: verde o seco (rojo deshidratado), los cuales pueden ser consumidos directo en fruto, en salsas, salmueras, escabeche o molido (Sandoval, 2011). Tiene uso medicinal y como estimulante local (Hanan y Mondragón, 2009), porque tiene actividad en problemas cardiovasculares, enfermedades crónicas degenerativas, estimulante digestivo y colerético, así también reduce los riesgos de contraer cáncer, y funciona como bactericida (Moreno *et al.*, 2012).

Algunos pueblos nativos americanos utilizaron esta especie para tratar enfermedades como el asma, tos y dolor de garganta, así como analgésico para dolor de muelas (Sandoval, 2011). En la actualidad, en algunas comunidades de Sonora los frutos son utilizados para tratar dolor de oído, dolor de muelas, reumas, calentura, gripe, tos, debilidad, gastritis, úlceras, así como antiparasitario

y antihemorroides, entre otros usos medicinales (Bañuelos *et al.*, 2008; Sandoval, 2011).

Culturalmente, el chile Piquín tiene diversos usos desde tiempos ancestrales: el consumo de este fruto contribuye a una vida larga y con protección; así mismo se utiliza para causar dolor como castigo por conductas sociales (Bañuelos *et al.*, 2008; Sandoval, 2011). También fue utilizado en diferentes ceremonias, rituales y fiestas especiales (Medina, 2000; Martínez, 2007).

Económicamente el chile Piquín juega un papel fundamental en las localidades donde crece naturalmente; en Nuevo León y Tamaulipas la colecta de este chile se realiza principalmente de septiembre a noviembre, donde representa de 25 a 45 % del ingreso total de los colectores (Sandoval, 2011). Industrialmente el chile Piquín es utilizado para producir pinturas que protegen la parte inferior de barcos, así como para la elaboración de gas pimienta (Medina, 2010). Además de los usos anteriormente mencionados, tiene utilidad como repelente de insectos en combinación con jabón, ajo y cebolla y uso ornamental (Long, 1998).

## 2.8. Plagas y enfermedades

De manera general, el chile Piquín no presenta problemas fitosanitarios serios en su hábitat natural, con la presencia ocasional de algunos insectos que pueden llegar a dañar el follaje. Las especies potenciales que pueden llegar a ser plaga para la especie son: gallina ciega (*Phyllophaga* spp. y *Anomala* spp.), gusano trozador (*Agrotis* spp. y *Prodenia* spp.), minador de la hoja (*Liriomyza* spp.), araña roja (*Tetranychus urticae*), pulgones (*Myzus persicae* y *Aphis gossypii*), mosquita blanca (*Bemisia tabaco* y *B. argentifolii*) y chiva del encino (*Pterophylla beltrani*).

En cuanto a enfermedades, una vez establecido en campo el chile Piquín es relativamente tolerante a enfermedades ocasionadas por hongos y bacterias,

aunque puede llegar a presentar problemas de ahogamiento o “damping off” y virosis o enchinamiento (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

## 2.9. Cultivo de chile Piquín en México

Las poblaciones de chile Piquín son consideradas la mejor reserva de germoplasma útil para el sostenimiento natural de la especie y una fuente muy valiosa para los fitomejoradores, y por ello es un cultivo de alta prioridad para estudios de conservación (Alonso *et al.*, 2010). Es una especie que constituye un recurso cuyo aprovechamiento, comercialización y almacenaje está regulado por la NOM-007-Semarnat-1997 (Jiménez, 2013), aunque en México actualmente no existen programas vigentes de protección y conservación que beneficien al Chiltepín (Jiménez, 2013).

Para poder llevar a cabo estos propósitos, es muy importante conocer las limitantes para su conservación mediante el estudio de sus características morfológicas y de variabilidad genética (Alonso *et al.*, 2010). Históricamente, el chile Piquín ha sido consumido en las comunidades aledañas a las áreas donde este crece naturalmente (Bañuelos *et al.*, 2008), sin poner en riesgo las poblaciones naturales.

Actualmente el consumo de esta especie ha incrementado en los últimos años, debido a su promoción en supermercados y exhibición como chile exótico en el mercado estadounidense (Arias, 2005; Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004; Sandoval, 2011). Sin embargo, esta especie se considera una variedad semi-domesticada (Lizarde *et al.*, 2011; Jiménez, 2013) debido a que los conocimientos relacionados con el suelo, humedad, temperatura, radiación, entre otros, así como el manejo de la especie en cultivo o silvestre, son aún muy limitados (Montes *et al.*, 2006; Molina *et al.*, 2009; García *et al.*, 2010; Hernández-Verdugo *et al.*, 2012; Jiménez, 2013).

Esta especie se encuentra bajo fuerte presión antropogénica, ya que por un lado la eliminación del hábitat y deterioro del ecosistema en el que esta especie habita, han provocado que las poblaciones naturales de Chile Piquín se hayan reducido en los últimos años, además de que la extracción y las formas poco cuidadosas en su recolección ejercen fuerte presión sobre el recurso (Montes *et al.*, 2006; Molina *et al.*, 2009).

En adición a los diversos factores antropogénicos que han puesto en peligro a la especie, existe cierta dificultad de cultivarla por medio de métodos agrícolas convencionales (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004), porque la germinación en condiciones naturales es inferior a 5 % durante el primer mes después de la siembra. Anteriormente se pensaba que este problema era debido a que las semillas de Chile Piquín contenían una cera epicuticular y una capa externa dura que las hacía casi impermeables (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004; De la Rosa *et al.*, 2012). Cano-Vázquez *et al.* (2015) demostraron que la baja germinación no es causada por impermeabilidad al agua de la cubierta seminal o el endospermo, sino por la latencia del embrión.

Actualmente se ha comprobado que para inducir la germinación uniforme de las semillas debe utilizarse un tratamiento con ácido giberélico en una concentración de 5,000 ppm (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004; García *et al.*, 2010; Molina *et al.*, 2009; Cano-Vázquez *et al.*, 2015), ya que este tratamiento asegura una germinación de 60 a 80 % (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004; Cano-Vázquez *et al.*, 2015).

En cuanto a las siembras comerciales de Piquín, es sumamente importante contar con semillas de calidad, las cuales deben provenir de frutos maduros rojos y plantas sanas (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004). La siembra y producción puede desarrollarse en cualquier época del año en invernadero, o cualquier lugar protegido. Como alternativa, actualmente se cuentan con los siguientes sistemas de producción de Piquín: producción agroforestal (en monte), producción a cielo

abierto, producción bajo malla-sombra y producción en cultivos intercalados (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

El precio del chile Piquín registrado en el mercado alcanza valores muy altos comparados con otros chiles de temporada: por ejemplo, en el Noroeste de México el chile Piquín alcanza un costo de entre \$500 y \$600 pesos por kilogramo de fruto seco (Montes *et al.*, 2006; Montes, 2010).

## **2.10. Caracterización de especies vegetales**

Todos los organismos vivos que se desarrollan en condiciones naturales están bajo continua interacción dinámica de adaptación con los factores en los que crecen. Para ello, cada especie adapta su información contenida en el genoma de acuerdo con las necesidades de sobrevivir en su entorno. El resultado de esta interacción adaptativa se traduce en la acumulación de la información genética que a manera de variantes cada especie va guardando entre los miembros de su población, y que se va transmitiendo en las subsiguientes generaciones a través del tiempo (Franco e Hidalgo, 2003).

La caracterización en plantas es considerada como la determinación del conjunto de características para diferenciarlas taxonómicamente (López-Santiago *et al.*, 2008). En la caracterización de una especie se estima la variabilidad existente en el genoma de la población de individuos que la conforman, teniendo como objetivo principal medir la variabilidad de una colección mediante el uso de descriptores definidos (Hernández, 2013).

Un descriptor es una característica o atributo cuya expresión es fácil de medir, registrar o evaluar y que hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión. Los descriptores son empleados en la caracterización y evaluación de accesiones debido a que ayudan a expresar un

atributo de manera precisa y uniforme, lo que simplifica la clasificación, el almacenamiento, la recuperación y el uso de los datos (Franco e Hidalgo, 2003).

Los descriptores de caracterización permiten la discriminación fácil entre fenotipos. Generalmente son características altamente heredables que pueden ser fácilmente detectadas a simple vista y se expresan igualmente en todos los ambientes (Franco e Hidalgo, 2003; Hernández, 2013). Al realizar una caracterización se espera que las características visibles de una especie sean homogéneas; sin embargo, en algunos casos no se expresan con la misma intensidad (Hernández, 2013). En relación con el fenotipo, las características que lo conforman corresponden en su mayoría a la descripción morfológica de la planta y su arquitectura.

En la presente investigación se evaluaron los siguientes descriptores:

**Morfológicos.** Corresponden a las variables de forma y estructura que son relevantes en la utilización de especies cultivadas. Pueden ser de tipo cualitativo y cuantitativo, e incluyen algunas de las características botánicas y taxonómicas más otras que no necesariamente identifican la especie, pero que son importantes desde el punto de vista de necesidades agronómicas, de mejoramiento genético, y de mercadeo y consumo. En su gran mayoría, estos descriptores tienen heredabilidad aceptable pero son afectados por cambios ambientales (Franco e Hidalgo, 2003).

**Fisiológicos.** Variables que proveen información fundamental para entender la funcionalidad de las plantas en condiciones ambientales variantes, pues representan la fuente primaria de carbono y desempeñan un rol prominente en la logística del crecimiento y productividad vegetal (Taiz y Zeiger, 2006; Jiménez, 2013).

**Climáticos.** Describen los parámetros climáticos del sitio y del ambiente del cual proceden las accesiones, que ayudan en la interpretación de resultados cuando se realizan pruebas de caracterización y evaluación.

En la actualidad se han realizados estudios para describir aspectos relacionados con la especie como donde crece y las comunidades vegetales a las cuales se encuentra asociado (Zarazúa *et al.*, 2009), germinación (García *et al.*, 2010; Lizarde *et al.*, 2011; Cano-Vázquez *et al.*, 2015), tolerancia a estrés salino (López-Aguilar *et al.*, 2012), propagación por cultivo de tejidos (Valdez-Bustos *et al.*, 2009), cultivo bajo agostadero (Molina *et al.*, 2009), factores ambientales, fenología e intercambio de gases (Jiménez, 2013), así como la caracterización genética para el establecimiento de plantaciones (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012).

En el género *Capsicum* se han efectuado diversos estudios sobre diversidad morfológica entre los cuales destacan los realizados por Adetula y Olakojo (2006) en *C. frutescens*, Portis *et al.* (2006) en *C. annuum* en Italia, Rêgo *et al.* (2011) en *C. baccatum*, Toledo (2015) en poblaciones nativas de chiles anchos en México, Hernández-Verdugo *et al.* (2012) en poblaciones silvestres del Noroeste de México, Moreno-Pérez *et al.* (2011) en colectas de chile guajillo del centro-norte de México, y Palacios y García (2008) en *Capsicum spp.* en Colombia, por mencionar algunos.

## 2.11. Métodos para el análisis de datos

Los datos obtenidos de las caracterizaciones pueden analizarse mediante el empleo de métodos estadísticos simples o complejos, con el objetivo de reducir el volumen de la información y poder obtener conclusiones sobre la variabilidad y la utilidad del germoplasma. Estos análisis van desde el uso de gráficos y estadísticos de tendencia central y dispersión hasta métodos multivariados.

## **Métodos multivariados**

En términos generales el análisis multivariado se refiere a todos aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples (más de dos variables) de cada individuo. En sentido estricto, son una extensión de los análisis univariados (análisis de distribución) y bivariados (clasificaciones cruzadas, correlación, análisis de varianza y regresiones simples) que se consideran como tal si todas las variables son aleatorias y están interrelacionadas (Hair *et al.*, 1992).

En la caracterización de recursos fitogenéticos el análisis multivariado se puede definir como un conjunto de métodos de análisis de datos que tratan un gran número de mediciones sobre cada accesión del germoplasma. Su virtud principal consiste en permitir la descripción de las accesiones tomando en cuenta simultáneamente varias características, sin dejar de considerar la relación existente entre ellas (Franco e Hidalgo, 2003). Bramardi (2002) puntualiza que para el caso del análisis de datos resultantes de caracterización de recursos genéticos vegetales (colecciones de germoplasma), el problema es representar geométricamente, cuantificar la asociación entre individuos y clasificarlos respecto a un conjunto de variables, las cuales pueden ser cuantitativas, cualitativas o la combinación de ambas. Teniendo en cuenta los objetivos que se desean alcanzar, este investigador clasifica los métodos multivariados en dos grandes grupos. El primero se denomina de ordenación y permite arreglar y representar gráficamente el material en estudio en un número reducido de dimensiones. El segundo se denomina de clasificación y permite la búsqueda de grupos similares lo más homogéneos posible para clasificar los elementos en estudio.

## **Análisis de componentes principales (ACP)**

Este método se basa en la transformación de un conjunto de variables cuantitativas originales en otro conjunto de variables independientes no correlacionadas, llamadas componentes principales. Los componentes deben ser

interpretados independientemente unos de otros, ya que contienen una parte de la varianza que no está expresada en otro componente principal (Pla, 1986; López e Hidalgo, 1994a; Franco e Hidalgo, 2003). También concentra toda la variación presente en la matriz de datos originales en unos pocos ejes o componentes. Los componentes principales contienen información en diferentes proporciones de todas las variables originales y su número depende del número de éstas que se incorporen en el análisis. La contribución de las variables a cada componente principal se expresa en valores y vectores propios.

El valor propio representa la varianza asociada con el componente principal y decrece a medida que se generan dichos componentes. Por otra parte, el vector propio contiene los coeficientes de las combinaciones lineales de las  $p$  variables originales.

El ACP es una herramienta útil para analizar los datos que se generan de la caracterización y evaluación preliminar de germoplasma con el fin de saber cuáles variables están o no asociadas, cuáles caracterizan en el mismo sentido o en el sentido contrario; así mismo permite conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas y la semejanza entre las accesiones, para saber cómo se distribuyen las accesiones, cuáles se parecen y cuáles no. También permite seleccionar las variables cuantitativas más discriminatorias para limitar el número de mediciones en caracterizaciones posteriores (Franco e Hidalgo, 2003).

### **Análisis de conglomerados**

Es un método analítico que se puede aplicar para clasificar las accesiones de un germoplasma (o variables) en grupos relativamente homogéneos con base en alguna similitud existente entre ellas. El objetivo en este análisis es clasificar un conjunto de  $n$  accesiones o  $p$  variables en un número pequeño de grupos o conglomerados, donde la formación de estos grupos puede obedecer a leyes

naturales o a cualquier conjunto de características comunes a las accesiones (Hair *et al.*, 1992; López e Hidalgo, 1994b).

Los métodos de agrupamiento más usados en el análisis de conglomerados son: (1) jerárquico, que forma grupos a varios niveles; y (2) no jerárquico o de partición, que también forma grupos a través de criterios predefinidos (Dillon y Goldstein, 1984; López e Hidalgo, 1994b).

El agrupamiento jerárquico se caracteriza por presentar sucesivas fusiones para formar los grupos. Algunos de estos grupos tienen mayor rango y cada uno de ellos abarca varios de menor orden lo que permite de esta manera, seguir en detalle la formación de los conglomerados y conocer el nivel de similitud al que se agrupa cada conjunto de individuos (Dillon y Goldstein, 1984). Para la formación de los conglomerados existen diversas formas de enlace, siendo las más comunes: simple, completo, UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages), centroide y 'Ward', todas con el mismo criterio de maximizar la variación entre los grupos y minimizarla dentro de ellos (Dillon y Goldstein, 1984; Hair *et al.*, 1992).

El agrupamiento no jerárquico es también conocido como de partición. Se caracteriza por dividir el grupo de accesiones en un número preseleccionado de conglomerados que no tienen una estructura jerárquica. Desde el punto de vista estadístico, se caracteriza por maximizar la suma de cuadrados inter-sujetos entre conglomerados con respecto a la suma de cuadrados intra-sujetos (López e Hidalgo, 1994b). Este método tiene muchas variantes, de las cuales la más utilizada es 'k-means' que se caracteriza por centrar de nuevo cada accesión cuando cambia de grupo (Franco e Hidalgo, 2003).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo en el municipio de Texcoco, Estado de México que se ubica en las coordenadas geográficas -98.90 ° LO y 19.45 ° LN, a una altitud promedio de 2,220 m. El clima de la región es templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9 °C y una precipitación media anual de 686 mm (INAFED, 2016).

#### 3.2 Material vegetal

El material vegetal empleado para esta investigación se describe en el Cuadro 1 y su origen geográfico se ilustra en la Figura 1. La colección está constituida por 55 colectas de chile Piquín procedentes de diferentes estados de la República Mexicana y una colecta proveniente de Tucson, Arizona, EE. UU. Además, las colectas presentan diferentes formas de obtención.

**Cuadro 1.** Procedencia y número de colectas de chile Piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*).

Estado	Núm. de accesiones	Procedencia			
		Silvestre	Traspatio	Parcela	Mercado
Aguascalientes	3		2		1
Chihuahua	1	1			
Durango	1				1
Hidalgo	1	1			
Michoacán	2	1	1		
Nayarit	2	1		1	
Oaxaca	9	2	6		1
Puebla	3	1		2	
Querétaro	10	6	1		3
Sinaloa	4	3	1		
Sonora	7	5		2	
Veracruz	11	2		6	3
Tucson	1	1			



**Figura 1.** Distribución geográfica de las colectas de chile Piquín (*C. annum* L. var. *glabriusculum*) utilizadas en este estudio.

### 3.3 Producción de plántulas y diseño experimental

Para medir las plantas desarrolladas en un solo ambiente, las semillas colectadas fueron sembradas y crecidas en condiciones de un invernadero del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

La producción de plántulas se hizo a partir de semilla extraída de frutos de las 55 colectas de chile Piquín. Las semillas se sometieron a un tratamiento recomendado por Cano-Vázquez *et al.* (2015) para elevar la tasa de germinación; este tratamiento consistió en lavar las semillas con detergente y desinfectarlas con Benlate® 0.4 % por 15 min, más remojo de 30 min en una solución de plata coloidal estable Microdyn® 0.05 %. Posteriormente las semillas se sometieron a acondicionamiento por inmersión en una solución de ácido giberélico a 5,000 ppm

por 24 h, seguido de un periodo de secado de 72 h por exposición al aire en condiciones ambientales de laboratorio.

Las semillas así tratadas se sembraron en charolas de unicel de 200 cavidades con una mezcla de sustrato de turba (“peat moss”) y tierra de monte en proporción 1:1. Las plántulas resultantes se mantuvieron en constante cuidado, monitoreo y riego suficiente en el invernadero. Las plántulas de 100 d de edad se trasplantaron a bolsas negras de plástico de 10 L de capacidad, rellenas con grava de tezontle de densidad media de partículas como sustrato. A dichas plantas se les instaló un sistema de riego por goteo, con el cual se suministraron ocho riegos diarios de 1 min de duración cada uno, con una solución Steiner a 100 % (Steiner, 1984; Torres, 2011).

De las 55 colectas sembradas solo pudo realizarse el trasplante de las 34 anotadas en el Cuadro 2, debido a fallas en la germinación de las demás 21 colectas. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro repeticiones, para obtener un total de 280 unidades experimentales.

### **3.4 Análisis estadísticos**

En cuanto a la caracterización morfológica los análisis estadísticos aplicados fueron los siguientes: análisis discriminante con el método Stepwise (PROC STEPDISC); análisis de componentes principales (PROC PRINCOMP); cálculo de la matriz de distancias de Gower (Gower, 1971) (PROC DISTANCE) y análisis de conglomerados (PROC CLUSTER), agrupando con el método de mínima varianza dentro de conglomerados de Ward.

Para la caracterización climática y fisiológica se emplearon los mismos análisis estadísticos descritos en la caracterización morfológica, excepto por el análisis discriminante de variables (Stepwise). En el caso de las variables climáticas no fue utilizado debido a que los datos fueron puntuales y no se contaba con repeticiones. Por otra parte, las variables fisiológicas empleadas en la

investigación se consideraron de suma importancia y no fue necesario eliminar alguna de ellas.

**Cuadro 2.** Colectas de chile Piquín (*C. annuum* L. var. *glabriusculum*) establecidas en invernadero y empleadas para la cateterización morfológica, fisiológica y climática.

ID	Estado de procedencia	Localidad de procedencia	Procedencia de la colecta
VER12	Veracruz	Jilotepec	Silvestre
QRO07	Querétaro	Jalpa de Serra	Silvestre
VER04	Veracruz	Cerro Verde	Parcela
QRO01	Querétaro	Tolimán Xiti	Silvestre
NAY02	Nayarit	El Jicote	Silvestre
OAX10	Oaxaca	San Martín Lachila	Traspatio
OAX05	Oaxaca	Zaachilla	Traspatio
OAX03	Oaxaca	Zaachila	Traspatio
NAY01	Nayarit	El Jicote	Silvestre
VER11	Veracruz	Cazones	Mercado
AGS01	Aguascalientes	Aguascalientes	Mercado
QRO08	Querétaro	Bernal	Mercado
OAX07	Oaxaca	San Martín Lachila	Mercado
AGS03	Aguascalientes	Aguascalientes	Parcela
HGO01	Hidalgo	Tlamamala	Silvestre
MICH02	Michoacán	Michoacán	Traspatio
VER09	Veracruz	Tuxpan	Mercado
SON06	Sonora	Banamichi	Silvestre
QRO10	Querétaro	Jalpa de Serra	Silvestre
QRO03	Querétaro	San AntonioTolimán	Silvestre
VER08	Veracruz	Tuxpan	Parcela
VER03	Veracruz	Rancho Nuevo	Silvestre
QRO02	Querétaro	Higuerillas	Silvestre
QRO06	Querétaro	San Antonio Tolimán	Silvestre
QRO04	Querétaro	El Patol	Silvestre
MICH01	Michoacán	La Piedad	Silvestre
OAX04	Oaxaca	Zimatlán	Traspatio
SIN01	Sinaloa	El Porvenir	Silvestre
TUC01	Tucson	Arizona, EE. UU.	Silvestre
OAX01	Oaxaca	San José de las Flores	Traspatio
DUR01	Durango	Durango	Mercado
VER06	Veracruz	Papantla	Parcela
VER01	Veracruz	Chicontepec	Mercado
PUE01	Puebla	Xicotepec	Silvestre

Una vez identificados los grupos formados en el análisis de conglomerados, se calcularon promedios y medianas de las variables cuantitativas y cualitativas,

respectivamente, que conformaron los tres primeros componentes principales, con la finalidad de caracterizar a cada grupo formado. A los promedios obtenidos, adicionalmente se les aplicó una prueba de comparación de medias por el método de Tukey para conocer su significancia estadística ( $p= 0.05$ ).

Al conjunto completo de variables morfológicas, climáticas y fisiológicas se aplicó un análisis de componentes principales, se calculó la matriz de distancias de Gower y un análisis de conglomerados con el método de agrupamiento de Ward; finalmente, se realizó la comparación de medias con el método de Tukey, con  $p=0.05$ . Todos los análisis estadísticos arriba mencionados se realizaron empleando el software Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4 (SAS Institute, 2011)

Se aplicó la prueba de Mantel (Mantel, 1976) con la finalidad de conocer la correlación entre las diferentes matrices de distancias generadas con las bases de datos morfológicos, climáticos, fisiológicos y con la base conjunta de los tres conjuntos anteriores, la prueba de Mantel fue ejecutada con el programa GenAlEx 6 en la plataforma de Microsoft Excel (Peakall y Smouse, 2006).

### **3.5 Descriptores para la caracterización morfológica**

La caracterización morfológica se realizó en plantas crecidas en invernadero, en las cuales se registraron 26 variables morfológicas (Cuadro 3). De las 26 variables 23 son procedentes del manual de descriptores para *Capsicum* del IPGRI *et al.* (1995), y las restantes son variables adicionales que se consideraron importantes para la caracterización.

Dichas variables fueron medidas en invernadero a los 200 d después del trasplante, en cada una de las cuatro plantas disponibles en cada población.

**Cuadro 3.** Variables empleadas para la caracterización morfológica de colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en México.

Variables	Escala de medición	Origen de la variable	
		IPGRI <i>et al.</i> (1995)	PROPIA
Color del tallo (CT)	1. Verde, 2. Morado claro, 3. Morado, 4. Morado oscuro	x	
Forma del tallo (FT)	1. Cilíndrico, 2. Angular, 3. Achatado	x	
Pubescencia del tallo (PT)	3. Escasa, 5. Intermedia, 7. Densa	x	
Altura de la planta (ALT)	cm	x	
Número de ramas (NR)	Número		x
Número de bifurcaciones (NB)	Número		x
Hábito de crecimiento (HAC)	3. Postrada, 5. Erecta, 7. Intermedia, 8. Otro	x	
Altura de la planta hasta la primer bifurcación (ALTB)	cm	x	
Diámetro del tallo (DT)	cm	x	
Densidad de ramificación (DR)	3. Escasa, 5. Intermedia, 7. Densa	x	
Densidad de hojas (DH)	3. Escasa, 5. Intermedia, 7. Densa	x	
Color de la hoja (CH)	1. Amarillo, 2. Verde claro, 3. Verde, 4. Verde oscuro, 5. Morado claro, 6. Morado, 7. Jaspeado, 8. Otro	x	
Forma de la hoja (FH)	1. Deltoide, 2. Oval, 3. Lanceolada	x	
Margen de la lámina foliar (MLF)	1. Entera, 2. Ondulada, 3. Ciliada	x	
Pubescencia de la hoja (PH)	3. Escasa, 5. Intermedia, 7. Densa	x	
Floración a los 100 días (F100D)	1. Presente, 2. Ausente		x
Número de flores por axila (FA)	1. Uno, 2. Dos, 3. Tres o más, 4. Muchas flores en racimo pero cada una en axila individual, 5. Otro	x	
Posición de la flor (PF)	1. Pendiente, 2. Intermedia, 3. Erecta	x	
Color de la corola (CC)	1. Blanco, 2. Amarillo claro, 3. Amarillo, 4. Amarillo-verdoso, 5. Morado con la base blanca, 6. Blanco con la base purpura, 7. Blanco con el margen purpura, 8. Morado, 9. Otro	x	
Forma de la corola (FC)	1. Redonda, 2. Acampanulada, 3. Otro	x	
Color de las anteras (CA)	1. Blanco, 2. Amarillo, 3. Azul pálido, 4. Azul, 5. Morado, 6. Otro	x	
Color del fruto en estado maduro (CF)	1. Blanco, 2. Amarillo-limón, 3. Amarillo-naranja pálido, 4. Amarillo-naranja, 5. Naranja pálido, 6. Naranja, 7. Rojo claro, 8. Rojo, 9. Rojo oscuro, 10. Morado, 11. Marrón, 12. Negro, 13. Otro	x	
Forma del fruto (FF)	1. Elongado, 2. Casi redondo, 3. Triangular, 4. Acampanulado, 5. Acampanulado y en bloque, 6. Otro	x	
Longitud del fruto (LG)	cm	x	
Ancho del fruto (AF)	cm	x	
Epidermis del fruto (EF)	1. Lisa, 2. Semirrugosa, 3. Rugosa	x	

De las 34 poblaciones mencionadas en el Cuadro 2, solo pudieron caracterizarse las 30 poblaciones que llegaron a floración y fructificación hasta el mes de abril del año 2016.

Estas colectas fueron: dos de Aguascalientes (AGS01, AGS03), una de Durango (DUR01), una de Hidalgo (HGO01), dos de Michoacán (MICH01, MICH02), dos de Nayarit (NAY01, NAY02), cinco de Oaxaca (OAX01, OAX03, OAX05, OAX07, OAX08), una de Puebla (PUE01), cinco de Querétaro (QRO01, QRO02, QRO04, QRO07, QRO08), una de Sinaloa (SIN01), una de Sonora (SON01), ocho de Veracruz (VER01, VER03, VER04, VER06, VER08, VER09, VER11, VER12), y una de Tucson, Arizona (TUC01).

Una vez registrados los datos se generó una base de datos en Microsoft Excel para su posterior análisis estadístico.

### **3.6 Descriptores para la caracterización climática**

La caracterización climática se hizo utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) proveniente del WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005) el cual consta de imágenes tipo ráster (matriz de celdas o píxeles) con resolución espacial de 900 m por píxel, correspondiente al periodo climático 1960-1990 como climatología de referencia.

El SIG está constituido por 19 variables bioclimáticas las cuales se derivan de valores mensuales de temperatura y precipitación, con el objetivo de generar variables con mayor significancia biológica. Además de estas variables, el SIG se integró con imágenes de temperatura mínima y máxima mensual. La lista completa de las variables utilizadas en este estudio así como sus unidades, se describe en el Cuadro 4.

Con la información de la procedencia geográfica de las 34 colectas que fueron establecidas en invernadero se generó un archivo vectorial, el cual mediante el uso de las imágenes ráster y del módulo Spatial Analyst Tools del programa ESRI® ArcMap™ 10.0 (ESRI, 2010), permite extraer información puntual por accesión para integrar así una base de datos con los requerimientos ambientales de cada variable para cada colecta.

**Cuadro 4.** Variables empleadas para la caracterización climática de colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en México.

Variable	Descripción	Unidad de medición
BIO1	Temperatura media anual	°C
BIO2	Rango de temperatura diaria	°C
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (*100)	-
BIO4	Temperatura estacional (desviación estándar *100)	-
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	°C
BIO7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura media del cuatrimestre más húmedo	°C
BIO9	Temperatura media del cuatrimestre más seco	°C
BIO10	Temperatura media del cuatrimestre más cálido	°C
BIO11	Temperatura media del cuatrimestre más frío	°C
BIO12	Precipitación anual	mm
BIO13	Precipitación del mes más húmedo	mm
BIO14	Precipitación del mes más seco	mm
BIO15	Precipitación estacional (Coeficiente de variación)	-
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más húmedo	mm
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco	mm
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido	mm
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío	mm
AI	Altitud	m
LO	Longitud geográfica	° Norte
LN	Latitud geográfica	° Oeste
TIA	Temperatura mínima anual	°C
TXA	Temperatura máxima anual	°C

Los descriptores ecológicos se determinaron con la metodología usada por Ramírez *et al.* (2014), la cual consiste en identificar los valores promedio, mínimos y máximos de cada variable en la base de datos generada, para así establecer los rangos climáticos en los que se establece la especie.

Por otra parte, la base de datos generada se utilizó para realizar los análisis estadísticos descritos anteriormente.

### 3.7 Descriptores para la caracterización fisiológica

Debido a la posible presencia de patógenos en las plantas establecidas en invernadero, la caracterización fisiológica solamente se llevó a cabo en 30 de las 34 colectas establecidas en el invernadero.

Las variables utilizadas para la caracterización fisiológica se obtuvieron a partir de mediciones instantáneas hechas con un sistema de fotosíntesis portátil modelo LI-6400® (LICOR, Inc. USA) acoplado a una cámara de asimilación 6400-15 Extended Reach Chamber, la cual proporciona una superficie de muestra de 1.0 cm<sup>2</sup>. Dichas mediciones se hicieron en hojas maduras completamente extendidas de plantas en etapa vegetativa, con las siguientes condiciones: luz y temperatura natural con un flujo de CO<sub>2</sub> promedio de 400 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Las mediciones fueron tomadas hasta que el equipo se estabilizara y presentara un coeficiente de variación <0.5 %. Las lecturas fueron tomadas los días 6, 7 y 13 de octubre de 2016, con tres repeticiones por día, desde las 11:00 hasta las 14:00 h. Las variables medidas así como sus unidades se describen en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Variables empleadas para la caracterización fisiológica de colectas de chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en México.

Variable	Descripción	Unidad de medición
<b>gs</b>	Conductancia de H <sub>2</sub> O	mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
<b>E</b>	Tasa de transpiración	mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
<b>A</b>	Tasa de fotosíntesis	μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
<b>Ci</b>	Concentración intercelular de CO <sub>2</sub>	μmol CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup>
<b>Th</b>	Temperatura de la hoja	° C
<b>DPV</b>	Déficit de presión de vapor basado en la temperatura de la hoja	kPa

### **3.8 Descriptores para la caracterización integral con variables morfológicas, fisiológicas y climáticas**

Una vez caracterizada la parte morfológica (23 variables), climática (24 variables) y fisiológica (6 variables), se procedió a hacer un análisis integral con todo el conjunto de variables. Para ello se eligieron las colectas que pudieron ser caracterizadas en los tres ámbitos (morfológico, climático y fisiológico), que fue un total de 30 colectas: dos colectas del estado de Aguascalientes (AGS01 y AGS03), una colecta del estado de Hidalgo (HGO01), dos colectas del estado de Michoacán (MICH01 y MICH02), dos colectas del estado de Nayarit (NAY01 y NAY02), seis colectas del estado de Oaxaca (OAX01, OAX03, OAX05, OAX07, OAX08 y OAX10), una colecta de Puebla (PUE01), siete colectas del estado de Querétaro (QRO01, QRO02, QRO04, QRO06, QRO07, QRO08, QRO10), una colecta del estado de Sinaloa (SIN01), siete colectas del estado de Veracruz (VER03, VER04, VER06, VER08, VER09, VER11 Y VER12), y una colecta de Tucson, Arizona (TUC01).

A dicha base de datos se le hicieron los análisis estadísticos que se describen adelante: análisis de componentes principales, análisis de conglomerados y la prueba de medias por el método de Tukey, para las variables que conformaron los tres primeros componentes principales.

Además de los análisis anteriores se realizó un análisis de varianza multivariado entre los grupos derivados del análisis de conglomerados, con el objetivo de identificar si los grupos formados son estadísticamente diferentes. También se realizaron las pruebas de Mantel, con el objetivo de ver qué tan parecidas son las bases de datos utilizadas en cada caracterización y cuáles de ellas presentan mayor relación.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización morfológica

Análisis discriminante con el método Stepwise

Este análisis reveló que 23 de las 26 variables caracterizadas resultaron informativas y se mantuvieron para llevar a cabo el análisis de componentes principales. Las variables excluidas fueron: margen de la lámina foliar (MLF), posición de la flor (PF) y color de las anteras (CA).

Análisis de componentes principales

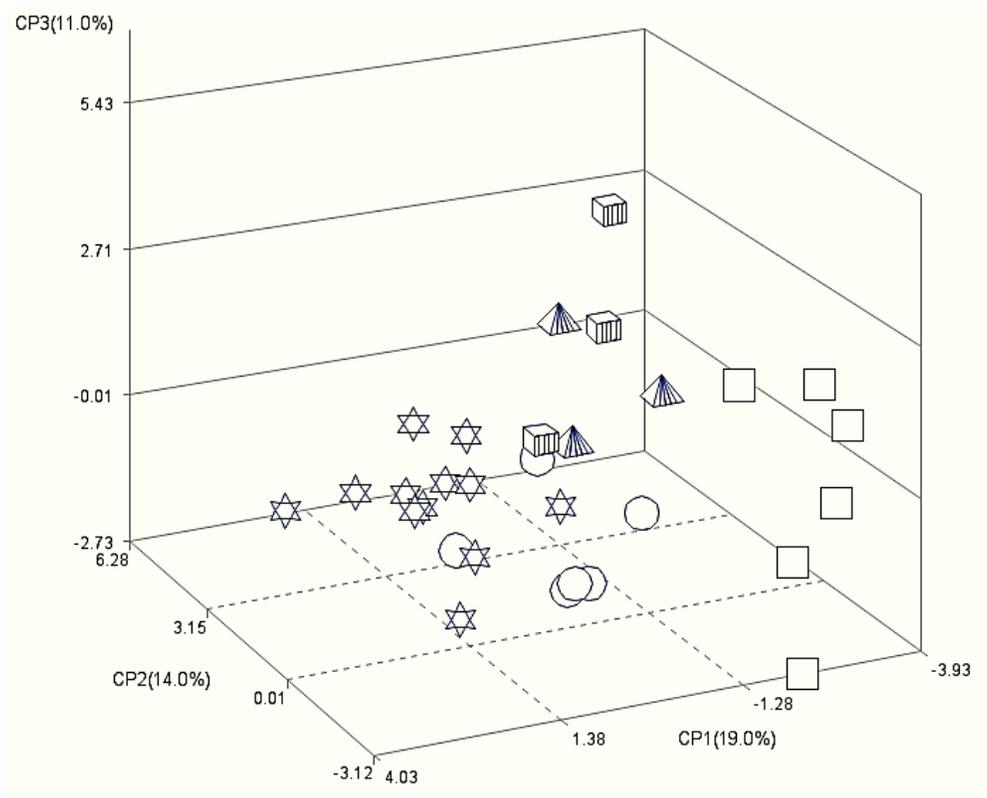
Este análisis mostró que 43.2 % de la variación es explicada por los tres primeros componentes principales, y que para explicar 73.1 % de la variación entre las poblaciones se requiere de los siete primeros componentes principales (Cuadro 4). Es decir, las variables relevantes en la descripción morfológica del chile Piquín están distribuidas en al menos siete componentes.

El Cuadro 6 detalla las variables que componen cada componente principal. El CP1 (componente principal 1) individualmente explica 19.0 % de la variación total de las colectas, y está representado por las variables color de hoja y número de ramas. El CP2 explica 14.0 % de la variación total y está mayormente determinado por las variables forma del tallo, pubescencia del tallo, densidad de ramificación, color y forma de la corola. El CP3 aporta 11.0 % de la variación total y está constituido por las variables pubescencia de la hoja, largo de fruto, forma del fruto y epidermis del fruto.

Los componentes CP4, CP5, CP6 y CP7 contribuyen con 10.0, 7.0, 7.0 y 6.0 % de la variación total respectivamente. El CP4 está definido por las variables altura de la bifurcación, número de flores por axila y número de bifurcaciones. El

CP5 está constituido por las variables altura de la planta y hábito de crecimiento. El CP6 está conformado por las variables ancho y color de fruto. Por último, el CP7 está integrado por la variable floración a los 100 d.

La dispersión espacial de las poblaciones efectuada con las variables que integran los tres primeros componentes principales se muestra en la Figura 2. Esta gráfica confirma que las colectas se agrupan en dos grandes grupos, el A y el B, debido a la forma del tallo, ya que las plantas del Grupo A son de tallos angulares mientras que las del Grupo B son de tallos cilíndricos.



**Figura 2.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables morfológicas. Estrella = subgrupo I A; cubo = subgrupo II A; círculo = subgrupo III A; pirámide = subgrupo IV A; cuadro = subgrupo I B.

De las 23 variables empleadas para el análisis de componentes principales, solamente 20 forman parte de los vectores de los primeros siete componentes principales que en conjunto explican 73.1 % de la variación entre las poblaciones.

Las variables diámetro de tallo (DT), color del tallo (CT) y densidad de hojas (DH), forman parte del resto de los componentes principales.

**Cuadro 6.** Variación explicada por los siete componentes principales derivados de 23 variables morfológicas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

	Eje de los componentes principales						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Autovalor</b>	4.38	3.14	2.44	2.27	1.61	1.51	1.46
<b>Proporción de la variación explicada (%)</b>	19.0	14.0	11.0	10.0	7.0	7.0	6.0
<b>Proporción de la variación acumulada (%)</b>	19.0	32.6	43.2	53.1	60.1	66.7	73.1
	Vectores propios						
<b>ALT</b>	0.18	0.13	-0.06	-0.08	<b>0.36</b>	0.27	0.21
<b>DT</b>	0.29	0.14	-0.10	0.13	0.23	0.19	-0.04
<b>ALTB</b>	0.25	0.13	-0.20	<b>-0.33</b>	0.17	0.05	0.23
<b>CT</b>	-0.01	-0.18	-0.25	-0.22	0.24	0.20	-0.20
<b>FT</b>	0.29	<b>0.31</b>	-0.14	0.09	-0.12	-0.12	0.12
<b>PT</b>	0.10	<b>-0.31</b>	0.25	-0.06	0.09	0.34	-0.01
<b>HAC</b>	-0.06	0.22	-0.01	0.06	<b>0.33</b>	0.25	0.20
<b>DR</b>	0.24	<b>-0.33</b>	-0.20	-0.15	-0.26	0.05	-0.14
<b>DH</b>	0.30	-0.26	-0.09	0.03	-0.26	0.07	0.08
<b>CH</b>	<b>0.35</b>	0.12	0.10	0.09	-0.08	0.01	0.22
<b>FH</b>	0.28	0.17	-0.07	<b>0.35</b>	-0.14	0.12	-0.14
<b>PH</b>	-0.07	-0.12	<b>0.45</b>	0.01	0.14	0.38	-0.02
<b>FA</b>	-0.04	-0.03	-0.19	<b>0.37</b>	-0.34	0.27	0.22
<b>CC</b>	-0.11	<b>0.38</b>	0.01	-0.31	-0.28	0.19	-0.15
<b>FC</b>	-0.11	<b>0.38</b>	0.01	-0.31	-0.28	0.19	-0.15
<b>F100D</b>	0.15	0.10	-0.09	0.20	0.30	-0.19	<b>-0.56</b>
<b>NR</b>	<b>0.39</b>	-0.20	0.00	-0.05	-0.03	0.11	-0.20
<b>NB</b>	0.26	0.07	0.06	<b>-0.41</b>	-0.03	-0.05	0.15
<b>LF</b>	0.19	0.25	<b>0.36</b>	0.15	0.08	-0.14	-0.19
<b>AF</b>	-0.10	0.15	-0.06	0.27	-0.09	<b>0.41</b>	0.00
<b>CF</b>	0.11	0.00	0.20	0.05	0.06	<b>-0.33</b>	0.38
<b>FF</b>	-0.21	-0.08	<b>-0.35</b>	0.14	0.15	-0.06	0.24
<b>EF</b>	0.04	-0.06	<b>0.44</b>	0.04	-0.12	0.00	0.11

ALT = altura de la planta; DT = diámetro del tallo; ALTB = altura de la planta hasta la primer bifurcación; CT = color del tallo; FT = forma del tallo; PT = pubescencia del tallo; HAC = hábito de crecimiento; DR = densidad de ramificación; DH = densidad de hojas; CH = color de la hoja; FH = forma de la hoja; PH = pubescencia de la hoja; FA = número de flores por axila; CC = color de la corola; FC = forma de la corola; F100D = floración a los 100 días; NR = número de ramas; NB = número de bifurcaciones; LF = largo del fruto; AF = ancho del fruto; CF = color del fruto; FF = forma del fruto; EF = epidermis del fruto. Las variables con mayor influencia sobre cada componente principal en columnas son resaltadas en negritas.

Una caracterización morfológica realizada *in situ* de 89 colectas de chiles silvestres de Tabasco con 24 variables morfológicas de planta, flor y fruto propuestas por el IPGRI *et al.* (1995), reveló que los tres primeros componentes principales explicaron 46.9 % de la variabilidad morfológica total (Narez-Jiménez *et al.*, 2014). Dichos resultados son muy parecidos a los del presente estudio en el cual los tres primeros componentes principales aportan 43.2 % de la variación total. Ballina-Gómez *et al.* (2013) también realizaron una caracterización morfológica y análisis de componentes principales en *Capsicum annuum* L. de colectas provenientes del sureste de México de origen silvestre y semicultivado, con 47 variables morfológicas de planta, flor y fruto (IPGRI *et al.*, 1995); de manera similar a lo aquí encontrado, los primeros tres componentes principales explicaron en conjunto 48 % de la variación total.

Parte de los resultados observados concuerdan con los reportados por Castañón-Nájera *et al.* (2008), Hernández-Verdugo *et al.* (2012), Villota-Cerón *et al.* (2012), y Narez-Jiménez *et al.* (2014), quienes mediante análisis de componentes principales sobre características morfológicas de poblaciones de *C. annuum* silvestre encontraron que las variables altura de planta, además de variables que caracterizan a frutos y flores, se encuentran dentro de los tres primeros componentes principales. En su estudio sobre la evaluación de características morfométricas de chile Piquín en Chiapas, Alonso *et al.* (2010) demostraron que las variables relacionadas con la planta, frutos y semilla se encuentran representados en todas las plantas, lo cual permite generar un nuevo conjunto de variables independientes para estudios posteriores.

Por su parte, Toledo (2015) menciona que para los chiles Anchos nativos de México las variables relacionadas con la caracterización de los frutos son las que contribuyen a explicar la mayor cantidad de la variación total, junto con tamaño de hojas (maduras y cotiledonales), altura de planta y variables relacionadas con la caracterización de la semilla del fruto. La mayoría de investigadores de este género de plantas, como Adetula y Olakojo (2006), Pardey

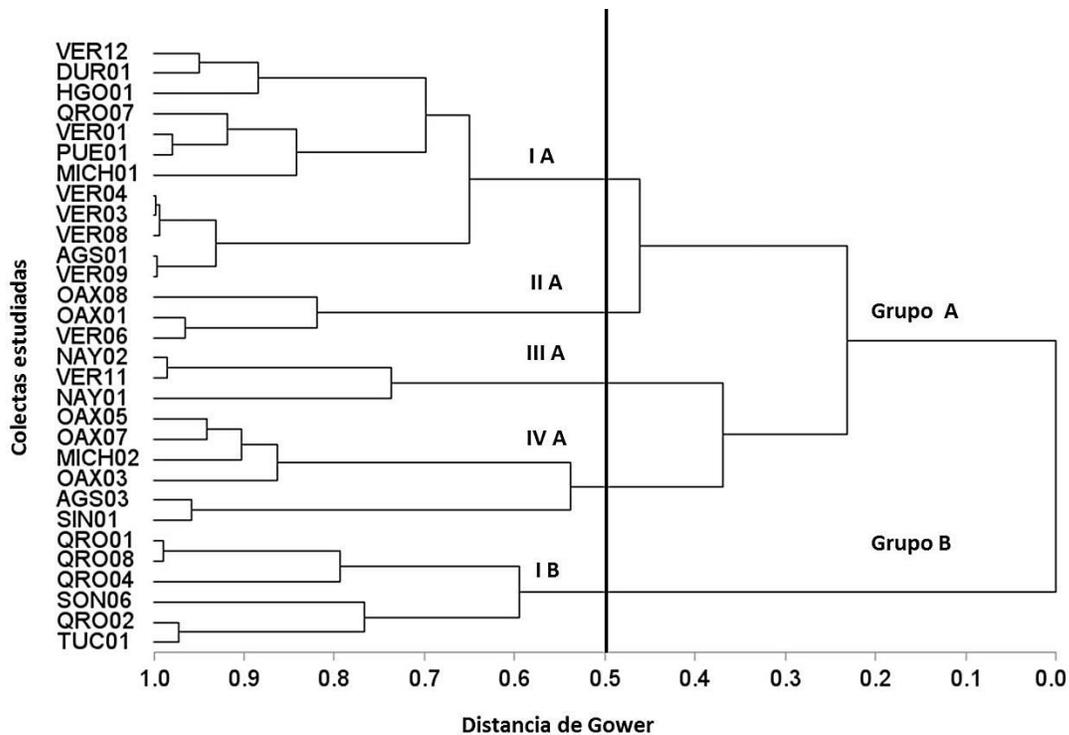
*et al.* (2006), Portis *et al.* (2006), Moscone *et al.* (2007), Kadri *et al.* (2009), Castañón-Nájera *et al.* (2010) Rêgo *et al.* (2011), Ballina-Gómez *et al.* (2013), Andrawus *et al.* (2014), afirman que para el género *Capsicum* las variables que caracterizan los frutos son las que aportan mayor variación.

### Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados se realizó con las variables que resultaron significativas en el análisis discriminante mediante el método Stepwise: color del tallo (CT), forma del tallo (FT), pubescencia del tallo (PT), altura de la planta (ALT), número de ramas (NR), número de bifurcaciones (NB), hábito de crecimiento (HAC), altura de la planta hasta la primer bifurcación (ALTB), diámetro del tallo (DT), densidad de ramificación (DR), densidad de hojas (DH), color de la hoja (CH), forma de la hoja (FH), pubescencia de la hoja (PH), floración a los 100 días (F100D), número de flores por axila (FA), color de la corola (CC), forma de la corola (FC), color del fruto en estado maduro (CF), forma del fruto (FF), longitud del fruto (LG), ancho del fruto (AF), tipo de epidermis del fruto (EF).

El dendrograma mostrado en la Figura 3 se hizo con las distancias de Gower (Gower, 1971) y con el método de agrupamiento de Ward, en donde de acuerdo con la pseudo F y la pseudo  $t^2$  el número mínimo de agrupaciones estadísticamente significativas son dos, que corresponden al Grupo A y al Grupo B. Sin embargo, de acuerdo con las características morfológicas observadas, se decidió hacer un corte a una distancia de Gower de 0.5 para delimitar así a cuatro subgrupos en el Grupo A y un único subgrupo en el Grupo B.

Las medias y modas de las variables que integran los tres primeros componentes principales se muestran en el Cuadro 7 para ambos grupos, donde puede observarse que de las 11 variables que componen los tres primeros componentes principales, tres de ellas son iguales en todos los grupos formados: pubescencia de la hoja escasa, corola de color blanco y corola de forma redonda.



**Figura 3.** Grupos formados por colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables morfológicas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward.

**Cuadro 7.** Promedios y modas de las variables morfológicas que conforman los tres primeros componentes principales para los cinco subgrupos formados de las poblaciones de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

Subgrupo	FT*	PT*	DR*	CH*	PH*	CC*	FC*	NR <sup>+</sup>	LF <sup>+</sup>	FF*	EF*
I A	2	5	7	4	3	1	1	12	14.2	1	1
II A	2	5	5	3	3	1	1	6	19.0	1	2
III A	2	3	3	3	3	1	1	2	17.4	1	1
IV A	2	3	7	4	3	1	1	7	11.2	3	1
IB	1	5	7	2	3	1	1	8	8.5	3	1

\* Moda de variable cualitativa; <sup>+</sup> Promedio de variable cuantitativa; FT= forma del tallo (1 = cilíndrico, 2 = angular); PT = pubescencia del tallo (3 = escasa, 5 = intermedia); DR = densidad de ramificación (5 = intermedia, 7 = densa); CH = color de la hoja (2 = verde claro, 3 = verde, 4 = verde oscuro); PH = pubescencia de la hoja (3 = escasa); CC = color de la corola (1 = blanca); FC = forma de la corola (1 = redonda); NR = número de ramas; LF = largo de fruto; FF = forma del fruto (1 = elongado, 3 = triangular); EP = epidermis del fruto (1 = lisa, 2 = rugosa).

De acuerdo con lo anterior, los cinco subgrupos formados pueden caracterizarse de la siguiente manera:

**Subgrupo I A.** Este subgrupo se encuentra constituido por 12 poblaciones, las cuales proceden de los siguientes estados: una colecta de Aguascalientes (AGS01), una colecta de Durango (DUR01), una colecta del estado de Hidalgo (HGO01), seis colectas del estado de Veracruz (VER01, VER03, VER04, VER08, VER09 y VER12), una colecta de Querétaro (QRO07), una colecta de Michoacán (MICH01) y una colecta de Puebla (PUE01). Este grupo se caracteriza por tener plantas con tallos angulares con pubescencia intermedia, densamente ramificadas, presentando un promedio de 12 ramas por planta. Las hojas son de color verde oscuro y con pubescencia escasa. Corolas de color blanco y forma redonda. Presenta frutos de 14.2 mm de largo, de forma elongada con epidermis lisa.

**Subgrupo II A.** Este conglomerado se encuentra conformado por dos poblaciones procedentes de Oaxaca (OAX01 y OAX08) y una población procedente de Veracruz (VER06). Las plantas que conforman este grupo se caracterizan por presentar tallos de forma angular con pubescencia intermedia. Presentan una densidad de ramificación intermedia, con un promedio de seis ramas por planta. Sus hojas son de color verde con pubescencia escasa. Corolas de color blanco y forma redonda. Los frutos presentan una longitud promedio de 19.0 mm, de forma elongada y epidermis rugosa.

**Subgrupo III A.** Este conglomerado se encuentra constituido por solamente tres poblaciones, de las cuales dos son procedentes del estado de Nayarit (NAY01 y NAY02) y una del estado de Veracruz (VER11). Las plantas que conforman este grupo presentan las siguientes características: tallos de forma angular, escasamente pubescentes, escasamente ramificados con un promedio de dos ramas por planta, hojas color verde escasamente pubescentes, flores con corolas

blancas de forma redonda, frutos con longitud promedio de 17.4 mm, de forma elongada y con epidermis lisa.

**Subgrupo IV A.** Conformado por seis poblaciones, AGS03, MICH02, OAX03, OAX05, OAX07 y SIN01. Este grupo al igual que los demás se caracteriza por tener plantas con tallos de forma angular. A diferencia de los grupos anteriores, los tallos de las plantas presentan escasa pubescencia. Las plantas son densamente ramificadas presentando en promedio siete ramas por planta. En cuanto a las hojas están suelen ser de color verde oscuro y escasamente pubescentes. Las corolas de las flores son de color blanco y de forma redonda. Los frutos tiene en promedio una longitud de 11.2 mm, de forma triangular y epidermis lisa.

**Subgrupo I B.** Este conglomerado se encuentra conformado por seis poblaciones: cuatro colectas del estado de Querétaro (QRO01, QRO02, QRO04 y QRO08), una población del estado de Sonora (SON06) y una población de Tucson, Arizona (TUC01). Este subgrupo se caracteriza por presentar plantas con tallos cilíndricos con pubescencia intermedia, altamente ramificadas presentando en promedio ocho ramas por planta. Las hojas son de color verde claro con pubescencia escasa. Las corolas de las flores son de color blanco y forma redonda. Los frutos son de forma triangular, con epidermis lisa y longitud promedio de 8.5 mm.

Cabe destacar que ninguno de los cinco conglomerados formados presenta un patrón de agrupamiento por región geográfica, ya que las poblaciones procedentes de un mismo estado no se distribuyen exclusivamente en un solo grupo. Aun así, puede mencionarse que el conglomerado I A en su mayoría está conformado por poblaciones provenientes del estado de Veracruz, el conglomerado IV A contiene todas las poblaciones estudiadas del estado de Nayarit, y el conglomerado I B presenta la mayoría de las poblaciones caracterizadas del estado de Querétaro.

En cierto sentido esto puede estar asociado al origen de las poblaciones (silvestre, mercado, parcela y traspatio), ya que en las poblaciones procedentes de mercados no se tiene la certeza de que realmente sean del sitio indicado como su origen. Por otra parte, las características climáticas del sitio donde se desarrollaron las plantas, con fertirriego y con cobertura, no son las mismas que en los sitios de donde provienen los materiales, lo cual influye en la expresión morfológica de las plantas.

## 4.2 Caracterización climática

### Descriptores ecológicos

De acuerdo con los resultados obtenidos y como puede observarse en el Cuadro 8, el Chile Piquín muestra una gran adaptación a diversos ambientes, de acuerdo con los amplios rangos ambientales en los que se puede crecer la especie.

En el gradiente altitudinal el Chile Piquín muestra un intervalo de adaptación amplio, desde 8 hasta 2,147 m, con un promedio de 987 m. Los registros más recientes sobre la altitud a la cual se establece la especie mencionan a 1,800 m como máximo (Martínez, 2007).

En cuanto a la temperatura, la especie se puede establecer en regiones donde la temperatura máxima anual oscila entre 24.7 a 30.9 °C, la temperatura mínima anual varía de 7.8 a 19.9 °C, y la temperatura media anual presenta un rango de 16.7 a 24.9 °C. Según Rodríguez del Bosque *et al.* (2004), de manera muy general la especie se adapta a regiones con temperatura media anual de 21 a 24 °C.

En cuanto a la precipitación, Rodríguez del Bosque *et al.* (2004) mencionan que como mínimo la especie requiere 500 mm anuales para desarrollarse satisfactoriamente.

**Cuadro 8.** Descriptores ecológicos de las variables empleadas para la caracterización climática de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en México.

Variable	Mínimo	Medio	Máximo	Unidad
LO	-110.92	-100.27	-95.41	°
LN	16.54	21.17	32.22	°
BIO1	16.7	21.5	24.9	°C
BIO2	8.9	14.2	18.6	°C
BIO3	46	60	72	-
BIO4	142.9	299.9	710.9	-
BIO5	28.7	32.8	38.4	°C
BIO6	8.0	9.4	16.2	°C
BIO7	17.5	23.4	34.2	°C
BIO8	18.7	24.1	29.7	°C
BIO9	13.6	19.1	24.5	°C
BIO10	19.4	24.9	29.8	°C
BIO11	11.8	17.3	22.0	°C
BIO12	301	982	2,340	mm
BIO13	59	218	511	mm
BIO14	1	15	59	mm
BIO15	52	85	130	-
BIO16	148	539	1374	mm
BIO17	7	56	189	mm
BIO18	121	361	953	mm
BIO19	13	74	190	mm
AL	8	987	2147	m
TIA	7.8	14.4	19.9	°C
TXA	24.7	28.6	30.9	°C

BIO1 = temperatura media anual; BIO2 = intervalo de temperatura diaria; BIO3 = isothermalidad; BIO4 = temperatura estacional; BIO5 = temperatura máxima del mes más cálido; BIO6 = temperatura mínima del mes más frío; BIO7 = rango de temperatura anual; BIO8 = temperatura media del cuatrimestre más húmedo; BIO9 = temperatura media del cuatrimestre más seco; BIO10 = temperatura media del cuatrimestre más cálido; BIO11 = temperatura media del cuatrimestre más frío; BIO12 = precipitación anual; BIO13 = precipitación del mes más húmedo; BIO14 = precipitación del mes más seco; BIO15 = precipitación estacional; BIO16 = precipitación del cuatrimestre más húmedo; BIO17 = precipitación del cuatrimestre más seco; BIO18 = precipitación del cuatrimestre más cálido; BIO19 = precipitación del cuatrimestre más frío; AL = Altitud; LO = longitud oeste; LN = latitud norte; TIA = temperatura mínima anual; TXA = temperatura máxima anual.

De acuerdo con los resultados observados en la presente investigación se establece que la especie puede encontrarse en regiones donde anualmente llueven de 301 a 2,340 mm, con valor promedio de 982 mm acumulados en el año.

Actualmente existe muy poca información acerca de los parámetros agroclimáticos a los cuales la especie se puede establecer satisfactoriamente. El aporte de esta investigación resulta bastante importante y puede tomarse como un punto de partida sobre los requerimientos para describir la especie.

#### Análisis de componentes principales

Este análisis reveló que 87.6 % de la variación es explicada por los tres primeros componentes principales. Como se muestra en el Cuadro 9, de la variación total 97.7 % es explicada con los cinco primeros componentes principales. El CP1 (componente principal 1) individualmente explica 50.6 %, el CP2 explica 22.9 % de la variación, y el CP3 explica individualmente 13.9 % de la variación total. Por su parte, CP4 y CP5 explican respectivamente 6.6 y 3.4 % de la variación total de las poblaciones.

En este caso la elección de los vectores propios de cada variable se hizo identificando valores mayores a 0.25. El CP1 está compuesto por las variables BIO1 (temperatura media anual), BIO6 (temperatura mínima del mes más frío), TIA (temperatura mínima anual) y AL (altitud). El CP2 está integrado por las variables BIO4 (temperatura estacional), BIO5 (temperatura máxima del mes más cálido), BIO7 (rango de temperatura anual), BIO8 (temperatura media del cuatrimestre más húmedo), LO (longitud) y LN (latitud).

El CP3 está integrado por las variables BIO3 (isotermalidad), BIO17 (precipitación del cuatrimestre más seco), BIO19 (precipitación del cuatrimestre más frío) y TXA (temperatura máxima anual).

**Cuadro 9.** Variación explicada por los cinco componentes principales derivados de 24 variables climáticas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

	Eje de los Componentes Principales				
	1	2	3	4	5
<b>Autovalor</b>	12.15	5.51	3.34	1.60	0.82
<b>Proporción de la variación explicada (%)</b>	50.6	22.9	13.9	6.6	3.4
<b>Proporción de la variación acumulada (%)</b>	50.6	73.6	87.6	94.2	97.7
	Vectores propios				
<b>BIO1</b>	<b>0.26</b>	0.06	0.09	-0.18	0.02
<b>BIO2</b>	-0.25	0.04	0.15	0.10	<b>0.37</b>
<b>BIO3</b>	-0.16	-0.25	<b>0.26</b>	0.02	0.18
<b>BIO4</b>	0.02	<b>0.39</b>	-0.15	0.13	-0.04
<b>BIO5</b>	0.10	<b>0.34</b>	0.14	-0.06	0.41
<b>BIO6</b>	<b>0.26</b>	-0.09	0.02	-0.19	-0.14
<b>BIO7</b>	-0.19	<b>0.26</b>	0.04	0.15	0.34
<b>BIO8</b>	0.22	<b>0.26</b>	0.03	-0.06	-0.02
<b>BIO9</b>	0.22	0.17	0.20	-0.04	-0.01
<b>BIO10</b>	0.22	0.25	0.02	-0.08	0.01
<b>BIO11</b>	0.22	-0.14	0.19	-0.24	0.04
<b>BIO12</b>	0.22	-0.16	0.04	<b>0.31</b>	0.16
<b>BIO13</b>	0.22	-0.13	0.02	<b>0.31</b>	0.01
<b>BIO14</b>	0.19	-0.08	0.19	0.19	0.25
<b>BIO15</b>	-0.05	0.02	0.04	0.17	-0.17
<b>BIO16</b>	0.19	-0.14	0.17	<b>0.36</b>	0.02
<b>BIO17</b>	0.20	-0.08	<b>-0.32</b>	0.17	0.22
<b>BIO18</b>	0.20	-0.10	0.15	<b>0.36</b>	-0.17
<b>BIO19</b>	0.22	0.01	<b>-0.30</b>	0.17	0.13
<b>TIA</b>	<b>0.27</b>	0.02	0.01	-0.16	-0.13
<b>TXA</b>	0.18	0.13	<b>0.30</b>	-0.19	0.38
<b>AL</b>	<b>-0.27</b>	-0.10	0.02	0.05	0.10
<b>LO</b>	0.07	<b>-0.34</b>	-0.13	-0.28	0.25
<b>LN</b>	-0.02	<b>0.38</b>	-0.08	0.22	-0.19

BIO1 = temperatura media anual; BIO2 = rango de temperatura diurna; BIO3 = isotermalidad; BIO4 = temperatura estacional; BIO5 = temperatura máxima del mes más cálido; BIO6 = temperatura mínima del mes más frío; BIO7 = rango de temperatura anual; BIO8 = temperatura media del cuatrimestre más húmedo; BIO9 = temperatura media del cuatrimestre más seco; BIO10 = temperatura media del cuatrimestre más cálido; BIO11 = temperatura media del cuatrimestre más frío; BIO12 = precipitación anual; BIO13 = precipitación del mes más húmedo; BIO14 = precipitación del mes más seco; BIO15 = precipitación estacional; BIO16 = precipitación del cuatrimestre más húmedo; BIO17 = precipitación del cuatrimestre más seco; BIO18 = precipitación del cuatrimestre más cálido; BIO19 = precipitación del cuatrimestre más frío; AL = Altitud; LO = longitud oeste; LN = latitud norte; TIA = temperatura mínima anual; TXA = temperatura máxima anual. Las variables con mayor influencia sobre cada componente principal en columnas son resaltadas en negritas.

El CP4 está integrado por las variables BIO12 (precipitación anual), BIO13 (precipitación del mes más cálido), BIO16 (precipitación del cuatrimestre más húmedo) y BIO18 (precipitación del cuatrimestre más cálido). Por último, el CP5 está integrado solamente por la variable BIO2 (intervalo de temperatura diurna).

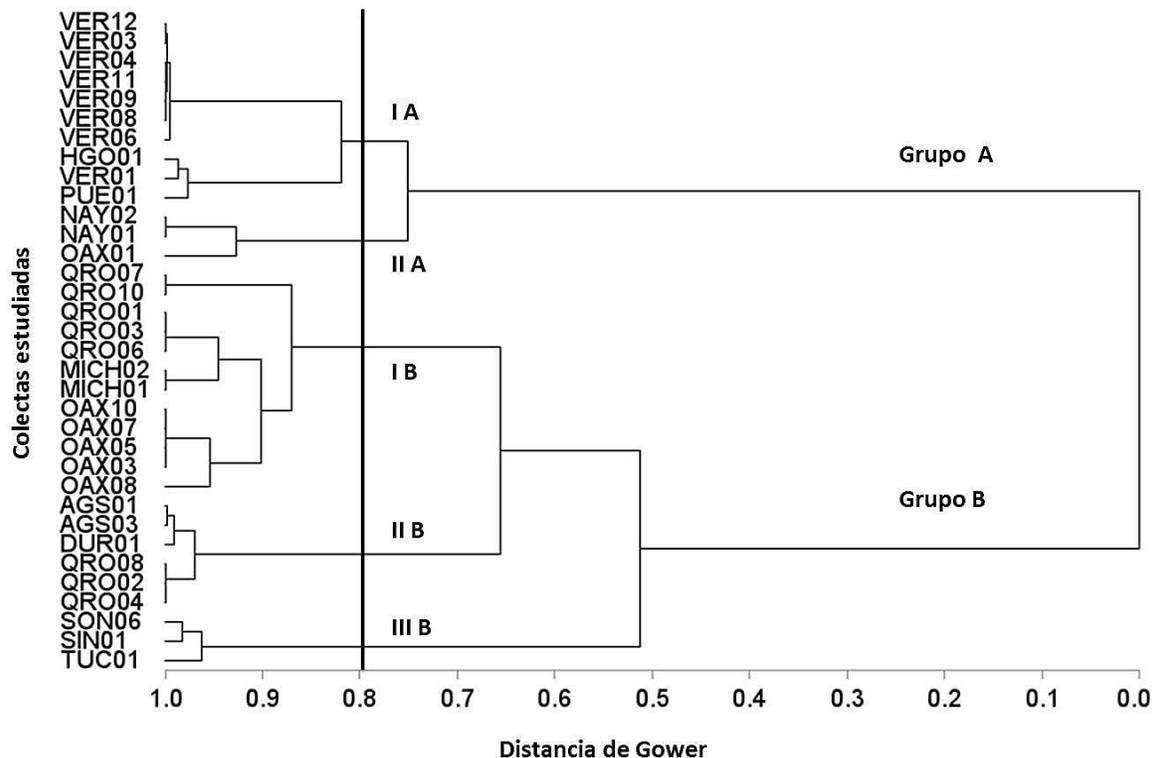
En el Cuadro 9 se observa que 14 de las 24 variables empleadas para la caracterización climática forman parte de los primeros tres componentes principales. También se aprecia que los cinco primeros componentes principales incluyen a 19 de las 24 variables analizadas. La temperatura media del cuatrimestre más seco (BIO9), temperatura media del cuatrimestre más cálido (BIO10), temperatura media del cuatrimestre más frío (BIO11), precipitación del mes más seco (BIO14) y precipitación estacional (BIO15), son variables que se integran después de los cinco primeros componentes principales.

En cuanto a las variables que conforman a cada componente principal, el CP1 está integrado por variables relacionadas con temperatura y la altitud. El CP2 está integrado por variables relacionadas con temperatura y ubicación geográfica (latitud y longitud). El CP3, por su parte, está compuesto con variables relacionadas con temperatura y precipitación. El CP4 se encuentra integrado por variables relacionadas con la precipitación. Finalmente, el CP5 solo está compuesto por una variable y tiene que ver con temperatura.

#### Análisis de conglomerados

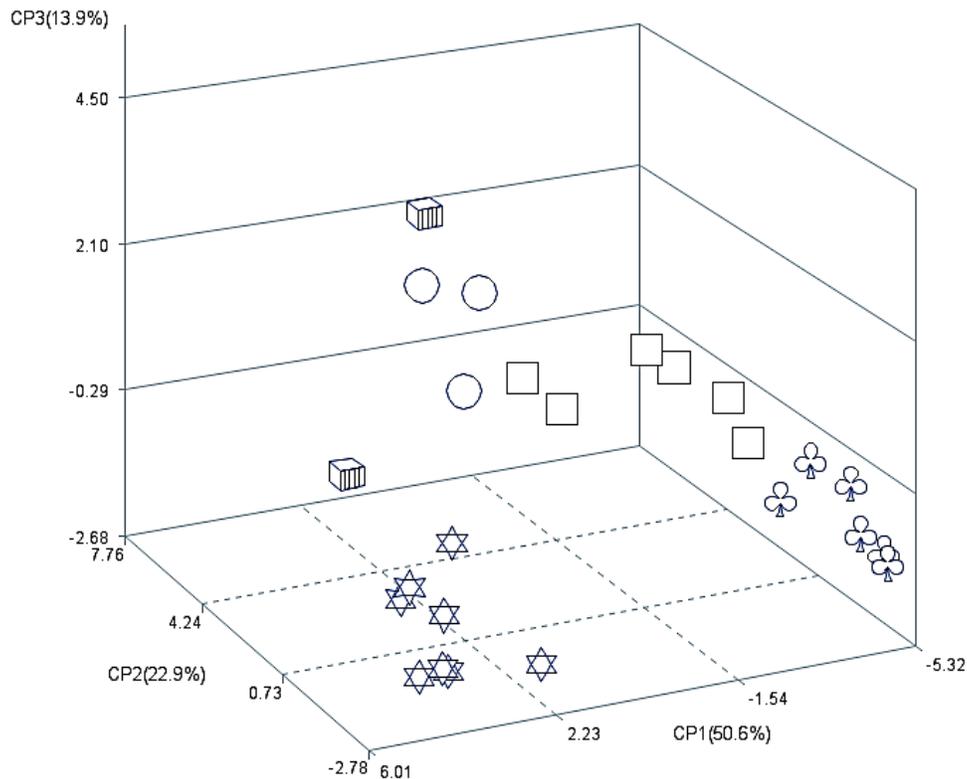
El análisis de conglomerados se hizo con las 24 variables mencionadas, en base al origen de cada colecta. En cuanto al número de subgrupos formados, de acuerdo con la pseudo F y la pseudo  $T^2$  el número mínimo de agrupaciones estadísticamente soportadas son dos, formando así el Grupo A y Grupo B (Figura 4).

Sin embargo, de acuerdo con los valores climáticos observados y la experiencia sobre el tema, se decidió hacer un corte a una distancia de Gower de 0.8 para delimitar así cinco subgrupos, dos en el Grupo A y tres en el Grupo B.



**Figura 4.** Grupos formados por colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables climáticas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward.

En la Figura 5 puede observarse un patrón de agrupamiento de acuerdo al origen o la procedencia de las colectas. Así se puede encontrar que todas las colectas de Veracruz, Hidalgo y Puebla se encuentran formando un solo subgrupo (I A). El subgrupo II A está integrado por todas las colectas procedentes de Nayarit y una única colecta de Oaxaca. Esta colecta procedente de Oaxaca puede deberse a un error en la georreferenciación, o bien en la procedencia de la misma. El subgrupo I B está constituido por colectas de Querétaro, Michoacán y Oaxaca. El subgrupo II B está compuesto por colectas de Aguascalientes, Querétaro y Durango; y finalmente, el subgrupo III B está integrado por colectas de los estados del noroeste del país, Sonora y Sinaloa, más la de Tucson, EE. UU.



**Figura 5.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables climáticas. Estrella = conglomerado I A; cubo = conglomerado II A; cuadrado = conglomerado I B; trébol = conglomerado II B; círculo = conglomerado III B.

También puede observarse que las colectas de Querétaro se distribuyen en dos subgrupos (I B y II B), lo que sugiere que en este estado existen por lo menos dos morfotipos de plantas de Piquín, de acuerdo con sus requerimientos climáticos.

Las medias, así como las pruebas de Tukey de las variables que integran los tres primeros componentes principales, pueden observarse en el Cuadro 10, para cada subgrupo.

**Cuadro 10.** Promedios y pruebas de medias con el método de Tukey de las variables climáticas que conforman los tres primeros componentes principales para los 5 subgrupos formados de las poblaciones de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

Subgrupo	BIO1	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8
I A	25.3 ab	53.0 b	320.2 b	32.5 b	13.4 a	19.1 c	26.0 b
II A	24.6 a	63.3 a	228.2 b	33.4 b	14.8 a	18.6 c	26.6 b
I B	21.0 c	65.4 a	233.4 b	33.0 b	8.2 b	24.7 b	27.7 c
II B	17.1 d	64.5 a	277.4 b	29.6 c	4.0 c	25.6 b	19.4 d
III B	21.8 bc	49.6 b	614.1 a	37.8 a	5.5 bc	32.3 a	29.1 a
Subgrupo	BIO17	BIO19	TIA	TXA	AL	LONG	LAT
I A	127.9 a	147.8 a	18.4 a	28.6 b	212 c	-97.582 a	20.734 b
II A	50.3 b	83.6 b	18.7 a	30.5 a	177 c	-101.846 b	20.262 b
I B	21.0 b	28.0 c	12.9 b	29.3 b	1403 b	-98.958 ab	19.125 b
II B	24.5 b	36.6 c	8.8 c	25.5 c	2030 a	-101.476 b	21.873 b
III B	20.0 b	74.6 bc	12.8 b	28.8 ab	624 c	-110.532 c	30.304 a

BIO1 = temperatura media anual; BIO3 = isothermalidad; BIO4 = temperatura estacional; BIO5 = temperatura máxima del mes más cálido; BIO6 = temperatura mínima del mes más frío; BIO7 = rango de temperatura anual; BIO8 = temperatura media del cuatrimestre más húmedo; BIO17 = precipitación del cuatrimestre más seco; BIO19 = precipitación del cuatrimestre más frío; AL = altitud; LO = longitud; LN = latitud; TIA = temperatura mínima anual; TXA = temperatura máxima anual. Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente.

En este (Cuadro 10) puede observarse que las medias de cada variable son estadísticamente diferentes. De las 14 variables que conforman los tres primeros componentes principales, cuatro de ellas forman por lo menos dos grupos de colectas estadísticamente diferentes: isothermalidad (BIO3), temperatura estacional (BIO4), precipitación del cuatrimestre más seco (BIO17) y latitud (LN), en donde en la variable BIO3 los subgrupos I A y III B son estadísticamente similares, y los subgrupos II A, I B y II B conforman otro grupo estadísticamente similar.

En cuanto a la variable BIO17, el valor registrado en el subgrupo I A es estadísticamente diferente al resto de los valores promedio registrados en el resto de los subgrupos. Por otra parte, los valores promedio de las variables LN y BIO4

registrados en el subgrupo III B forma un grupo estadísticamente diferente al resto de los valores promedio del resto de los subgrupos.

Valores promedio de variables como BIO5 (temperatura máxima del mes más cálido), BIO7 (intervalo de temperatura anual), TIA (temperatura mínima anual) y AL (altitud), forman por lo menos tres grupos estadísticamente diferentes entre los valores de cada conglomerado.

Respecto a los valores promedio reportados en los cinco conglomerados, variables como temperatura mínima del mes más frío (BIO6), temperatura media del cuatrimestre más húmedo (BIO8), precipitación del cuatrimestre más frío (BIO19) y longitud (LO), presentan cuatro grupos diferentes estadísticamente significativos. Por otra parte, los valores promedio de la temperatura media anual en cada conglomerado son todos estadísticamente diferentes.

La diferencia en los dos principales grupos formados, Grupo A y Grupo B, radica en que los ambientes de las colectas del Grupo A presentan temperatura media y mínima mayores, menor oscilación de temperatura anual, mayor precipitación, y a altitudes muy bajas, comparadas con el Grupo B.

En cuanto al rango de temperatura anual, el Grupo B presenta valores por arriba de los 19.1 °C. La precipitación del cuatrimestre más seco en el Grupo A es mayor a la del Grupo B, donde este último registra como máximo 24.5 mm. De igual manera el Grupo B presenta menor cantidad promedio de mm de lluvia acumulada en cuando a la precipitación del cuatrimestre más frío. Altitudinalmente, las colectas del conglomerado A son las que se presentan por debajo de los 212 m.

De manera general puede mencionarse que los ambientes (o localidades) de las colectas que conforman el Grupo A se encuentran en ambientes más cálidos, con mayores valores de precipitación y menor altitud.

De acuerdo con los valores reportados en el Cuadro 10 la caracterización específica de cada subgrupo es la siguiente:

**Subgrupo I A.** Este conglomerado está integrado por 10 colectas: ocho del estado de Veracruz, una del estado de Hidalgo y una del estado de Puebla. Estas colectas se caracterizan por proceder de regiones con temperatura media anual de 25.3 °C, isothermalidad de 53.0, temperatura estacional 320.2, temperatura máxima del mes más cálido de 32.5 °C, temperatura mínima del mes más frío de 13.4 °C, intervalo de temperatura anual 19.1 °C, temperatura media del cuatrimestre más húmedo 26.0 °C, precipitación del cuatrimestre más seco de 127.9 mm, precipitación del cuatrimestre más frío de 147.8 mm; y todas son colectas establecidas a una altitud promedio de 212 m, que geográficamente se localizan a -97.582 ° LO y 20.734 ° LN, con una temperatura mínima anual de 18.4 °C y temperatura máxima anual de 28.6 °C.

**Subgrupo II A.** El conglomerado se encuentra compuesto por tres colectas, dos del estado de Nayarit y una del estado de Oaxaca. Este conjunto de poblaciones tienen su origen en zonas con una temperatura media anual de 24.6 °C, temperatura mínima anual de 18.4 °C y temperatura máxima anual de 30.5 °C. En cuanto a las variables bioclimáticas, éstas presentan un valor promedio de 63.3 en isothermalidad, 228.2 en temperatura estacional, 33.4 °C en temperatura máxima del mes más cálido. 14.8 °C en temperatura mínima del mes más frío, 18.6 °C en intervalo de temperatura anual, 26.6 °C en temperatura media del cuatrimestre más húmedo, 50.3 mm de precipitación del cuatrimestre más seco, y 83.6 mm de precipitación en el cuatrimestre más frío. Espacialmente, se ubican a una altitud promedio de 177 m, 101.84 ° LO y 20.262 ° LN.

**Subgrupo I B.** Este se encuentra compuesto por cinco colectas del estado de Querétaro (QRO07, QRO10, QRO01, QRO03 y QRO03), dos de Michoacán (MICH01 y MICH02) y cinco de Oaxaca (OAX10, OAX07, OAX05, OAX03 y OAX08). En cuanto a las condiciones ambientales donde se desarrollan estas

colectas, se presenta una temperatura media anual de 21.8 °C, temperatura mínima anual de 12.9 °C y temperatura máxima anual de 29.3 °C. En cuanto a las variables bioclimáticas presenta un grado de isothermalidad de 65.4, temperatura estacional de 233.4, temperatura máxima del mes más cálido de 33.0 °C, temperatura mínima del mes más frío de 8.2 °C, intervalo de temperatura anual de 24.7 °C, temperatura media del cuatrimestre más húmedo de 27.7 °C, precipitación del cuatrimestre más seco de 21 mm y precipitación del cuatrimestre más frío de 28 mm. Especialmente. La especie se establece a una altitud promedio de 1,403 m, -98.95 ° LO y 19.125° LN.

**Subgrupo II B.** Este subgrupo está integrado por las siguientes colectas: AGS01, AGS03, QRO01, QRO08, QRO02 y QRO04. Especialmente este grupo de colectas es el que se establecen a una altitud promedio de 2,030 m, 101.476 °LO y 21.873 °LN. Las regiones de procedencia de estas colectas presentan una temperatura media anual de 17.1°C, isothermalidad de 64.5, temperatura estacional de 277.4, temperatura máxima del mes más cálido de 29.6 °C, temperatura media del mes más frío de 4.0 °C, intervalo de temperatura anual de 25.6 °C, temperatura media del cuatrimestre más húmedo de 19.4 °C, precipitación del cuatrimestre más seco de 24.5 mm, y precipitación del cuatrimestre más frío de 36.6 mm.

**Subgrupo III B.** Este subgrupo está compuesto por las colectas características de la zona norte del país y del sur de Estados Unidos: SON06, SIN01 y TUC01. En promedio esta zona se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 21.8 °C, isothermalidad de 49.6, temperatura estacional de 614.1, temperatura máxima del mes más cálido de 37.8 °C, temperatura media del mes más frío de 5.5 °C, intervalo de temperatura anual de 32.3 °C, temperatura media del cuatrimestre más húmedo de 29.1°C, precipitación del cuatrimestre más seco de 20 mm, y precipitación del cuatrimestre más frío de 74.6 mm. Especialmente, estas colectas se establecen en un rango altitudinal promedio de 624 m, 110.532 °LO y 30.304 ° LN.

### 4.3 Caracterización fisiológica

#### Análisis de componentes principales

Como se observa en el Cuadro 11, el análisis de componentes principales reveló que 94.3 % de la variación total es explicada por los tres primeros componentes principales. La elección de las variables que conforman cada componente principal (CP) se eligió a partir de un valor  $> 0.50$  en los vectores propios.

El componente principal uno (CP1) aporta individualmente 39.8 % de la variación total y está integrado por las variables  $g_s$  (conductancia de  $CO_2$ ) y  $E$  (tasa de transpiración). El componente principal dos (CP2) está compuesto por las variables temperatura de la hoja ( $T_h$ ) y déficit de presión de vapor basado en la temperatura de la hoja (DPV) y aporta individualmente 36.5 % de la variación. Finalmente, el componente principal tres (CP3) contribuye individualmente con 18.0 % de la variación total y está integrado por las variables tasa de fotosíntesis ( $A$ ) y concentración interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ).

Cabe mencionar que en la actualidad no existe algún trabajo relacionado con la caracterización fisiológica de Chile Piquín. Al respecto, solamente está el trabajo realizado por Jiménez (2013) quien estudió factores ambientales, fenología e intercambio de gases en esta especie colectada en el poblado de Mazocahui, Baviácora, Sonora.

Jiménez (2013) encontró que las tasas fotosintéticas instantáneas más altas se observan a temperaturas por arriba de  $40^\circ C$  en el verano y a  $30^\circ C$  en el otoño. Este autor registró tasas de fotosíntesis neta de 3 a  $20 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$  en todo el ciclo de su experimento. Además, contribuyó a saber que en días soleados las plantas incrementan el uso eficiente del agua y radiación, al disminuir la conductancia estomática. Cuando se presentan días nublados ocurre lo

contrario, las plantas disminuyen el uso eficiente del agua, y la menor radiación incrementa la conductancia estomática.

**Cuadro 11.** Variación explicada por los tres componentes principales derivados de seis variables fisiológicas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

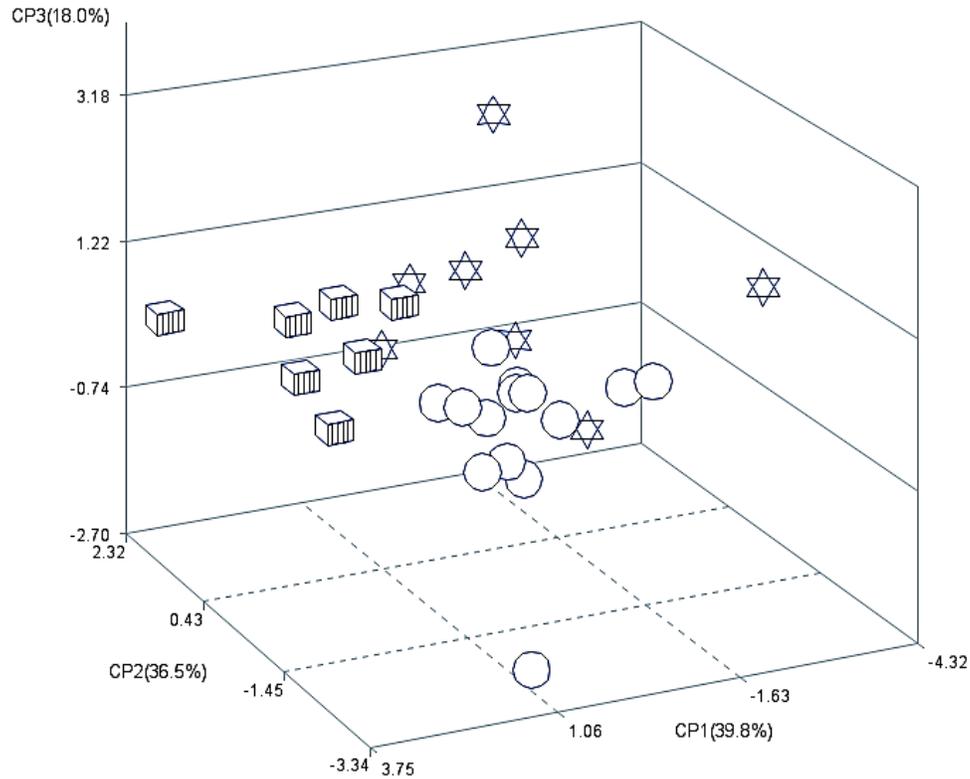
	Eje de los Componentes Principales		
	1	2	3
<b>Autovalor</b>	2.38	2.19	1.08
<b>Proporción de la variación explicada (%)</b>	39.8	36.5	18.0
<b>Proporción de la variación acumulada (%)</b>	39.8	76.3	94.3
	Matriz de correlación		
<b>gs</b>	<b>0.62</b>	0.02	-0.10
<b>E</b>	<b>0.52</b>	0.37	0.06
<b>A</b>	0.13	0.34	<b>-0.74</b>
<b>Ci</b>	0.45	-0.18	<b>0.51</b>
<b>Th</b>	0.01	<b>0.64</b>	0.26
<b>DPV</b>	-0.33	<b>0.53</b>	0.29

gs = conductancia de CO<sub>2</sub>; E = tasa de transpiración; A = tasa de fotosíntesis; Ci = concentración interna de CO<sub>2</sub>; Th = temperatura de la hoja; DPV = Déficit de presión de vapor basado en la temperatura de la hoja. Las variables con mayor influencia sobre cada componente principal en columnas son resaltadas en negritas

### Análisis de Conglomerados

El análisis de conglomerados se realizó con distancias de Gower y mediante el método de agrupamiento de Ward. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de pseudo F y T<sup>2</sup>, el número de conglomerados estadísticamente significativos que deben considerarse en el dendrograma son tres (Figura 7). En este caso, debido a que se conoce muy poco acerca de la fisiología de la especie, se decidió utilizar solamente el criterio estadístico para la delimitación de los grupos.

La Figura 6 muestra la distribución espacial de los tres primeros componentes principales. En ésta puede observarse que el Grupo C es el que más se aleja del resto de las poblaciones.



**Figura 6.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables fisiológicas. Estrella = Grupo A; cubo = Grupo B; círculo = Grupo C.

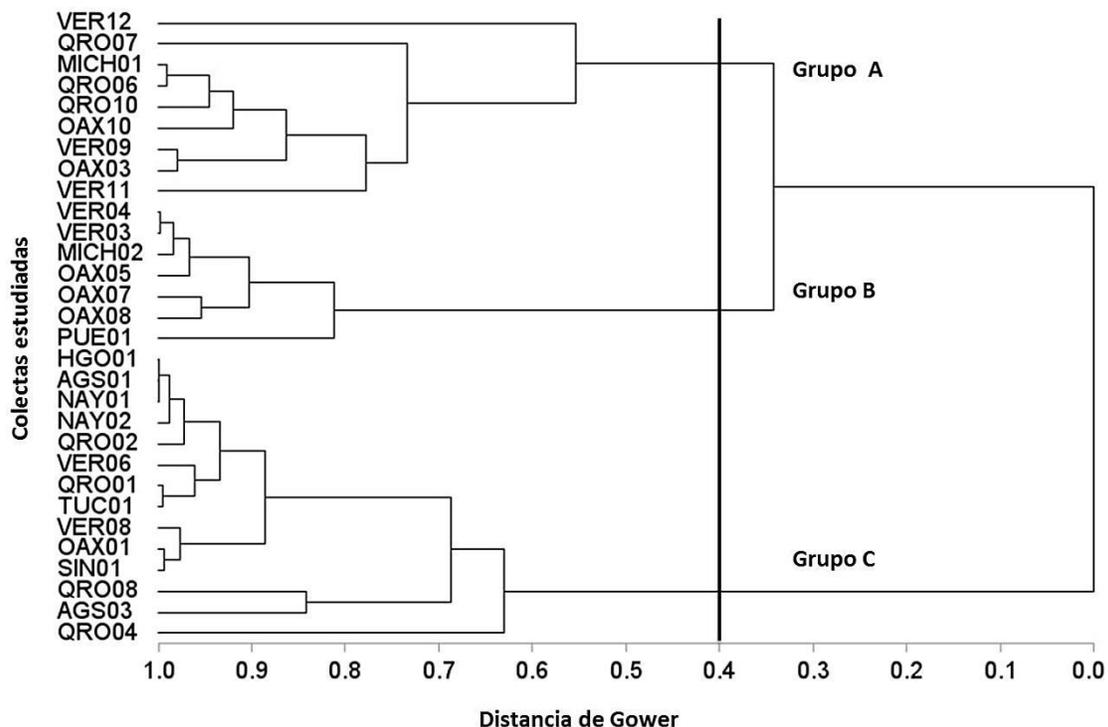
**Cuadro 12.** Promedios y pruebas de medias con el método de Tukey de las variables fisiológicas que conforman los tres primeros componentes principales para los tres subgrupos formados de las poblaciones de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

Grupo	gs	E	A	Ci	Th	DPV
A	0.26 c	10.40 b	10.05 a	296.12 b	34.9 a	3.30 a
B	0.50 a	15.12 a	10.86 a	340.75 a	34.6 a	2.69 b
C	0.37 b	9.90 b	9.29 a	329.16 ab	30.6 b	2.31 c

gs = conductancia de CO<sub>2</sub>; E = tasa de transpiración; A = tasa de fotosíntesis; Ci = concentración interna de CO<sub>2</sub>; Th = temperatura de la hoja; VPD = Déficit de presión de vapor basado en la temperatura de la hoja. Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente.

El Cuadro 12 muestra las medias aritméticas así como el resultado de la prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey para las variables que integran los tres primeros componentes principales. En este, se observa que de las seis variables estudiadas, la tasa de fotosíntesis es la única variable en la que las medias resultan estadísticamente iguales, con un valor de 9.29 a 10.86  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Algunos estudios han demostrado que las tasas fotosintéticas promedio para chiles (*Capsicum annuum* L.) de la variedad Buketen 50 oscilan entre  $15.7 \pm 0.11$ , y variedad Gorogled 6 oscilan entre  $22.7 \pm 0.39 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Malgorzata y Georgios, 2009).

La tasa de transpiración y la temperatura de la hoja forman solamente dos grupos estadísticos, en donde los conglomerados A y C son iguales en la tasa de transpiración, y los conglomerados A y B son estadísticamente iguales en la temperatura de la hoja.



**Figura 7.** Grupos formados por colectas de chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables fisiológicas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward.

En cuanto a la temperatura de la hoja puede observarse que el valor promedio del Grupo C es inferior en 4 °C a los valores promedio de los Grupos A y B. A pesar de la relación ya bien conocida entre temperatura y fotosíntesis, cabe mencionar que en esta investigación esta variable no tuvo efecto significativo en las tasas fotosintéticas registradas. Al respecto, es de mencionar que como esta variable no fue controlada durante las mediciones, tal diferencia en temperatura foliar se atribuye más a diferencias en temperatura del aire por las variaciones internas en el invernadero que a diferencias entre colectas. Además, en la presente lo que se está evaluando es la contribución que la temperatura foliar tiene sobre la caracterización de las poblaciones de Chile Piquín aquí estudiadas.

Respecto a las medias de las demás variables de cada conglomerado, cada grupo es estadísticamente diferente en la conductancia de CO<sub>2</sub>, concentración interna de CO<sub>2</sub> y el DPV, por lo cual pueden considerarse a estas variables como las que delimitan la caracterización de cada grupo. De acuerdo con los valores del Cuadro 12, la caracterización de los tres grupos formados por el análisis cluster es el siguiente:

**Grupo A.** Este grupo está formado por nueve colectas: VER12, QRO07, MICH01, QRO06, QRO10, OAX10, VER09, OAX03 y VER11. Las colectas que conforman este grupo se caracterizan por presentar una conductancia de CO<sub>2</sub> de 0.26 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, tasa de transpiración de 10.40 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, tasa fotosintética de 10.05 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, concentración interna de CO<sub>2</sub> de 296.12 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>, temperatura de la hoja de 34.9 °C y DPV de 3.30 kPa.

**Grupo B.** Este grupo se encuentra compuesto por dos colectas de Veracruz (VER04 y VER03), una colecta de Michoacán (MICH02), tres colectas de Oaxaca (OAX05, OAX07 y OAX08) y una colecta de Puebla (PUE01). Este grupo se caracteriza por presentar un valor promedio de conductancia de H<sub>2</sub>O de 0.50 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, tasa de transpiración de 15.12 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, tasa fotosintética de 10.86 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, concentración interna de CO<sub>2</sub> de 340.75 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>, temperatura de la hoja de 34.6 °C y DPV de 2.69 kPa.

**Grupo C.** Este grupo está compuesto por 14 colectas: HGO01, AGS01, NAY01, NAY02, QRO02, VER06, QRO01, TUC01, VER08, OAX01, SIN01, QRO08, AGS03 y QRO04. Presenta los siguientes valores promedio: conductancia de H<sub>2</sub>O de 0.37 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, tasa de transpiración de 9.90 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, tasa fotosintética de 9.29 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, concentración interna de CO<sub>2</sub> de 329.16 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>, temperatura de la hoja de 30.6 °C y DPV de 2.31 kPa.

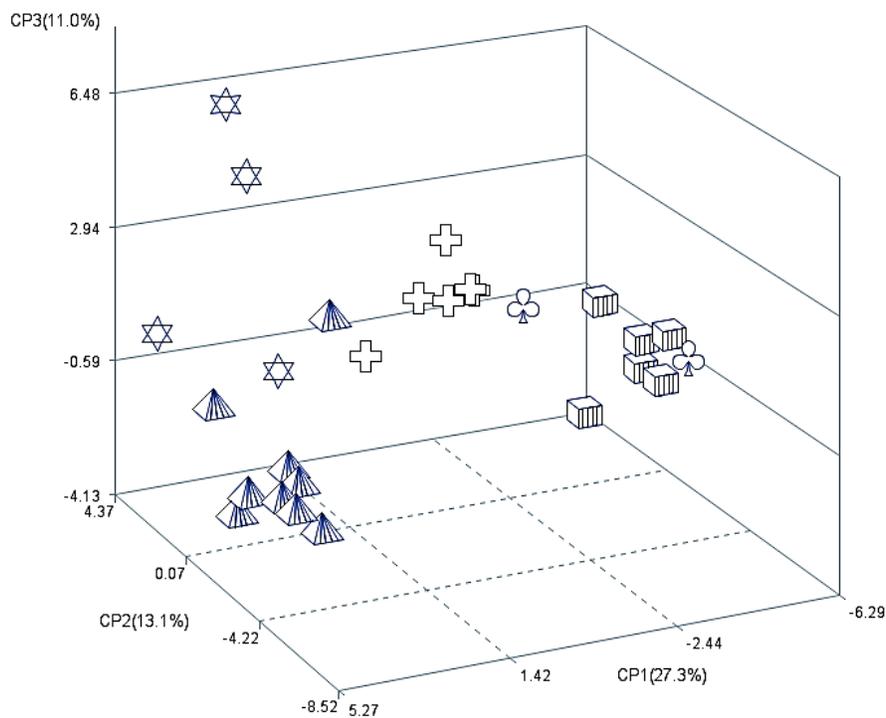
#### 4.4 Caracterización integral (morfológica, fisiológica y climática)

##### Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales se hizo con 53 variables (23 variables morfológicas, 24 climáticas y seis fisiológicas). Este análisis reveló que los tres primeros componentes principales explican 51.4 % de la variación total entre las colectas. Con los primeros seis componentes principales se explica 72.0 % de la variación total entre las poblaciones.

La elección de las variables con mayor peso sobre cada componente principal se realizó considerando vectores propios con valor absoluto superiores a  $\pm 0.25$ . Con base en este criterio las variables que integran el componente principal uno (CP1) son temperatura media anual (BIO1), temperatura mínima del mes más frío (BIO6), temperatura mínima anual (TIA) y altitud (AL). Este primer componente principal contribuye con 27.3 % de la variación total entre las colectas. El componente principal dos (CP2) de manera individual aporta 13 % de la variación total de las colectas, y está integrado por las variables latitud (LN), isothermalidad (BIO3), temperatura estacional (BIO4). El componente principal tres (CP3) aporta individualmente 11 % de la variación total y está compuesto por las variables pubescencia del tallo (PT), longitud (LO), precipitación del mes más seco (BIO14), precipitación estacional (BIO15) y precipitación del cuatrimestre más seco (BIO17). El CP4, CP5 y CP6 aportan 8.2, 7.0 y 5.3 % de la variación total

entre las poblaciones, respectivamente. El CP4 está integrado por cuatro variables: densidad y color de las hojas (DH, CH), tasa de transpiración (E) y concentración interna de CO<sub>2</sub> (Ci). El CP5 está compuesto también por cinco variables: pubescencia de la hoja (PH), floración a los 100 días (F100D), forma del fruto (FF), conductancia de CO<sub>2</sub> (gs) y déficit de presión de vapor basado en la temperatura de la hoja (DPV). Y el CP6 está compuesto por las variables diámetro y color del tallo (DT y CT), forma y color de la corola (FC y CC), tasa de fotosíntesis (A) y temperatura de la hoja (Th).



**Figura 8.** Gráfico de dispersión de las colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) en función a los tres primeros componentes principales derivado de variables morfológicas, fisiológicas y climáticas. Cubo = subgrupo I A; cruz = subgrupo II A; haz = subgrupo III A; pirámide = subgrupo I B; estrella = conglomerado II B.

La Figura 8 muestra de manera gráfica la distribución espacial de las poblaciones estudiadas, de acuerdo con los tres primeros componentes principales.

**Cuadro 13.** Variación explicada por los seis componentes principales derivados de las variables morfológicas, fisiológicas y climáticas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

	Eje de los Componentes Principales					
	1	2	3	4	5	6
Autovalor	14.5	6.9	5.8	4.3	3.7	2.8
Proporción de la variación explicada (%)	27.3	13.1	11.0	8.2	7.0	5.3
Proporción de la variación acumulada (%)	27.3	40.4	51.4	59.7	66.7	72.0
	Vectores propios					
ALT	-0.04	0.23	-0.08	0.17	-0.10	0.10
DT	0.06	0.13	-0.05	0.19	-0.07	<b>0.27</b>
ALTB	0.09	0.08	-0.09	0.21	-0.08	0.06
CT	0.03	0.01	-0.14	-0.02	0.02	<b>0.29</b>
FT	0.16	0.01	0.01	0.16	-0.14	0.20
PT	-0.04	0.08	<b>-0.27</b>	-0.05	0.11	-0.02
HAC	0.07	0.21	0.06	0.02	-0.08	-0.03
DR	-0.01	-0.17	-0.21	0.20	0.05	0.15
DH	0.05	-0.08	-0.18	<b>0.29</b>	0.02	0.01
CH	0.10	0.06	-0.05	<b>0.34</b>	-0.03	-0.14
FH	0.08	-0.02	0.04	0.21	-0.22	0.20
PH	-0.05	0.16	-0.06	-0.07	<b>0.27</b>	-0.12
FA	-0.08	-0.03	0.05	0.11	-0.09	0.14
CC	0.05	0.07	0.22	-0.10	0.07	<b>0.26</b>
FC	0.05	0.07	0.22	-0.10	0.07	<b>0.26</b>
F100D	0.08	-0.02	0.02	-0.07	<b>-0.28</b>	0.11
NR	0.07	-0.07	-0.23	0.26	0.08	0.09
NB	0.09	0.01	-0.16	0.11	0.04	0.08
LF	0.15	0.14	0.06	-0.06	0.06	-0.12
AF	-0.03	0.03	0.19	0.09	0.11	0.09
CF	0.06	-0.07	-0.08	0.02	0.01	-0.17
FF	-0.12	0.02	0.13	0.05	<b>-0.26</b>	-0.09
EF	0.01	0.10	-0.03	0.01	0.21	-0.15
LO	0.08	0.21	<b>-0.25</b>	-0.06	-0.14	-0.14
LN	-0.03	<b>-0.33</b>	0.10	0.01	0.14	0.11
BIO1	<b>0.25</b>	-0.04	0.08	0.01	-0.04	-0.05
BIO2	-0.23	0.06	0.09	0.12	0.04	0.00
BIO3	-0.15	<b>0.28</b>	0.08	0.00	-0.02	0.04
BIO4	0.02	<b>-0.36</b>	0.04	0.04	0.12	0.01
BIO5	0.11	-0.21	0.20	0.16	0.05	-0.13
BIO6	<b>0.25</b>	0.04	0.00	-0.08	-0.06	-0.03

BIO7	-0.19	-0.14	0.09	0.15	0.09	-0.03
BIO8	0.20	-0.20	0.12	0.01	0.04	-0.05
BIO9	0.20	-0.10	0.20	0.04	0.06	-0.04
BIO10	0.21	-0.20	0.10	0.03	0.03	-0.06
BIO11	0.22	0.13	0.08	-0.02	-0.09	-0.06
BIO12	0.20	0.16	-0.04	-0.05	0.15	0.06
BIO13	0.20	0.18	0.07	-0.05	0.12	0.08
BIO14	0.17	-0.03	<b>-0.26</b>	-0.09	0.04	0.07
BIO15	-0.04	0.17	<b>0.31</b>	0.11	0.02	0.09
BIO16	0.17	0.20	0.10	-0.04	0.15	0.10
BIO17	0.18	-0.03	<b>-0.25</b>	-0.10	0.04	0.07
BIO18	0.18	0.14	0.07	-0.06	0.12	0.21
BIO19	0.20	-0.10	-0.20	-0.09	0.07	0.05
TIA	<b>0.25</b>	-0.05	0.02	-0.04	-0.04	-0.03
TXA	0.18	-0.01	0.23	0.13	-0.03	-0.08
AL	<b>-0.25</b>	0.10	-0.02	0.05	-0.02	0.00
gs	0.02	0.10	0.01	0.22	<b>0.35</b>	-0.12
E	0.07	0.13	0.03	<b>0.29</b>	0.17	-0.22
A	0.02	0.09	0.01	-0.11	0.15	<b>-0.32</b>
Ci	-0.05	0.08	0.02	<b>0.31</b>	0.22	0.13
Th	0.10	0.10	0.02	0.22	-0.20	<b>-0.26</b>
VPD	0.07	0.03	0.01	0.06	<b>-0.40</b>	-0.17

ALT = altura de la planta; DT = diámetro del tallo; ALTB = altura de la planta hasta la primer bifurcación; CT = color del tallo; FT = forma del tallo; PT = pubescencia del tallo; HAC = hábito de crecimiento; DR = densidad de ramificación; DH = densidad de hojas; CH = color de la hoja; FH = forma de la hoja; PH = pubescencia de la hoja; FA = número de flores por axila; CC = color de la corola; FC = forma de la corola; F100D = floración a los 100 días; NR = número de ramas; NB = número de bifurcaciones; LF = largo del fruto; AF = ancho del fruto; CF = color del fruto; FF = forma del fruto; EF = epidermis del fruto; BIO1 = temperatura media anual; BIO2 = rango de temperatura diurna; BIO3 = isothermalidad; BIO4 = temperatura estacional; BIO5 = temperatura máxima del mes más cálido; BIO6 = temperatura mínima del mes más frío; BIO7 = rango de temperatura anual; BIO8 = temperatura media del cuatrimestre más húmedo; BIO9 = temperatura media del cuatrimestre más seco; BIO10 = temperatura media del cuatrimestre más cálido; BIO11 = temperatura media del cuatrimestre más frío; BIO12 = precipitación anual; BIO13 = precipitación del mes más húmedo; BIO14 = precipitación del mes más seco; BIO15 = precipitación estacional; BIO16 = precipitación del cuatrimestre más húmedo; BIO17 = precipitación del cuatrimestre más seco; BIO18 = precipitación del cuatrimestre más cálido; BIO19 = precipitación del cuatrimestre más frío; AL = altitud; LO = longitud oeste; LN = latitud norte; TIA = temperatura mínima anual; TXA = temperatura máxima anual; gs = conductancia de CO<sub>2</sub>; E = tasa de transpiración; A = tasa de fotosíntesis; Ci = concentración interna de CO<sub>2</sub>; Th = temperatura de la hoja; VPD = déficit de vapor basado en la temperatura de la hoja. Las variables con mayor influencia sobre cada componente principal en columnas son resaltadas en negritas.

Como puede observarse en el Cuadro 13, de las 53 variables empleadas para el análisis de componentes principales 27 resultaron significativas y forman parte de los seis primeros componentes principales que explican en conjunto 72 % de la variación total. De las 12 variables que conforman los tres primeros componentes principales, una corresponde a descriptores morfológicos y el resto a descriptores climáticos. La mayor parte de las variables morfológicas (9) y seis variables fisiológicas conforman el resto de los componentes principales (CP4, CP5 y CP6) que explican en conjunto 72 % de la variación total entre las poblaciones.

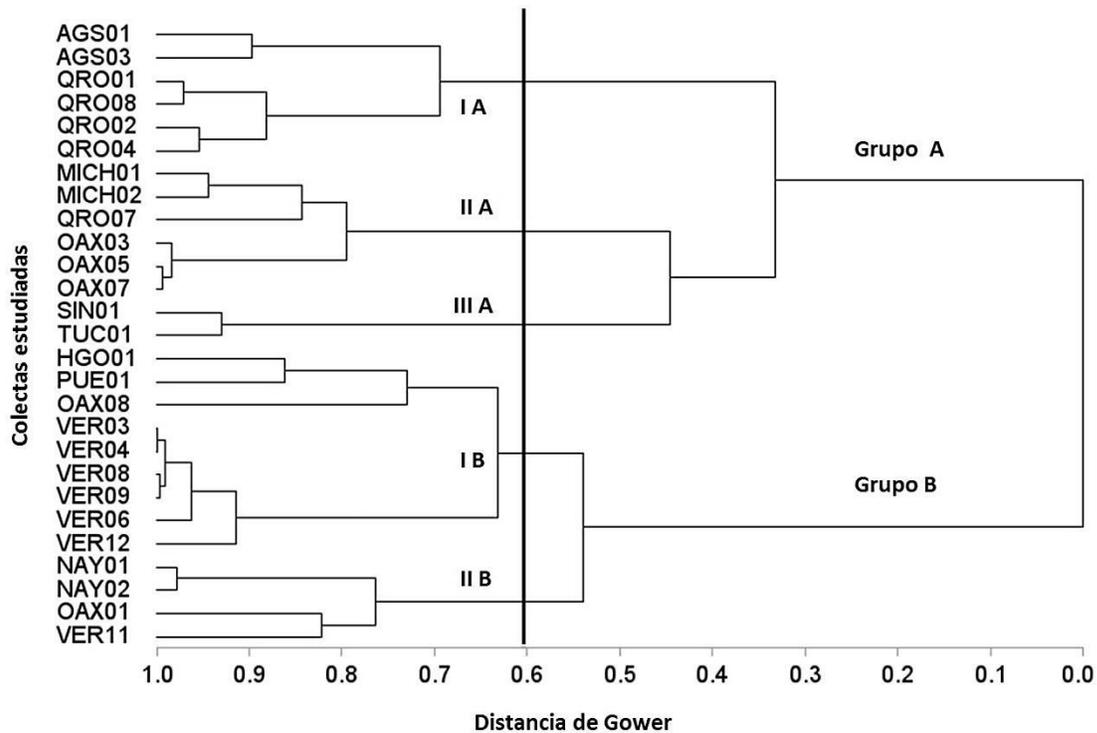
A diferencia de lo reportado en la literatura y los análisis de componentes principales realizados de manera individual en esta investigación para la parte morfológica, climática y fisiológica, puede observarse que al integrar todas las variables los descriptores climáticos son los que predominan en la integración de los tres primeros componentes principales que explican la mayor proporción de variación.

#### Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados para la caracterización de la diversidad morfológica, fisiológica y climática, se realizó calculando las distancias de Gower y mediante el método de agrupamiento de Ward.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de pseudo F y pseudo  $T^2$ , el número de grupos estadísticamente significativos que deben considerarse en el dendrograma son dos (Figura 9). Sin embargo, al hacer un corte a una distancia de Gower de 0.6 se identifican tres subgrupos en el Grupo A y dos subgrupos en el Grupo B. Estas agrupaciones pueden observarse en la Figura 9. En esta Figura también puede observarse que los subgrupos formados siguen cierto patrón de agrupamiento: el subgrupo I A está integrado por colectas de Aguascalientes y Querétaro, el subgrupo II B está integrado por colectas de

Michoacán, Querétaro y Oaxaca, el subgrupo III A está integrado por las colectas representativas del norte del país (SIN01 y TUC01), el subgrupo I B está integrado por colectas procedentes del estado de Hidalgo, Puebla, Oaxaca y Veracruz, y finalmente el subgrupo II B está integrado por colectas de Nayarit, Oaxaca y Veracruz.



**Figura 9.** Grupos formados de colectas de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) basados en variables morfológicas, fisiológicas y climáticas mediante distancias de Gower y el método de agrupamiento de Ward.

El Cuadro 14 muestra los valores promedios así como la prueba de comparación de medias mediante la prueba de Tukey, de las variables cuantitativas y las modas de las variables cualitativas que conforman los tres primeros componentes principales.

En este (Cuadro 14) puede observarse que de las 11 variables, solamente una corresponde a un descriptor morfológico y el resto son variables climáticas.

Estadísticamente solo la precipitación estacional (BIO15) es igual en todos los subgrupos. La temperatura media anual (BIO1) es estadísticamente diferente en los subgrupos que conforman el Grupo A y los subgrupos que conforman el Grupo B, así mismo la temperatura mínima anual (TIA) presenta el mismo comportamiento estadístico.

Por otra parte la BIO4 (temperatura estacional) y LN (latitud) presentan dos grupos estadísticamente diferentes, el subgrupo III A en ambas variables es el único diferente al resto de los subgrupos donde estas variables son estadísticamente iguales.

**Cuadro 14.** Promedios, pruebas de medias con el método de Tukey y modas de las variables que conforman los tres primeros componentes principales del análisis integral de las poblaciones de Chile Piquín (*C. annuum* var. *glabriusculum*).

Subgrupo	BIO1	BIO6	AL	TIA	BIO17	BIO3
I A	17.5 c	4.3 c	1987 a	9.0 d	25.1 b	66.1 a
II A	21.2 b	8.5 b	1432 a	13.3 c	19.3 b	64.5 a
III A	22.0 b	6.1 bc	604 b	14.4 bc	16.5 b	49.0 a
I B	23.3 ab	13.1 a	307 b	18.0 ab	113.1 a	54.8 ab
II B	24.5 a	14.8 a	135 b	19.0 a	63.5 ab	60.2 ab
Subgrupo	BIO4	PT*	BIO14	BIO15	LN	LO
I A	260.9 b	5	5.5 b	81.8 a	21.353 b	-100.689 a
II A	228.1 b	3	4.8 b	98.1 a	18.734 b	-98.979 a
III A	615.8 a	3	4.0 b	85.0 a	30.452 a	-110.691 b
I B	299.0 b	5	33.3 a	68.8 a	20.245 b	-97.537 a
II B	253.2 b	3	16.2 ab	102.7 a	20.372 b	-100.712 a

\*Moda de variable cualitativa; BIO1 = temperatura media anual; BIO3 = isothermalidad; BIO4 = temperatura estacional; BIO6 = temperatura mínima del mes más frío; BIO14 = precipitación del mes más seco; BIO15 = precipitación estacional; BIO17 = precipitación del cuatrimestre más seco; AL = altitud; LN = latitud norte; LO = longitud oeste; TIA = temperatura mínima anual; PT = pubescencia del tallo (3 = escasa, 5 = intermedia). Medias con las mismas letras en columnas son iguales estadísticamente.

La BIO17 y BIO14 forman tres grupos estadísticamente diferentes siendo el mismo para los subgrupos I A, II A y III A y diferentes en los subgrupos que conforman el Grupo B. En cuanto a la altitud (AL), el subgrupo I A y II A son

estadísticamente iguales entre sí y diferentes ante el resto de los subgrupos formados. Por otra parte los subgrupos del Grupo B (I B y II B) son estadísticamente iguales entre sí y diferentes al resto de los subgrupos los cuales corresponden al Grupo A (I A, II A y III A).

De manera general la gran diferencia entre ambos grupos (A y B) radica en que las colectas que conforman el Grupo A presentan temperatura media anual (BIO1) no mayor a 22.0 °C, temperatura mínima del mes más frío (BIO6) menor a 6.1 °C, altitud (AL) de 604 a 1,987 m, temperatura mínima anual (TIA) menor a 14.4 °C, precipitación del mes más seco (BIO14) menor a 5.5 mm y precipitación del cuatrimestre más seco (BIO17) no mayor a 25.1 mm.

Por lo tanto puede establecerse que las colectas que representan el Grupo A predominan en sitios de mayor altitud, con temperaturas bajas y poca precipitación.

De acuerdo con estas variables, la descripción de cada subgrupo con base en las características que conforman los tres primeros componentes principales es la siguiente:

**Subgrupo I A.** Éste se encuentra integrado por colectas procedentes del estado de Aguascalientes (AGS01 y AGS03) y Querétaro (QRO01, QRO02, QRO04 y QRO08). Los sitios donde se encuentran estas colectas se caracterizan por presentar temperatura media anual de 17.5 °C, temperatura estacional de 260.9, isothermalidad de 66.1, temperatura mínima del mes más frío de 4.3 °C, precipitación del mes más seco de 5.5 mm, precipitación estacional de 81.8 y precipitación del cuatrimestre más seco de 25.1 mm. Altitudinalmente estas colectas se establecen en zonas promedio con 1,987 m, a 21.353 ° LN. Por otra parte, los tallos de estas plantas se caracterizan por presentar pubescencia intermedia.

**Subgrupo II A.** Este subgrupo se encuentra conformado por seis poblaciones, las dos colectas de Michoacán empleadas en la investigación (MICH01 y MICH02), una colecta de Querétaro (QRO07), y tres colectas de las cinco empleadas procedentes del estado de Oaxaca (OAX03, OAX05 y OAX07). Los sitios de donde proceden este grupo de colectas se caracterizan por presentar una altitud promedio de 1,432 m, temperatura media anual de 21.2 °C, temperatura mínima del mes más frío de 8.5 °C, temperatura mínima anual de 13.3 °C, isothermalidad de 64.5 y temperatura estacional de 228.1. Respecto a la distribución de la precipitación, estas zonas se caracterizan por presentar 4.8 mm de precipitación en el mes más seco, 98.1 de precipitación estacional y 19.3 mm de precipitación durante el cuatrimestre más seco del año. Latitudinalmente estas colectas se ubican a 18.734 ° LN. Las plantas de este subgrupo a diferencia del anterior, se caracterizan por presentar escasa pubescencia del tallo.

**Subgrupo III A.** Este subgrupo está representado por las colectas que representan la parte norte del país: SIN01 y TUC01. En cuanto a los requerimientos térmicos de estas colectas presentan una temperatura media anual de 22.0°C, temperatura mínima anual de 14.4 °C, temperatura mínima del mes más frío de 6.1 °C, isothermalidad de 49.0 y temperatura estacional de 615.8. Los requerimientos hídricos de estas colectas son los siguientes: precipitación del cuatrimestre más seco de 16.5 mm, precipitación del mes más seco de 4.0 mm y precipitación estacional de 85.0. Geográficamente se establecen a altitud promedio de 604 m y 30.452 ° LN. Morfológicamente estas plantas se caracterizan por presentar tallos con escasa pubescencia.

**Subgrupo I B.** Este subgrupo está compuesto por las siguientes colectas: HGO01, PUE01, OAX08, VER03, VER04, VER06, VER08, VER09 y VER12. Los sitios de origen de estas colectas se caracterizan por presentar temperatura media anual de 23.3 °C, temperatura mínima anual de 18.0 °C, temperatura mínima del mes más frío de 13.1 °C, isothermalidad de 54.8 y temperatura estacional de 299.0. Altitudinalmente estas colectas se establecen en zonas de 307 m a 20.245 ° LN.

En cuanto a la precipitación estas colectas presentan 33.3 mm de precipitación en el mes más seco, precipitación estacional de 68.8 y precipitación del cuatrimestre más seco de 113.1 mm. Por otra parte, las plantas procedentes de estas colectas tienden a presentar tallos con pubescencia intermedia.

**Subgrupo II B.** Este subgrupo se encuentra conformado por dos colectas del estado de Nayarit (NAY01 y NAY02), una colecta de Oaxaca (OAX01) y una colecta de Veracruz (VER11). Estas colectas presentan en promedio una temperatura media anual de 24.5 °C, temperatura mínima anual de 19.0 °C, temperatura mínima del mes más frío de 14.8 °C, isothermalidad de 60.2 y temperatura estacional de 253.2. Los requerimientos hídricos promedio de la especie reportan una precipitación del mes más seco de 16.2 mm, precipitación del cuatrimestre más seco de 63.5 mm y precipitación estacional de 102.7. Morfológicamente estas plantas se caracterizan por presentar tallos con escasa pubescencia. Así mismo, estas colectas se establecen a altitudes bajas (135 m) y se localizan a 20.372 ° LN.

#### Análisis de varianza multivariado

El análisis multivariado de la varianza efectuado entre los grupos derivados del análisis de conglomerados y anteriormente descritos, se hizo con la finalidad de validarlos y ver si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Los resultados de dicha prueba se muestran en el Cuadro 15.

**Cuadro 15.** Resultados del análisis de varianza multivariado de los cinco grupos formados por el análisis clúster con las variables que integran los tres primeros componentes principales.

Estadístico	P > F
Wilks' Lambda	< 0.0001
Pillai's Trace	< 0.0001
Hotelling-Lawley Trace	< 0.0001
Roy's Greatest Root	< 0.0001

Como puede observarse en el Cuadro 15, las cuatro pruebas estadísticas aquí utilizadas evidencian que sí existen diferencias entre los grupos formados, ya que todos los estadísticos evaluados indican que todos los grupos son estadísticamente diferentes.

#### Prueba de Mantel

La prueba de Mantel fue realizada solamente con las colectas que contaban con información morfológica, fisiológica y climática, dando como resultado un total de 27 colectas analizadas: VER12, QRO07, VER04, QRO01, NAY02, OAX05, OAX03, NAY01, VER11, AGS01, QRO08, OAX07, AGS03, HGO01, MICH02, VER09, VER08, VER03, QRO02, QRO04, MICH01, OAX08, SIN01, TUC01, OAX01, VER06 y PUE01. Esta prueba la cual permite la comparación de una relación estadística entre los elementos de dos matrices (Peakall y Smouse, 2006), se hizo en el programa GenAlEx, con la finalidad de conocer el nivel de relación entre las matrices comparadas (Mantel, 1976; Alonso *et al.*, 2012).

Cabe mencionar que en la actualidad, para el género *Capsicum* solamente se han hecho pruebas de Mantel para conocer la relación entre matrices de datos morfológicos vs. datos genéticos (Yong-Sham *et al.*, 2005; Alonso *et al.*, 2012), y de datos genéticos vs. datos geográficos (Pacheco-Olvera *et al.*, 2012).

El Cuadro 16 muestra los resultados de las distintas combinaciones de la prueba de Mantel. A partir de la hipótesis nula de la prueba en la que se establece que  $R^2 = 0$ , puede observarse que solo en 6 de las 10 combinaciones existe relación significativa entre las matrices de datos analizadas. De éstas, la comparación geográfica vs. fisiológica resultó con una correlación negativa, y en las otras cinco es positiva (Integral vs. Morfológica, Fisiológica y Climática; y Climática vs. Geográfica y Morfológica).

De las cinco combinaciones significativamente estadísticas, la comparación de distancias de datos integrales vs. distancias de datos climáticos (C3) presentó el mayor valor de  $R^2$  (0.85), lo que permite inferir que esta combinación presenta la mayor congruencia entre los patrones de variación sobre el resto de las matrices. La segunda comparación con relación positiva y estadísticamente significativa, es entre las distancias de datos integrales vs. distancias de datos morfológicos (C2) con un valor de  $R^2 = 0.66$ . La tercera combinación corresponde a la comparación de distancias de datos geográficos vs. distancias de datos climáticos ( $R^2 = 0.53$ ).

**Cuadro 16.** Resultados de las pruebas de Mantel de las diferentes comparaciones de las matrices de distancias euclidianas de datos morfológicos, fisiológicos y climáticos de Chile Piquín (*C. annum* var. *glabriusculum*).

Clave	Comparación de matrices de distancias euclidianas	Valor de $R^2$	Valor de P (0.05)
<b>C1</b>	Integral vs. Geográfica	<b>0.47</b>	<b>0.01</b>
<b>C2</b>	Integral vs. Morfológica	<b>0.66</b>	<b>0.01</b>
<b>C3</b>	Integral vs. Climática	<b>0.85</b>	<b>0.01</b>
<b>C4</b>	Integral vs. Fisiológica	0.08	0.21
<b>C5</b>	Geográfica vs. Morfológica	0.22	0.08
<b>C6</b>	Geográfica vs. Climática	<b>0.53</b>	<b>0.01</b>
<b>C7</b>	Geográfica vs. Fisiológica	<b>-0.20</b>	<b>0.03</b>
<b>C8</b>	Morfológica vs. Climática	<b>0.29</b>	<b>0.01</b>
<b>C9</b>	Morfológica vs. Fisiológica	-0.12	0.16
<b>C10</b>	Climática vs. Fisiológica	-0.11	0.12

Las variables con significancia estadística de acuerdo al valor de  $p < 0.05$  son resaltadas en negritas.

Esta información es complementaria a los resultados observados en el análisis de componentes principales en donde las variables que explican la mayoría de la variación entre las colectas corresponden a descriptores climáticos (en donde se incluyen los datos geográficos como LONG y LAT) y los descriptores morfológicos.

Cabe enfatizar aquí que los dendrogramas resultantes del análisis de conglomerados de datos climáticos y del conjunto de datos morfológicos, climáticos y fisiológicos, presentan muchas similitudes en cuanto a varios de los conglomerados formados. En cuanto al análisis de las distancias de los datos fisiológicos, éstos solamente resultaron significativos al ser comparados con las distancias de los datos geográficos, donde presentan una relación negativa y estadísticamente significativa.

## 5. CONCLUSIONES

En la caracterización de la diversidad morfológica se detectó diversidad entre las plantas de Chile Piquín procedentes de diferentes estados de la República Mexicana. Al agrupar las colectas mediante el análisis de conglomerados pudo observarse que la gran diferencia para la formación de grupos radicó en la forma del tallo, con dos formas: cilíndrica y angular.

En las demás características morfológicas estudiadas, las variables como pubescencia y diámetro en tallos, color, pubescencia y forma de hojas, densidad de ramificación, número de ramas y bifurcaciones por planta, longitud, forma y tipo de epidermis de fruto, además del color y forma de la corola en las flores, fueron las que tuvieron mayor contribución en la variación total entre las poblaciones.

A diferencia de otros estudios efectuados en Chile, pudo observarse que en Chile Piquín las variables propias de la arquitectura de la planta son las que tienen un papel fundamental en diferenciar a las poblaciones, mientras que las variables de fruto juegan un papel secundario, a pesar de formar parte de los tres primeros componentes principales.

De acuerdo con los resultados observados, la hipótesis planteada al inicio del experimento, en donde se pensaba que las poblaciones de la misma procedencia geográfica presentarían características morfológicas muy similares y por tanto formarían conglomerados estadísticamente significativos, no pudo ser confirmada lo cual puede deberse al origen incierto de las poblaciones adquiridas en mercado, o bien al efecto que estas provienen de un microclima muy particular y las condiciones bajo las cuales se desarrolló el experimento no eran las propicias.

Respecto al análisis de los datos climáticos y la obtención de los descriptores ecológicos, se infiere que la especie tiene gran plasticidad y

diversidad para habitar diferentes ambientes, además de constituir una nueva fuente de información sobre los requerimientos climáticos de la especie.

También se identificó que la diferencia para la formación de grupos radica en variables como la altitud, temperatura media y mínima anual, rango de temperatura anual, precipitación del cuatrimestre más seco, precipitación del cuatrimestre más frío y temperatura mínima del mes más frío, con lo cual puede concluirse que la especie tiene una adaptación amplia a condiciones diversas. Además de las variables mencionadas, la isothermalidad, temperatura estacional, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura media del cuatrimestre más húmedo, longitud, latitud y temperatura máxima anual, son variables importantes para explicar la variación entre las colectas.

Por otra parte, la hipótesis planteada al inicio respecto a una regionalización con los requerimientos climáticos de acuerdo a la su lugar de origen se cumple en la mayoría de los conglomerados formados a partir del dendrograma resultado del análisis clúster, ya que la mayoría de estos siguen un patrón de agrupamiento de acuerdo con la procedencia geográfica de las colectas. Las colectas que aparentemente no siguen este patrón de regionalización, puede deberse a un error en la georreferenciación o bien a que se encuentran en un microclima igual al de otro estado.

El análisis de componentes principales de los datos fisiológicos fue el que explicó la mayor cantidad de variación entre las colectas con el menor número de componentes principales. Dicho resultado puede ser debido al escaso número de variables utilizadas. La formación de grupos de acuerdo a los datos fisiológicos radicó en la significancia estadística de la conductancia de CO<sub>2</sub> y el déficit de presión de vapor.

La hipótesis planteada en torno a que se presentarían diferencias en cuanto a variables fisiológicas de acuerdo al lugar de procedencia de las colectas, no

pudo ser corroborada en su totalidad porque en variables como la tasa de fotosíntesis fue muy similar y estadísticamente no hubo diferencias.

Al integrar todos los datos (morfológicos, fisiológicos y climáticos), el análisis de componentes principales reveló que los datos climáticos tienen mayor peso que los datos morfológicos y fisiológicos. Esta conclusión se ve apoyada por la similitud del dendrograma del análisis clúster de los datos climáticos y del conjunto de datos climáticos, fisiológicos y morfológicos.

Sin embargo, cabe mencionar que las variables morfológicas tienen un papel relevante en la interpretación de la diversidad entre las colectas al conjuntar toda la información, pues las variables climáticas y morfológicas son las que integran los tres primeros componentes principales, además de que los resultados de las pruebas de Mantel muestran los mayores valores con relaciones positivas y estadísticamente significativas al compararse la matriz de datos integral contra la matriz de datos climáticos y morfológicos.

Otra manera de caracterizar a las poblaciones es mediante procedimientos genéticos, los cuales en el caso de Chile Piquín podrán ser de gran ayuda para identificar diversidad entre estas poblaciones. Otra de las perspectivas es realizar caracterizaciones *in situ* de la especie, y así comparar los materiales para evaluar el efecto del ambiente y de procedencia.

## 6. LITERATURA CITADA

- Adetula, A. O. and S. A. Olakojo. 2006. Genetic characterization and evaluation of some pepper accessions *Capsicum frutescens* (L.): The Nigerian “Shombo” Collections. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 1: 273-281.
- Alonso B., R. A., B. Zambrano C., P. Ponce D., R. Quiroga M. y M. de los A. Rosales E. 2010. Análisis de las características morfométricas y del sitio con relación a la variabilidad del timpinchile (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* sin. *aviculare*). Quehacer Científico en Chiapas 1(9): 37-50.
- Alonso B., R. A., B. Zambrano C., R. Quiroga M., M. de los A. Rosales E. y P. Ponce D. 2012. Caracterización morfológica y molecular de la variabilidad genética del timpinchile (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* sin. *aviculare*) en Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas 1(13): 4-18.
- Andrawus Z., D., A. Alanamu A., O. Saheed K. and F. A. Oladele. 2014. Fruit morphology as taxonomic features in five varieties of *Capsicum annuum* L. Solanaceae. Journal of Botany 1: 1-6.
- Arias G., J. J. 2005. Estudio de Mercado para Identificar la Potencialidad de Exportación del Chile Piquín en Escabeche en el Mercado Hispano del Medio Oeste de los Estados Unidos de Norteamérica. Aprocede A. C. Secretaría de Economía. México. 113 p.
- Ballina-Gómez H., L. Latournerie-Moreno, E. Ruiz-Sánchez, A. Pérez-Gutiérrez and G. Rosado-Lugo. 2013. Morphological characterization of *Capsicum annuum* L. accessions from southern Mexico and their response to the *Bemisia tabaco-Begomovirus* complex. Chilean Journal of Agricultural Research 73: 329-338.

Bañuelos N., P. L. Salido y A. García. 2008. Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios Sociales* 16(32): 30.

Borovsky, Y. and I. Paran. 2011. Characterization of fs10.1, a major QTL controlling fruit elongation in *Capsicum*. *Theoretical and Applied Genetics* 123: 657-665.

Bramardi, S. J. 2002. Análisis Multivariado. Su Aplicación en la Caracterización de Recursos Genéticos. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Conahue, Estación Experimental INTA, Argentina. 60 p.

Cano-Vázquez, A., Ma. C. López-Peralta, H. A. Zavaleta-Mancera, N. Cruz-Huerta, I. Ramírez-Ramírez, A. Gardea-Béjar, V. A. González-Hernández. 2015. Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Botanical Sciences* 93: 175-184.

Castañón-Nájera, G., L. Latournerie-Moreno, J. M. Leshner-Gordillo, E. de la Cruz-Lázaro y M. Mendoza-Elos. 2010. Identificación de variables para caracterizar morfológicamente colectas de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 26: 225-234.

D'Arcy W. G. and W. H. Eshbaugh. 1974. New World Peppers (*Capsicum*-*Solanaceae*) north of Colombia. *Baileya* 19: 93-105.

De la Rosa M., L. Arce, J. A. Villarreal, L. Ibarra y J. Iozano. 2012. Germinación de semillas de chile simojvel (*Capsicum annuum* L.) previamente expuestas a NaCl y ácido giberélico. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 81: 165-168.

Dillon, W. R. and M. Goldstein. 1984. *Multivariate Analysis: Methods and Applications*. Wiley, Nueva York. 587 p.

ESRI ArcMap Version 10.0. 2010. Redlands, CA. Environmental Systems Research Institute, Inc.

Franco, T. L. y R. Hidalgo. 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín Técnico IPGRI No. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 89 p.

García F., A., S. Montes H., J. A. Rangel L., E. García M. y M. Mendoza E. 2010. Respuesta fisiológica de la semilla de chile piquín [*Capsicum annum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill] al ácido giberélico e hidrotermia. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1(2): 203-216.

Gentry, S. H. 1942. Rio Mayo Plants: A Study the Flora and Vegetation of the Rio Mayo, Sonora. Publication 527. Carnegie Institution of Washington. 234 p.

Gower, J. C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics 27: 857-871.

Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham, and W. C. Black. 1992. Multivariate Data Analysis. MacMillan Publ. Co. Nueva York. 544 p.

Hanan A., A. M. y J. Mondragón P. 2009. Malezas de México. Ficha Chile piquín. Consultado el 10 de Agosto de 2016. [<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/capsicum-annuum/fichas/ficha.htm>]

Hernández V., A. E. 2013. Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Revista BioCiencias 2(3): 113-118.

Hernández-Verdugo., S., F. Porras, A. Pacheco-Olvera, R. G. López-España, M. Villarreal-Romero, S. Parra-Terraza y T. Osuna E. 2012. Caracterización y variación ecogeográficas de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del Noroeste de México. Polibotánica 33: 175-191.

Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

INAFED, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2016. Consultado el 23 de noviembre de 2016.  
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/>

IPGRI, AVRDC and CATIE. 1995. Descriptors for *Capsicum* (*Capsicum* spp.) International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy; The Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan; and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 51 p.

Jiménez L., J. A. 2013. Factores ambientales, fenología, e intercambio de gases en *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickergill. Maestro en Ciencias. Coordinación de Tecnologías de Alimentos de Origen Vegetal. Hermosillo, Sonora. 114 p.

Kadri B., M., D. Esiyok and K. Turban. 2009. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of pepper (*Capsicum annuum* L.) from Turkey. Spanish Journal of Agricultural Research 7(1): 83-95.

Laborde C., J. A. 1982. Los Recursos Genéticos del Chile en México. En: Presente y Pasado del Chile en México. INIA- SARH. México, D.F. 80 p.

- Lizarde N. A., E. Araiza L. y J. G. Martínez M. 2011. Evaluación de la germinación y crecimiento de plántula de chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) en invernadero. *Revista Colombiana de Biotecnología* 8(2): 170-175.
- Long S., J. 1998. *Capsicum* y Cultura: La Historia del Chilli. Segunda edición. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 203 p.
- López J. A. y M. D. Hidalgo. 1994a. Análisis de Componentes Principales y Análisis Factorial. *In: Ato, M. y López, J. J. (eds.). Fundamentos de estadística con Systat. Addison Wesley Iberoamericana. pp: 457-503.*
- López J. A. y M. D. Hidalgo. 1994b. Análisis de Conglomerados. *In: Ato, M. y López, J. J. (eds.). Fundamentos de Estadística con Systat. Addison Wesley Iberoamericana. pp: 505-532.*
- López L., P. y F. H. Castro G. 2005. Al rescate de la diversidad genética de Chile (*Capsicum spp.*) en Oaxaca, México. *In: Bravo L., A.G., O. Pozo C. y L. H. Hernández A. (eds.). Segunda Convención Mundial del Chile 2005. Memorias. Zacatecas, Zac., México. pp: 386.*
- López-Santiago, J., R. Nieto-Ángel, A. F. Barrietos-Priego, E. Rodríguez-Pérez, M. T. Colinas-León, M. W. Borys y F. González-Andrés. 2008. Selección de variables morfológicas para la caracterización del tejocote (*Crataegus spp.*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(2): 97-111.
- López V., A. P. 2012. Efecto de procedencias, elevación en la germinación de Chile piquín (*Capsicum annuum*), persistencia de humedad en suelo durante su germinación en campo y producción fotosintética de plántulas. *In: Seminario de Posgrados. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. pp: 198-206.*

- López-Aguilar R., D. Medina-Hernández, F. Ascencio-Valle, E. T. Royo-Dieguez, A. Nieto-Garibay, M. Arce-Montoya, J. A. Larrinaga-Mayoral and G. A. Gómez-Anduro. 2012. Differential responses of Chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) and Poblano (*Capsicum annuum* var. *annuum*) hot peppers to salinity at the plantlet stage. *African Journal of Biotechnology* 11(11): 2642-2653.
- Malgorzata B. and K. Georgios. 2009. Physiological response and yield of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) to organic fertilization. *Journal of Central European Agriculture* 9(4): 715-722.
- Mantel, N. A. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research* 27: 209-220.
- Martínez T., H. L. 2007. Etnobotánica del chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en la sierra Gorda y semidesierto de Querétaro. Tesis para obtener grado de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. De México. 127 p.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas Mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1220 p.
- Medina A., J. R. 2000. Recetario huichol de Nayarit. *Cocina Indígena y Popular* 46. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D.F. 78 p.
- Medina M., T. 2010. Manejo integral del chile piquín. *Ciencia Uat* 17(3): 28-29.
- Medina M., T., H. Villalón M., A. Carreón P., M. Aguirre B. y A. Cardona E. 2005. El chile piquín silvestre, ecología y manejo in situ en el centro de Tamaulipas. *In: Bravo L., A.G., O. Pozo C. y L. H. Hernández A. (eds.)*.

Segunda Convención Mundial del Chile 2005. Memorias. Zacatecas, Zac., México. pp: 386.

Molina M., C., A. Morales C. y A. Márquez C. 2009. Técnicas Para el Establecimiento y Producción de Chiltepín Silvestre Bajo un Sistema Agroforestal en Sonora, México. CONAFOR. México, D.F. 38 p.

Montes H., S. 2010. Recopilación y Análisis de la Información Existente de las Especies del Género *Capsicum* que Crecen y se Cultivan en México. Informe Final. CONABIO-INIFAP- C.E. Bajío. México. 86 p.

Montes H., S., M. Ramírez M., H. Villalón M., T. Medina M., A. Morales C., E. Heredia G., J. M. Soto R., R. López de L., A. Cardona E. y H. L. Martínez T. 2006. Conservación y aprovechamiento sostenible de chile silvestre (*Capsicum* spp., Solanaceae) en México. *In*: López L. P y S. Montes H. (eds.). 2006. Avances de Investigación de la Red de Hortalizas del SINAREFI. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto. México. 466 p. (Libro Científico Núm. 1). pp: 71-134.

Montes H., S., P. López L., S. Hernández V., M. Ramírez M. 2010. Recopilación y Análisis de la Información Existente de las Especies del Género *Capsicum* que Crecen y se Cultivan en México. Informe Final INIFAP. C. E. Bajío. México. 41 p.

Moreno L., S., S. M. Salcedo M., M. L. Cárdenas A., J. L. Hernández P. y M. A. Núñez G. 2012. Efecto antifúngico de capsaicina y extractos de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) sobre el crecimiento in vitro de *Aspergillus flavus*. *Polibotánica* (34): 171-184.

- Moreno-Pérez, E. del C., C. H. Avendaño-Arrazate, R. Mora-Aguilar, J. Cadena-Íñiguez, V. E. Aguilar-Rincón, J. F. Aguirre-Medina. 2011. Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) del centro-norte de México. Revista Chapingo Serie Horticultura 17: 23-30.
- Moscone, E. A., M. A. Scaldaferrro, M. Grabiele, N. M. Cecchini, Y. Sánchez G., R. Jarret, J. R. Daviña, D. A. Ducasse, G. E. Bardoza and F. Ehrendorfer. 2007. The evolution of chilli peppers (*Capsicum*-Solanaceae): a cytogenetic perspective. VI International Solanaceae Conference: Genomics Meets Biodiversity. Acta Horticulturae 745: 137-170.
- Narez-Jiménez., C. A., E. de-la-Cruz-Lázaro, A. Gómez-Vázquez, G. Castañón-Nájera, A. Cruz-Hernández y C. Márquez-Quiroz. 2014. La diversidad morfológica *in situ* de chiles silvestres (*Capsicum spp.*) de Tabasco, México. Revista Fitotecnia Mexicana 37: 209-215.
- Nee, M. 1986. Flora de Veracruz. Solanaceae I. Fascículo 49. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz. 49 p.
- Pacheco-Olvera, A. S. Hernández-Verdugo, V. Rocha-Ramírez, A. González-Rodríguez and K. Oyama. 2012. Genetic diversity and structure of pepper (*Capsicum annuum* L.) from Northwestern Mexico analyzed by microsatellite markers. Crop Science 52: 231-241.
- Palacios C., S. y M. A. García D. 2008. Caracterización morfológica de 93 accesiones de *Capsicum spp.* Del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. Acta Agronómica 57: 247-252.
- Pardey R., C., M. A. García D. y F. A. Vallejo C. 2006. Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* el banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Acta Agronómica 55: 1-9.

- Peakall, R. and P. E. Smouse. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excell. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288-295.
- Pickersgill, B. 1989. Genetic resources of *Capsicum* for tropical regions. *In: Tomato and Peppers Production in the Tropics*. Green, S. K. (Ed.). Proceedings of the International Symposium on Integrated Management Practices, AVRDC. Publication 89-317. Asian Vegetable Research and Development Center. Tainan, Taiwan. pp: 1-9.
- Pla, L. E. 1986. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Secretaría de la Organización de Estados Americanos (OEA). Washington, D.C. 94 p.
- Portis E., G. Nervo, F. Cavallanti, L. Barchi and S. Lanteri. 2006. Multivariate analysis of genetic relationships between Italian pepper landraces. *Crop Science* 46: 2517-2525.
- Ramírez, J. 1996. El Chile. CONABIO. *Biodiversitas* 8: 8-14.
- Ramírez O., G., J. A. Ruiz C., C. Pérez M., R. Villavicencio G. y N. Durán P. 2014. Impactos del cambio climático en la distribución geográfica de *Gossypium hirsutum* L. en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol. Esp. 10:1885-1895.
- Rêgo R., E., M. M. do Rêgo, C. Damião C., F. Luiz F. and V. W. Dias C. 2011. Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). *Genetic Resources and Crop Evolution* 58: 909-918.

- Rodríguez del Bosque, L. A. 2003. Memoria del 1er Simposio Regional Sobre Chile Piquín. Avances de Investigación en Tecnología de Producción y Uso Racional del Recurso Silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Publicación Especial No. 26. México. 45 p.
- Rodríguez del Bosque, L. A., M. Ramírez M. y O. Pozo C. 2004. Tecnología de Producción de Chile Piquín en el Noreste de México. INIFAP- CIRNE. Campo Experimental Rio Bravo. Folleto Técnico Núm. 29. Tamaulipas, México. 33 p.
- Sandoval R., A. 2011. El cultivo del chile piquín y la influencia de los ácidos orgánicos en el crecimiento, productividad y calidad nutricional. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Nuevo León, México. 114 p.
- SAS Institute. 2011. SAS/STAT User`s Guide: Software Version 9.3. Statistical Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA.
- Solís N., V. G. 2010. Geographic patterns of morphological variation in *Turnera sidoides* subsp. *pinnatifida* (*Turneraceae*). *Plant Systematics and Evolution* 284: 231-253.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. pp: 633-649.
- Taiz L. and E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology*, 4th Ed. Sinauer Associates INC. Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA. 774 p.

Tewksbury, J. J., G. P. Nabhan, D. Norman, H. Suzán, J. Tuxill and J. Donovan. 1999. In situ conservation of wild chiles and their biotic associates. *Conservation Biology* 13(1): 98-107.

Toledo A., R. 2015. Diversidad morfológica, genética y bioquímica de poblaciones nativas de chiles anchos de México. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. De México. 207 p.

Torres H., M.I. 2011. Fertilización foliar y mallas sombra en *Eustoma grandiflorum* para incrementar intensidad de color. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. 99 p.

Valdez-Bustos Ma. G., G. A. Aguado-Santacruz, G. Carrillo-Castañeda, V. H. Aguilar-Rincón, E. Espitia-Rangel, S. Montes-Hernández and A. Robledo-Paz. 2009. In vitro propagation and agronomic performance of regenerated chili pepper (*Capsicum* spp.) plants from commercially import genotypes. *In Vitro Cellullar and Developmental Biology Plant* 45: 650-658.

Villalón M., H., T. Medina M. y M. Ramírez M. 2013. Factores de calidad de la semilla de chile silvestre (*Capsicum annuum* L. *glabriusculum*). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(17): 182-187.

Villota-Cerón, D., M. L. Bonilla-Betancourt, H. Carmen-Carrillo, J. Jaramillo-Vázquez y M. A. García-Dávila. 2012. Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existente en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica C.I. Palmira, Colombia. *Acta Agronómica* 61: 16-26.

Yong-Sham, K., L. Je-Min, Y. Gi-Bum, Y. Seung-In, K. Kyung-Min, S. Eun-Hee, B. Kyung-Mi, P. Eun-Kyung, S. In-Ho and K. Byung-Dong. 2005. Use of SSR markers to complement tests of distinctiveness, uniformity, and stability

(DUS) of pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Molecules and Cells* 19(3): 1-8.

Zarazúa H. M., L. Villaruel S., L. E. Gastélum P. and A. Morales C. 2009. Some Ecological Characteristics of Bird Pepper in the Sonoran State. *Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales*. 4-7 Noviembre. pp. 10.

Zegbe D., J. A., R. D Valdez C. y A. Lara H. (eds). 2012. *Cultivo de Chile en México. Tendencias de Producción y Problemas Fitosanitarios Actuales*. Universidad Autónoma de Zacatecas. Ejido La Escondida, Zacatecas, México. 183 p.

Zipcodezoo. 2016. *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*. Consultado el 8 de Septiembre de 2016.  
[http://zipcodezoo.com/index.php/Capsicum\\_annuum\\_L.\\_var.\\_glabriusculum\\_\(Dunal\)\\_Heiser\\_%26\\_Pickersgill](http://zipcodezoo.com/index.php/Capsicum_annuum_L._var._glabriusculum_(Dunal)_Heiser_%26_Pickersgill)