



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD PRE
Y POSTCOSECHA EN CHILE PIQUÍN
(*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)**

DEISY DAIANA DÍAZ SÁNCHEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Deisy Daiana Díaz Sánchez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Víctor A. González Herr, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

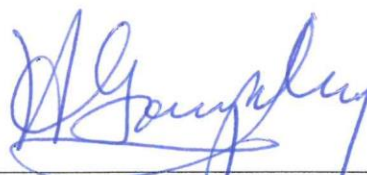
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD PRE Y POSTCOSECHA EN CHILE PIQUÍN (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*)

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 02 de Agosto de 2019



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

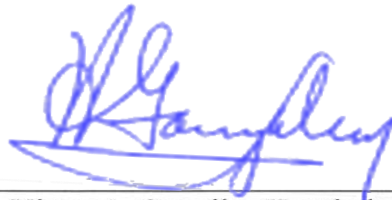
La presente tesis titulada: **Determinación de la calidad pre- y postcosecha en chile Piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)** realizada por la alumna: **Deisy Daiana Díaz Sánchez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



Dr. Víctor A. González Hernández

ASESOR (A)



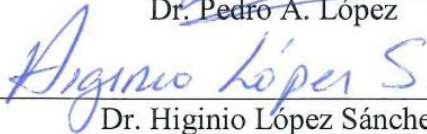
Dra. Hilda Victoria Silva Rojas

ASESOR (A)



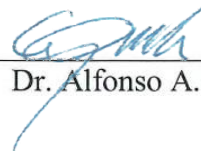
Dr. Pedro A. López

ASESOR (A)



Dr. Higinio López Sánchez

ASESOR (A)



Dr. Alfonso A. Gardea Béjar

Montecillo, Texcoco, Estado de México, septiembre de 2019

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD PRE Y POSTCOSECHA DEL CHILE PIQUÍN (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)

Deisy Daiana Díaz Sánchez, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

El chile Piquín *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Cag) es un chile muy cotizado en México por su característico tamaño de fruto y picor. Sin embargo, debido al alto valor culinario que posee y a que es un material en su mayoría silvestre, su hábitat está siendo sobreexplotado y dañado derivado de las prácticas de recolección y de otras presiones en su mayoría antropogénicas. Se han hecho estudios enfocados en conocer y entender sus hábitos de crecimiento, formas de germinación, características físicas y bioquímicas, pero aún no se ha logrado del todo establecer cultivos comerciales de Piquín a nivel extensivo, principalmente por la baja germinación de sus semillas. Las pruebas de germinación realizadas indican que el uso de la hormona vegetal ácido giberélico (AG_3) ha dado buenos resultados. Por otro lado, la amplia diversidad de accesiones presentes en el país ha dificultado la obtención de paquetes tecnológicos que puedan ser ofrecidos a los productores potenciales, muchos de los cuales subsisten gracias al comercio de este chile que alcanza altos precios de venta. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue coleccionar accesiones de diversos estados de la República Mexicana, caracterizar sus semillas mediante pruebas de viabilidad, germinación y de tolerancia al frío, establecerlas bajo condiciones de invernadero y fertilizadas con solución nutritiva, y caracterizar sus frutos por su morfología, análisis bioquímico y grado de picor. El total de accesiones crecidas en invernadero fueron 31, procedentes de 12 estados de la República Mexicana y 1 accesión de Arizona, EE. UU. Aunque las semillas de Cag mostraron una baja viabilidad en la prueba con cloruro de tetrazolio a 1 %, con aplicación de AG_3 a 5000 ppm se logró aumentar la germinación de 10 a 100 % en 40 % de las accesiones. En la prueba de tolerancia al frío de 3 °C se encontró que algunas accesiones de Durango, Sinaloa y Sonora resultaron susceptibles a la temperatura aplicada porque no germinaron. En contraste, algunas accesiones procedentes de Oaxaca y la de Arizona germinaron en su totalidad a pesar de haber recibido 5 ciclos de frío, indicando así que poseen tolerancia al frío aplicado. La aplicación de AG_3 ayudó a mejorar la germinación de algunas accesiones, en

comparación con las semillas no tratadas. En la evaluación de 31 accesiones en invernadero, se descubrió que algunas modificaron sus características morfológicas de fruto en comparación a sus medidas originales, en especial las accesiones Mich 01, Mich 02 y Oax 10 produjeron los frutos fueron más grandes y pesados. La evaluación bioquímica mostró que los frutos de campo presentaron mayores contenidos de sólidos solubles totales y menores porcentajes de acidez, atribuible a su avanzado estado de madurez, en contraste con los frutos de invernadero recién cosechados. En el análisis de componentes principales aplicado a datos de frutos tanto de campo como de invernadero, se encontró que los dos primeros componentes explican 63 % de la variación observada, y que las variables, largo, diámetro de fruto, número de semillas, índice de madurez y porcentaje de acidez son las que tienen mayor influencia en dicha variabilidad. El picor en los frutos colectados en campo fue bajo con un rango de 2,023 a 20,693 SHU, en comparación con los análisis hechos en frutos cosechados en invernadero, que tuvieron mayor picor con valores de 22,217 a 56,000 SHU. En la mayoría de las accesiones de Cag cosechadas en invernadero se observó que el contenido de CAPS va aumentando conforme el fruto avanza en maduración.

Palabras clave: chile Piquín, germinación, caracterización morfológica, análisis bioquímico, ACP, capsaicinoides

DETERMINATION OF PRE AND POSTHARVEST QUALITY OF CHILE PIQUÍN (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)

Deisy Daiana Díaz Sánchez, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

Piquín chili *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Cag) is a very popular variety of chile in Mexico due to its characteristic fruit size and pungency. However, because this plant species is not a cultivated crop but a wild plant that is harvested for its high culinary value, so that its habitat is being overexploited and damaged by wrong harvesting practices and other anthropogenic pressures. Previous studies on Cag have focused on understanding the plant growth habits and seed germination, as well as the fruit physical and biochemical characteristics, but it has not yet been possible to establish commercial Piquín crops extensively, mainly because of the low and irregular seed germination rates. The seed germination tests carried out so far have shown that application of plant hormones, such as gibberellic acid (AG₃), have rendered promising results. On the other hand, the wide genetic diversity among Mexican accessions has prevented the production of technological packages for chile Piquín potential producers. Most people dedicated to the collection and trade of this fruit remain active on this activity because chile Piquín can reach high sale prices. In this context, we did the present study to characterize 31 Piquín accesions collected from 12 states of the Mexican Republic and 1 accession from Arizona, USA, regarding seed viability, germination and cold tolerance, as well as their growing capacity under greenhouse conditions and fertilized with nutrient solution. Morphological, biochemical and pungency traits were measured on the harvested fruits. Although most Cag seeds showed low viability rates in the tetrazolium chloride test, we significantly improved the germination rate by preconditioning the seeds with AG₃ at 5000 ppm, obtaining gains from 10 to 100 % in 40 % of the accessions. In the cold tolerance test done by imposing five consecutive cycles at 3 ° C on Cag seeds, some accessions such as Durango, Sinaloa and Sonora were very susceptible to the applied cold because seeds were unable to germinate. In contrast, some accessions from Oaxaca and the one from Arizona were able to germinate as much as the untreated control, thus suggesting that these accessions may possess cold tolerance at seed stage. Interestingly, in some accessions the application of AG₃ helped to overcome the cold treatment. In the greenhouse experiment, we found that some Cag fruits collected in the field modified some of their morphological characteristics of fruit compared to their original measures once established in the greenhouse, especially. The accessions Mich 01, Mich 02 and Oax 10 produced the larger and heavier fruits. Regarding the biochemical traits, the fruits collected in the field had higher contents of total soluble solids (TSS) and lower percentages of acidity, attributable to their advanced state of maturity. In contrast, the freshly harvested greenhouse fruits had lower TSS and higher acidity. According to the analysis



of principal components, the first two components PC1 and PC2, explained 63% of the total variation, where the variables length, fruit diameter, number of seeds, maturity index and acidity percentage have the greatest influence on this variability. Regarding pungency, in fruits collected from the field the content of capsaicinoids was rather low with a range of 2,023 to 20,693 SHU, compared to the analyzes made on fruits harvested in the greenhouse, which had a higher pungency with values of 22,217 to 56,000 SHU. In most Cag accessions the accumulation of capsaicinoids in fruits harvested from plants grown in the greenhouse, the CAPS content increased as the fruit progressed in maturation.

Keywords: Piquín chili, germination, morphological characterization, biochemical analysis, ACP, capsaicinoids.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados: Por abrirme las puertas de esta gran institución.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mis estudios doctorales.

A todos y cada uno de los miembros de mi comité de tesis, Dra. Hilda Victoria Silva Rojas, Dr. Pedro A. López, Dr. Higinio López Sánchez y Dr. Alfonso A. Gárdea Béjar. Muchas gracias por su apoyo y colaboración. Un agradecimiento muy especial a mi consejero, el Dr. Víctor A. González Hernández quien me brindo su paciencia, apoyo incondicional y sobre todo su confianza para poder llegar a la meta. **¡Muchas gracias!**

Al Dr. Óscar Ayala Garay por el apoyo en un momento decisivo y por su amistad durante todo mi doctorado.

Al Dr. Nicasio Cruz Huerta por su apoyo durante la investigación y en momentos importantes.

Al M.C. Iván Ramírez Ramírez, muchas gracias por tus palabras de aliento, por tu apoyo y por los muchos buenos momentos que compartes con los estudiantes.

Al equipo de trabajo del laboratorio de Fisiotecnia Vegetal: Víctor, Juan Carlos, Sagrario, Pedro y Naty. Son una parte importante en nuestras investigaciones, gracias por la convivencia y por ser partícipes de nuestra vida como estudiantes

A mis compañeros y amigos de generación y de la generación anterior: Mariel, Benjamín, Emir, Óscar, Karina, Liz, Mildred, Celerino Carlitos, Pocho, Mary, Etel, Eliud, Carmen, Montse, Farid, Campana. En fin, a todos lo que compartimos maravillosos momentos en las clases y fuera de la institución, siempre los recordare con gran cariño.

A mis amigos de los labs de fisiología y semillas, César, Ramiro, Raúl Sandoval y Vicky Adriana, Fabi, con quienes tuve la oportunidad de convivir este tiempo y quienes contribuyeron de alguna u otra forma con mi trabajo de investigación y diversión.

A mis amigas Gaby y Marlen, gracias por su amistad y compañerismo, les tengo un gran cariño y espero que nuestra amistad perdure.

DEDICATORIA

En memoria de mis Abuelos:

Cecilia Miranda y José Manuel Sánchez

Con especial cariño para mis padres: María de los Ángeles y Antonio, gracias por su apoyo incondicional. Mamá, gracias por tu presencia y aliento en cada momento de mi vida.

A mi hermano José Antonio, hermanito gracias por ser parte de este logro, te quiero mucho.

A mis Amadas hijas Daiana D. y Alejandra K., con todo mi amor.

A mi esposo Alejandro, por estar a mi lado todo este tiempo y por apoyarme en cada momento, ¡Te Amo!

“En mi vida tengo muchas cosas hermosas, pero la más bella y valiosa es mi familia”

Deisy Daiana Díaz Sánchez



CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
MARCO CONCEPTUAL.....	1
OBJETIVO GENERAL	7
HIPÓTESIS.....	8
LITERATURA CITADA.....	8
CAPÍTULO I. MANEJO DE SEMILLAS DE CHILE PIQUÍN (PRUEBAS DE VIABILIDAD Y GERMINACIÓN).....	12
1.1 RESUMEN.....	12
1.2 ABSTRACT.....	13
1.3 INTRODUCCIÓN	14
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	17
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
1.6 CONCLUSIONES	28
1.7 LITERATURA CITADA.....	29
CAPÍTULO II. TOLERANCIA AL FRÍO EN SEMILLAS DE CHILE PIQUÍN.....	32
2.1 RESUMEN.....	32
2.2 ABSTRACT.....	33
2.3 INTRODUCCIÓN	34
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	36
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
2.6 CONCLUSIONES	40
2.7 LITERATURA CITADA.....	41
CAPÍTULO III. TAMAÑO Y CALIDAD DE FRUTOS DE CHILE PIQUÍN (<i>Capsicum annuum</i> L. var. <i>glabriusculum</i>).....	42
3.1 RESUMEN.....	42

3.2	ABSTRACT.....	43
3.3	INTRODUCCIÓN	44
3.4	MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
3.6	CONCLUSIONES	70
3.7	LITERATURA CITADA.....	71
CAPÍTULO IV. CUANTIFICACIÓN DE CAPSAICINOIDES		75
4.1	RESUMEN.....	75
4.2	ABSTRACT.....	76
4.3	INTRODUCCIÓN	77
4.4	MATERIALES Y MÉTODOS	84
4.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
4.6	CONCLUSIONES	95
4.7	LITERATURA CITADA.....	96
CONCLUSIONES GENERALES.....		100
ANEXOS DE CAPÍTULOS.....		102
ANEXO FOTOGRAFICO.....		120

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1 Precedencia de las 48 accesiones de chile Piquín.....	18
Cuadro 2.2 Prueba de viabilidad en semillas de 48 accesiones de chile Piquín (<i>Capsicum annuum</i> var. <i>glabriusculum</i>).....	21
Cuadro 2.3. Prueba de germinación en semillas de 48 accesiones de chile Piquín var. <i>glabriusculum</i>	25
Cuadro 3.1 Procedencia de frutos de chile piquín utilizados en la prueba de frío.....	36
Cuadro 3.2 Porcentaje de germinación en semillas con y sin tratamiento de AG ₃ y con 5 ciclos acumulados de frío a 3° C.....	37
Cuadro 4.1. Accesiones evaluadas (31) de chile Piquín y sus procedencias.....	47
Cuadro 4.2. Variables morfológicas determinadas en frutos de chile Piquín.....	48
Cuadro 4.3 Comparación morfológica de frutos de chile Piquín colectados en campo vs. cosechados en invernadero.....	50
Cuadro 4.4 Determinación de color en frutos de chile Piquín procedentes de campo e invernadero.....	59
Cuadro 4.5 Análisis de componentes principales (CP's) aplicado a variables morfológicas y bioquímicas de chile Piquín recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.....	66
Cuadro 4.6 Análisis MANOVA para el ACP en frutos de chile Piquín.....	69
Cuadro 5.1 Escala de picor en diferentes tipos de chile.....	82
Cuadro 5.2 Contenido de capsaicinoides en frutos de 31 accesiones de chile Piquín recolectadas en campo.....	88
Cuadro 5.3 Contenido de capsaicinoides en frutos de chile piquín cosechados en invernadero.....	90
Cuadro 5.4 Picor en frutos de chile piquín producidos bajo condiciones de invernadero, en tres estados de madurez.....	92

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Flor, fruto y semilla de chile Piquín.....	3
Figura 1.2 A) Planta de chile Piquín; B) Corte transversal y longitudinal.....	4
Figura 2.1 A) Tinción en semillas de chile Piquín, con el método de cloruro de Tetrazolio para la prueba de viabilidad. B) Prueba de germinación en semillas de chile Piquín pre-tratadas con AG ₃	20
Figura 4.1a Determinación de la variable largo en frutos de chile Piquín, recolectados en campo y cosechados en invernadero.....	52
Figura 4.1b Determinación de la variable diámetro de fruto en accesiones recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.....	53
Figura 4.1c Determinación de la variable peso de fruto en accesiones recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.....	54
Figura 4.1d Determinación del número de semillas en frutos de chile Piquín, recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.....	55
Figura 4.1e Determinación del índice de redondez en frutos de chile Piquín, recolectados en campo y cosechados en invernadero.....	56
Figura 4.2 Frutos de chile Piquín A) recolectados en campo, B) Cosechados en invernadero, C) Semillas.....	59
Figura 4.3a Acidez titulable en frutos de 31 accesiones de chile Piquín recolectados en campo y cosechados en invernadero.....	61
Figura 4.3b Determinación de pH en frutos de 31 accesiones de chile Piquín recolectados en campo y cosechados en invernadero.....	62
Figura 4.4a Contenido de sólidos solubles totales (SST) en frutos de 31 accesiones de chile Piquín colectadas en campo y cosechadas en invernadero.....	64
Figura 4.4b Índice de madurez (IM) en frutos de 31 accesiones de chile Piquín colectadas en campo y cosechadas en invernadero.....	65
Figura 4.5 Distribución de la variabilidad morfológica y bioquímica en frutos de 31 poblaciones de chile Piquín recolectados en campo y cosechados en	

	invernadero. A (Ags), D (Dur), H (Hgo), M (Mich), N (Nay), O (Oax), P (Pue), Q (Qro), S (Sin), V (Ver).....	68
Figura 5.1	Sección transversal del fruto de <i>Capsicum frutescens</i> L. observado bajo el microscopio de luz Nikon. a) Pericarpio b) Tabique, c) Semilla, d) Placenta, e) Funículo	78
Figura 5.2	Ruta propuesta para la biosíntesis de los capsaicinodes en el género <i>Capsicum</i> . PAL, fenilalanina amonio liasa; Ca4H, ácido cinámico 4 hidroxilasa; Ca3H cumarato 3 hidroxilasa; COMT, ácido cafeico <i>O</i> -metiltransferasa; pAMT, presunta aminotransferasa de la vainillina; BCAT, aminotransferasa de los aminoácidos ramificados, IvDH α isovalerato deshidrogenasa; Kas β -cetoacil sintasa; ACL, proteína acarreadora de grupos acilo; FAT, tioesterasa; DST, desaturasa; CS capsaicinoide sintasa.....	79
Figura 5.3	Estructura de los diferentes tipos de capsaicinoides.....	80
Figura 5.4	Extractos de capsaicinoides de frutos de chile Piquín en tres estados de madurez.....	84
Figura 5.5	Contenido de capsaicinoides (CAPS) en frutos recolectados en campo y en frutos cosechados en invernadero. CAPS Totales = C+DH. Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).....	86
Figura 5.6	Comportamiento promedio del picor en accesiones contrastantes de chile Piquín en tres estados de madurez.....	93

INTRODUCCIÓN GENERAL

MARCO CONCEPTUAL

Generalidades de *Capsicum annuum*

El chile o chili (*Capsicum* spp.), al igual que el maíz, calabaza, frijol, cacao, aguacate y tomate, ha sido alimentos primordiales en la cultura mexicana desde tiempos prehispánicos, por lo que forman parte actualmente de una enorme diversidad gastronómica (Vera-Guzmán *et al.*, 2011). El género *Capsicum* pertenece a la familia Solanaceae, subfamilia Solanoideae, y a la tribu más grande de la familia con 18 géneros y 1250 especies (D'Arcy, 1986; Hawkes *et al.*, 1979; Williams, 1986). Se han realizado numerosos estudios acerca de la evolución del género *Capsicum*, como son morfológicos, moleculares, taxonómicos, de composición bioquímica, incluso estudios botánicos y de distribución geográfica. Sin embargo, todavía existen controversias en este género, sobre todo con las variedades silvestres (Hernández *et al.*, 1981).

Para un mejor estudio de la especie *Capsicum annum* L. esta se ha dividido en dos variedades, la primera (*C. annum* var. *annum*) se refiere a frutos de mayor tamaño y poblaciones cultivadas como chile de Árbol, Jalapeño, Poblano, Serrano, etc. La segunda variedad (*C. annum* var. *glabriusculum*) la componen frutos pequeños y de poblaciones silvestres como el chile Piquín (Aguilar-Meléndez, 2004). Dentro de la variedad *glabriusculum* se ha encontrado una gran diversidad de formas y tamaños, que Laborde y Pozo (1982) y Long *et al.* (1999) diferenciaron en dos grandes grupos; los chiltepines redondos u ovalados que se encuentran en su mayoría en el norte del país, y los piquines que poseen una forma un poco más alargada, los cuales se encuentran en el centro y sur de México.

Distribución y morfología del chile Piquín

La distribución del chile Piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) es muy amplia, desde el sur de EE. UU. hasta Sudamérica. En México se encuentra presente desde Sonora hasta Chiapas por el litoral del Pacífico y de Tamaulipas a Yucatán por la franja costera del Golfo de México, con una distribución desde el nivel del mar hasta los 2500 m. (Hernández-Verdugo *et al.*,

1999; Medina *et al.*, 2001; Villalón *et al.*, 2002). Aguilar-Rincón *et al.*, (2014), en colaboración con el SINAREFI y La Red de Chile, elaboraron un mapa que muestra la diversidad y distribución de chiles con los que cuenta la República Mexicana entre ellos el chile Piquín (Anexo 1), por lo que es posible apreciar la gran variedad de climas y condiciones bajo las que crecen dichas poblaciones. La localización geográfica tan variada, le ha conferido al chile Piquín una amplitud genética y usos diversos (Laborde y Pozo, 1982; Hernández-Verdugo *et al.*, 2001; Rodríguez del Bosque *et al.*, 2004).

De acuerdo con algunos autores como D'Arcy y Eshbaugh, 1974; Maiti *et al.*, 1994 y Hernández *et al.*, 1999. La planta de chile Piquín puede comportarse como una herbácea o arbusto que puede ser trepadora, perene o de vida corta, glabra o raramente pubescente. Su ramificación es dicotómica, con ramas de consistencia semileñosa, de forma cilíndrica, cuando son jóvenes suelen presentar cuatro costillas que desaparecen al presentar su crecimiento secundario, su corteza es lisa. Las plantas pueden llegar a alcanzar hasta 4 m de altura, dependiendo del clima bajo el cual se desarrollan. Las hojas son enteras, simples, pecioladas y de formas elíptico-lanceoladas a lanceoladas, con su ápice de agudo a acuminado, hasta 7 cm de largo y 3.8 cm de ancho (Maiti *et al.*, 1994). La base es obtusa con márgenes enteros, la venación es de tipo reticulada, imperfecta y abierta, con nervaduras medias, primarias y secundarias. Las hojas son glabras o escasamente pubescentes con tricomas multicelulares, de textura suave, en ocasiones cerosa, su arreglo es alterno. La raíz es de tipo pivotante, por su origen es primaria, leñosa perenne, con crecimiento secundario (Maiti *et al.*, 1994).

En cuanto a las flores, la caracterización realizada por D'Arcy y Eshbaugh, 1974; Maiti *et al.*, 1994 y Hernández *et al.*, 1999. mencionan que estas son completas y hermafroditas, de corola blanca, raramente verdosa, rotada, gamopétala, con cinco lóbulos, su tamaño es de 5 mm a 1.2 cm de diámetro, con tricomas en sus bordes. Por lo general, se forma una flor por nudo, raramente 2 o 3, en posición erecta con pedicelos delgados y alargados. El cáliz es corto con dientes ausentes o rudimentarios. Posee cinco estambres, con anteras de color violeta o azul. El ovario es súpero, el estigma capitado de un color blanquecino, con tres lóbulos y dos carpelos.

El fruto de chile Piquín en su estado inmaduro es de color verde, conforme va madurando adquiere coloraciones marrón o púrpura, y finalmente se torna rojo y picante (Figura 1.1). Los

frutos son erectos (muy característico de los frutos silvestres), deciduos, pequeños de 5 a 10 mm de diámetro y 15 mm de longitud, globosos u ovoides (dependiendo de la zona de crecimiento), con semillas de color crema a amarillo y de textura lisa (D'Arcy y Eshbaugh, 1974; Eshbaugh, 1993; Maiti et al., 1994; González-Cortés *et al.*, 2015). Por cada kilogramo de fruto fresco maduro (rojo) se pueden obtener de 80 a 120 g de semilla, y cada gramo contiene de 200 a 300 semillas. El crecimiento del chile Piquín es principalmente en suelos de tipo vertisol y rendzina, con texturas migajón-arcillosa, profundas, bien drenadas, con alto contenido de materia orgánica y pendientes menores a 8 %, en vegas de escurrimientos naturales en época de lluvias. (Medina *et al.*, 2010; Kraft *et al.*, 2013).



Figura 2.1 Flor, fruto y semilla de chile Piquín.

El chile Piquín como recurso genético

El término recursos genéticos es comúnmente utilizado para denominar aquellas plantas cuyo potencial puede ser de utilidad para la humanidad, a diferencia de los recursos biológicos que involucran a toda la vegetación de un área en general. Por otro lado, la conservación de un recurso es la actividad y políticas que aseguran su continua disponibilidad y existencia, de tal manera que brinden el mayor beneficio sostenido para las generaciones actuales, y conserven su potencialidad para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras (CATIE, 1979; Esquinas, 1982). Villalón-Mendoza *et al.* (2014) y Hayano *et al.* (2016), sugieren que la conservación *in situ* de los parientes silvestres de las plantas cultivadas como el chile Piquín, en algunos casos, puede ser la mejor opción para conservar los recursos genéticos, ya que además de vivir en condiciones naturales, pueden continuar sus procesos evolutivos en el lugar en donde aparecieron.

La importancia de los chiles silvestres como el chile Piquín (Figura 1.2), parientes de las plantas cultivadas, radica en que son una fuente importante de genes de resistencia contra factores

bióticos y abióticos que limitan la producción agrícola (Hernández, 2014). Las diferentes presiones de selección a las que han sido sometidas las plantas cultivadas durante los procesos de domesticación, han afectado principalmente sus sistemas naturales de apareamiento y mecanismos de dispersión, sus características morfológicas, fisiológicas, y los niveles de variación y estructura genética de sus poblaciones (Harlan *et al.*, 1973; Hamrick y Godt, 1997).



Figura 1.2 A) Planta de chile Piquín; B) Corte transversal y longitudinal.

Entre las características fisiológicas que han sido modificadas en mayor grado por la selección artificial es la pérdida de latencia de las semillas. Generalmente, las plantas domesticadas mantienen niveles de diversidad genética más bajos que sus parientes silvestres, y frecuentemente esta variación se distribuye en mayor proporción entre sus poblaciones (Hernández, 2014). Una mayor uniformidad genética de las plantas domesticadas ha dado como resultado, la presencia de una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, las cuales constituyen una de las limitantes más fuertes en los sistemas de producción agrícolas modernos.

Por otra parte, además de dar sabor picante a los platillos el chile aporta una variedad de sabores secundarios que son importantes en la elaboración de diversos platillos. Lo anterior habla de que las presiones de selección y los contextos de manejo de las plantas cultivadas no tienen que ver solamente con la mejor adaptación al ambiente, a un clima o a un tipo de suelo determinados (Kim *et al.*, 2014). En el proceso de domesticación, la dimensión cultural y social, particularmente la búsqueda de diferentes *valores de uso*, ha sido muy importante en la diversificación de las plantas que la humanidad ha utilizado a lo largo de la historia.

Muchas de las propiedades seleccionadas en los chiles tienen que ver con variables morfológicas de los frutos, tiempo de germinación, la velocidad de crecimiento, cantidad de agua que requieren, etcétera, e incluso con su composición química como en capsaicinoides, carotenoides y antocianinas (Kim *et al.*, 2014; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

Importancia del chile Piquín, valor nutricional y usos

El chile Piquín es consumido en todos los estratos de la sociedad mexicana. Su preferencia se debe a su agradable sabor y mayor picor, comparado con otros chiles como el Jalapeño y el chile Serrano (Villalón-Mendoza *et al.*, 2014; Ramírez-Meráz *et al.*, 2015). La demanda de chile silvestre “Piquín” o “del monte” (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) aumenta cada vez más, debido a que es comercializado en diversas presentaciones; como fruto fresco o seco disponible en mercados locales, o bien preparados como escabeches, salsas y deshidratados en cadenas de tiendas comerciales. Actualmente no existen muchas evidencias de su producción comercial, sino solamente de su cultivo en traspatio para autoconsumo (Latournerie *et al.*, 2002; Pedraza y Gómez, 2008). Por ello, este mercado se abastece casi en su totalidad de la colecta de frutos silvestres (Medina *et al.*, 2002; Bran *et al.*, 2007).

El chile Piquín es una importante fuente de ingresos para los habitantes de las comunidades que se dedican a la recolección de sus frutos. Se sabe que durante la época de mayor oferta llegan a desplazar a otros tipos de, ya que su fruto alcanza hasta 40 veces el valor de los chiles Serrano y Jalapeño. Debido a la dificultad para hacer germinar la semilla, la recolección de los frutos de esta variedad se ha hecho más intensa y agresiva, debido a que los recolectores que en su afán de cosechar una mayor cantidad, no cortan sólo los frutos sino que cortan las ramas productivas e incluso arrancan la planta completa, limitando sus posibilidades de regeneración (Latourniere *et al.*, 2010; Márquez-Quiroz *et al.*, 2013; Coronado *et al.*, 2013; Villalón-Mendoza *et al.*, 2015).

Otras amenazas graves para la conservación en condiciones naturales de este invaluable recurso genético es la destrucción o fragmentación de su hábitat con fines de incorporar nuevas tierras a la agricultura, construcción de represas y carreteras, principalmente (Hernández, 2014). Esto ha causado la desaparición de la especie en algunas regiones, sobre todo en aquellas cercanas

a los núcleos de población. De continuar esta situación, se pone en riesgo a importantes ecotipos (Bañuelos *et al.*, 2008; Araiza-Lizarde *et al.*, 2008; Villalón-Mendoza *et al.*, 2016).

El chile, ha sido considerado como un condimento que aporta carotenos, tiamina, vitamina C y hierro. Por su parte, los chiles picantes aportan más o menos 20 mg de vitamina C y los menos picantes hasta 229 mg por cada 100 g de chile. Se sabe que el chile del monte o silvestre contiene 17 % de glúcidos; la porción de proteína que aporta es de 1 a 17 %, así como de 3 a 45 % de carbohidratos, y de 17 a 28 % de fibra cruda (celulosa) (Delgado, 1981; Vives, 1973; Woot-Tsuen, 1975; Braverman, 1980; Alanís y García, 1998). Además, contiene otros compuestos bioactivos, tales como flavonoides y compuestos fenólicos, que poseen propiedades antioxidantes (Xavier y Pérez-Gálvez, 2016).

Los usos del chile Piquín a través de la historia han sido variados, y entre ellos se encuentran los siguientes:

- ♣ Ceremonial: en diferentes ceremonias, en limpias y para curar el mal de ojo (Long, 1998). Además, es muy utilizado en fiestas especiales de los huicholes (Medina, 2000).
- ♣ Medicinal: en el sistema digestivo actúa contra la dispepsia, y es usado entre otras cosas para el dolor de muelas, diarrea, tos, fiebre, etc. Hay fármacos que incluyen a la capsaicina del chile (Long, 1998).
- ♣ Castigo: De acuerdo al código Mendocino, los aztecas castigaban a sus hijos haciéndolos inhalar humo de una fogata donde se quemaba chile seco (Long, 1998).
- ♣ Repelente: Una mezcla de chile Piquín, jabón, ajo, y cebolla se usa para repeler pulgones en las plantas. También se utiliza en gases picantes de defensa personal.
- ♣ Ornamental: Como adorno de platillos, altares, fiestas religiosas, amuletos y otros.
- ♣ Gastronómico: Es el uso más extendido e importante que se le da. Es asociado con la comida indígena. Torres (2000) advierte del inminente peligro del olvido frente al proceso de globalización cultural y señala la importancia de rescatar y divulgar nuestras deliciosas recetas, pues sus ingredientes autóctonos vigorizan el sabor de la cocina mexicana.

Criterios de calidad del chile

El control de calidad de los productos alimentarios, es de gran importancia para conseguir y definir, mediante parámetros objetivos, las sensaciones que experimentarán los consumidores de los alimentos y que condicionará la aceptación o rechazo del producto, lo cual a su vez determina un aspecto de calidad por el que el cliente estará dispuesto a pagar (García, 2013). Dentro de los métodos utilizados en la evaluación de un producto que desea emplearse como alimento se tienen cuatro principalmente, los cuales son: físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. En Chile, los análisis que proporcionan un panorama de su composición son los químicos, en este caso se considera el contenido de picor y composición nutricional.

En cuanto a los análisis físicos más importantes son, color, tamaño y forma de los frutos. Los análisis biológicos incluyen la germinabilidad y viabilidad de las semillas, lo cual es necesario para el éxito de la reproducción del Chile Piquín y los microbiológicos incluyen la sanidad de las semillas, es decir, libres de agentes patógenos. Montoya-Ballesteros et al. (2009) consideran que la forma de cosecha y secado de los chiles son los factores importantes en la posterior calidad del fruto, ya que estos factores repercutirán en la vida de anaquel y en la presentación del producto, y por consiguiente en los productos procesados como salsas y chiles encurtidos.

Las características antes mencionadas pueden verse afectadas por factores genéticos y ambientales (clima, suelo, región, altura, etc.), en el caso de plantaciones silvestres. Por otro lado, las plantaciones que han logrado reproducirse de forma controlada también presentan problemas de manejo y en algunos casos se ha encontrado que el picor del Chile se ve disminuido en comparación con el Chile silvestre (Rodríguez del Bosque et al., 2004). Con base en lo anterior, es necesario buscar opciones para conservar las poblaciones silvestres existentes, y también para conocer el comportamiento de los frutos bajo diversas circunstancias (invernadero, bajas temperaturas, etc.), con el objetivo de que en un futuro se establezcan plantaciones controladas, que den como resultado frutos con buena calidad y aceptables para los consumidores.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la variabilidad morfológica del Chile Piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*), y la calidad de fruto de esta especie, en colectas provenientes de 12 estados de la República Mexicana y de Arizona en EE. UU.

Objetivos Particulares

1. Recolectar frutos de chile Piquín de tantas localidades representativas del país como sea posible.
2. Caracterizar las colectas de chile Piquín por: morfología de fruto (tamaño, forma y color) y calidad de la semilla (viabilidad y porcentaje de germinación).
3. Evaluar aspectos bioquímicos del fruto (pH, SST, Acidez, picor).
4. Evaluar la posible tolerancia al frío en semillas de chile Piquín.

HIPÓTESIS

1. Las accesiones de origen silvestre de chile Piquín pueden tener buena adaptación y crecimiento bajo condiciones protegidas de invernadero.
2. Cuando las accesiones provenientes de diferentes ambientes son evaluadas en un solo ambiente de producción, las diferencias de calidad (forma, tamaño y picor) detectables entre accesiones son atribuibles a diferencias genéticas.
3. Dada la amplia diversidad de orígenes geográficos de las plantas colectadas de chile Piquín, es posible que haya accesiones tolerantes y susceptibles al frío.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Rincón, V. H., T. Corona T., P. López L., L. Latournerie M., M. Ramírez M., H. Villalón M., y J. A. Aguilar C. 2010. [Los chiles de México y su distribución](#). *SINAREFI*, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México: 114.
- Alanís G, M. G. y C.L. García D. 1998. Técnicas estandarizadas para el análisis de alimentos. Editado por Fac. Ciencias Biológicas, U.A.N.L., México.

- Almanza E. J. G. 1993. El chile piquín (*Capsicum annum* L. var. *aviculare* Dierb.): Estudio etnobotánico, biología y productividad. Tesis licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Bañuelos, N., P. Salido y A. Gardea. 2008. Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios Sociales, México* 16(32):1-30.
- Bran A, R. A., C. Moya., P. Ponce., M. Álvarez, M. y M. Varela. 2007. Diagnóstico participativo de las condiciones socioculturales asociadas a la conservación de los chiles silvestres (*Capsicum* spp) en la Depresión Central de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales* (20):69-73.
- Braverman, J. B. S. 1980. *Introducción a la Bioquímica de los Alimentos*. Ed. Omega, Barcelona.
- D'Arcy W. G. and W. H. Eshbaugh. 1974. New World Peppers (*Capsicum*-Solanaceae) north of Colombia. *Baileya* 19: 93-105.
- Delgado P, E. C. 1981. Técnicas bromatológicas utilizadas en nutrición. Tesis sin publicar. Fac. De Org. Deportiva, U.A.N.L., México.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1979. Los recursos genéticos de las plantas cultivadas en América Central. CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica, 29 p.
- Coronado G, M. A., A. Córdova M., P. García M., V.G. Santiago H., y R.A. Vásquez N. 2013. Estrategias de mercado para productos elaborados a base de chiltepín en la sierra de Sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios* 42(32):359–370. URL:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14125584017>
- Eshbaugh, W. H. 1993. History and exploitation of a serendipitous new crop discovery. In: J. Janick and J. E Simons (eds.). *New Crops*. Wiley, New York. Pp. 132-139.
- Esquinas, J. T. 1982. Los Recursos Fitogenéticos, una Inversión Segura para el Futuro. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid, España.
- González, C. N., V. Jiménez R., C. B. Guerra E., E. Silos H., y E. Payro. 2015. Germinación del chile amashito (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) en el sureste mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(11): 2211-2218.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.800>
- Hamrick, J. T., and M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Science* 37: 26-30. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/pdfs/37/1/CS0370010026>
- Harlan, J. R., J.M.J. De Wet., and E.G. Price. 1973. Comparative evolution of cereals. *Evolution* 27: 311-325.

- Hayano-Kanashiro, C., N. Gámez-Meza., and L. A. Medina-Juárez. 2015. Wild Pepper L. Taxonomy, plant morphology, distribution, genetic diversity, genome sequencing, and phytochemical compounds. *Crop Science* 56: 1-11.
- Hernández, V. S. 2014. Importancia del chile silvestre (*Capsicum annuum*) como recurso genético de México. *Mensaje Bioquímico* Vol. XLI: 289-304.
- Kim, S., M. Park., S. I. Yeom., Y.M. Kim., J.M. Lee., H.A. Lee., and H.S. Choi. 2014. Genome sequence of the hot pepper provides insights into the evolution of pungency in *Capsicum* species. *Nature Genetics* 46: 270-278.
- Kraft, K. H., J. J. Luna-Ruiz., and P. Gepts. 2013. A new collection of wild populations of *Capsicum* in México and the Southern United States. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60: 225-232. DOI 10.1007/s10722-012-9827-5.
- Latournerie, M. L., J. L. Chávez., M. Pérez., G. Castañón, S. A. Rodríguez., L. M. Arias., P. Ramírez. 2002. Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 25-33. <http://www.redalyc.org/pdf/610/61025104.pdf>
- Latournerie, M. L., V. H. Aguilar R., P. López L., S. Ramírez, M., T. Corona T., T. López S., y H. Villalón M. 2010. Los recursos genéticos del chile (*Capsicum* spp. en México: estudio, conservación y utilización. Resúmenes Ejecutivos Ejercicio 2010, SNICS. 157-159.
- Long-Solís, J. 1998. *Capsicum* and Culture: The History of Chili (in Spanish.). Fondo de Cultura Económica, México City, México.
- Márquez-Quiroz, C., S. T. López-Espinosa., P. Cano-Ríos., y A. Moreno-Reséndez. 2013. Fertilización orgánica: una alternativa para la producción de chile piquín bajo condiciones protegidas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(3):279-286.
- Maxted, N., B. V. Ford-Lloyd., and J. G. Hawkes. 1997. Complementary conservation strategies. In: N. Maxted, B.V. Ford-Lloyd y J.G. Hawkes (eds.). *Plant Genetic Conservation: The In Situ Approach*. Chapman and Hall, Londres, UK.
- 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, T., H. Villalón., A. Carreón., M. Lara., A. Cardona., G. Gaona., L. Trejo., y A. Mora. 2002. Chili piquín (*Capsicum annuum*). Population and handling agro-forestry study in Northeastern México. *Proceedings of the 16th International Pepper Conference Tampico, Tamaulipas, México*. 33 p.
- Medina, M. T. 2010. Manejo integral del chile piquín. *Ciencia UAT* 17(3): 28-29.

- Montoya-Ballesteros, L. C. 2009. Calidad y valor agregado en chiltepín. Memoria del Foro Comunitario de chiltepín, Región Río Sonora “El picante Sonorense”. Organizado por CONAFOR 22 de abril de 2009.
- Pedraza R, L. C., y A. A. Gómez G. 2008. Análisis exploratorio del mercado y la comercialización de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare* Dierb.) en México. Tecsis: Economía y Sociedad de México 1(5):1-8.
- Ramírez, M. M., G. Arcos C., H. Mata V., E. Vázquez G., y R. Méndez A. 2015. Variedades e híbridos de chile y su manejo para el sur de Tamaulipas. Campo Experimental Las Huastecas. CIRNE-INIFAP. Folleto Técnico Núm. MX-0-310701-11-03-14-09-40. 47 p. <https://docplayer.es/62689342-Variedades-e-hibridos-de-chile-para-el-sur-de-tamaulipas.html>
- Rodríguez del Bosque L. A, M. Ramírez-Meraz, O. Pozo-Campodónico. 2004. Tecnología de producción de chile piquín en el Noroeste de México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Folleto Técnico Núm. 29. Tamaulipas, México. 33 p.
- Torres C. R. 2000. Las flores en la cocina mexicana. Cocina indígena y popular 22. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D.F. p 15.
- Villalón-Mendoza, H., M. Ramírez-Meráz., F. Garza-Ocasas., and R. Maiti. 2016. Value chain of chile Piquín wild chili (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) from Northeastern Mexico. International Journal of Bio-Resource Stress Management 7(3):455–460.
- Villalón, M. H., T. Medina Martínez., M. Ramírez Meráz. 2013 Factores de calidad de la semilla de chile silvestre (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4:182-187.
- Villalón-Mendoza H., T. Medina M., M. Ramírez M., S. E. Solís U. and R. Maiti. 2014. Factors influencing price of the chile piquín wild chilli (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) of North-East México. International Journal of Bio-Resource and Stress Management 5(1):128-131. DOI: [10.5958/j.0976-4038.5.1.025](https://doi.org/10.5958/j.0976-4038.5.1.025)
- Villalón-Mendoza, H., A. C. Cruz-Hernández., y J. M. Soto-Ramos. 2015. Características morfológicas (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) para determinar el tamaño de la muestra. In: Memorias de la 12a Convención mundial del chile”. CONAPROCH. Guadalajara, Jal., México. pp. 151-156.
- Vives, E. 1973. Cultivo del Pimentón y la Berenjena. Editorial Síntesis. España. pp: 5-41.
- Woot-tsun, W. L. 1975. Tabla de Composición de Alimentos para Uso en América Latina. Editorial Interamericana, México.
- Xavier, A. A., and A. Pérez-Gálvez. 2016. Peppers and Chilies. Encyclopedia of Food and Health. pp: 301-306. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00533-X

CAPÍTULO I. MANEJO DE SEMILLAS DE CHILE PIQUÍN (PRUEBAS DE VIABILIDAD Y GERMINACIÓN)

1.1 RESUMEN

La inducción de germinación en chile Piquín mediante la aplicación exógena de ácido giberélico AG₃ se probó en 48 colectas de chile Piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) provenientes de 11 estados de la República Mexicana (Sonora, Sinaloa, Aguascalientes, Hidalgo, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Veracruz, Durango) y una colecta de Estados Unidos (Arizona), que representan una gran variedad de condiciones ambientales. Las semillas de cada colecta se seleccionaron visualmente y se desinfectaron. Después de aplicarles el AG₃ a una concentración de 5000 ppm por 24 h, las semillas se distribuyeron en cajas Petri y se colocaron en una incubadora a 30 °C por 21 días. Las colectas variaron en su respuesta al tratamiento de inducción; de las semillas tratadas con AG₃, 43 colectas germinaron de 70 a 100 %, 3 colectas lograron de 40 a 50 % de germinación, y 3 colectas apenas germinaron de 0 a 30 %. El inicio de la germinación (emergencia de radícula) en las semillas tratadas con AG₃ y agua destilada fue de 3 y 4 días, respectivamente. Lo anterior muestra diversidad genética en capacidad germinativa, y que unas colectas requieren otros tratamientos o condiciones para romper la latencia.

Palabras clave: Diversidad, germinación de semillas, chile Piquín, ácido giberélico.

CHILE PIQUÍN SEED MANAGEMENT (VIABILITY AND GERMINATION TESTS)

1.2 ABSTRACT

The induction of germination in chili pepper seeds through exogenous application of gibberellic acid AG₃ was tested in 48 accessions of chili pepper Piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) collected from 11 Mexican states (Sonora, Sinaloa, Aguascalientes, Hidalgo, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Queretaro, Veracruz, Durango) and one accession from United States (Arizona). These accessions represent also a large variety of environmental conditions. Seeds of each accession were selected visually and then disinfected. After applying AG₃ at a concentration of 5000 ppm for 24 h, the seeds were sowed in Petri dishes and kept in an incubator at 30 °C for 21 days. Accessions varied in their response to the induction treatment. In seeds treated with AG₃, 43 accessions germinated from 70 to 100 %, 3 germinated from 40 to 50 %, and 3 accessions barely germinated from 0 to 30 %. Seed germination in AG₃ treated seeds and in the control treatment (distilled water) started after 3 and 4 days, respectively. These results show genetic diversity among accessions regarding the seed germination capacity, and that some accessions may require other treatments or conditions to break dormancy.

Key words: Diversity, seed germination, Piquín chili, gibberellic acid.

1.3 INTRODUCCIÓN

Las semillas son estructuras complejas que se componen principalmente por: el embrión, que se desarrolla en una planta vegetativa; el endospermo, que provee nutrientes para el desarrollo del embrión durante los primeros estados de la plántula, y la cubierta seminal que cubre el resto de los componentes para protegerlos y controlar la germinación (Blasiac *et al.*, 2006). Por otro lado, la calidad de la semilla es un factor que define el éxito o la falla en el establecimiento de un cultivo, sobre todo cuando las semillas se enfrentan a climas y ambientes de producción estresantes (Bewley y Black, 2000; González-Cortez *et al.*, 2018). Asimismo, una semilla de buena calidad tiene importancia en los programas de conservación de germoplasma y mejoramiento genético, ya que mantiene por más tiempo su potencial físico y fisiológico durante el almacenamiento.

La calidad de la semilla puede verse afectada por un sinnúmero de factores, tanto genéticos como fisiológicos, citológicos, patológicos y mecánicos (Bradford, 2004). Es por ello, que la calidad de la semilla implica un conjunto de atributos que contribuyen al establecimiento de la planta en campo y deben estar regulados de cierta manera para evitar que afecten la producción (Hernández, 2011).

Con el propósito de determinar la calidad de las semillas se utilizan técnicas como la prueba de viabilidad con cloruro de tetrazolio, prueba que se utiliza como procedimiento de apoyo para identificar semillas viables, pero que presentan dormancia o latencia. Para complementar, la prueba de viabilidad se debe comparar con los resultados de las pruebas de germinación para cada especie (ISTA, 2005). Por su parte, la prueba de germinación se realiza para determinar qué proporción de las semillas de una accesión germinará en condiciones favorables y producirá plántulas normales (ISTA, 2005). Finalmente se encuentra la prueba de sanidad, que se refiere al estado de enfermedad de una muestra de semillas y a la presencia o ausencia de organismos patógenos y plagas que podrían causar enfermedades a lo largo del crecimiento de la planta.

Las semillas de diferentes especies poseen requerimientos muy particulares, por lo que no existe un conjunto general de condiciones para llevar a cabo la germinación. Se ha observado que las semillas de algunas especies suelen ser más tolerantes y germinan en una amplia gama de condiciones; sin embargo, la germinación completa sólo se puede lograr bajo condiciones óptimas. En el caso del chile Piquín, Medina-Martínez *et al.* (2014) mencionan que su forma natural de propagación es cuando los frutos maduros de este chile son ingeridos principalmente por el pájaro “pistoque” *Pintangus sulphuratus*, y luego de pasar por su tracto digestivo las semillas son distribuidas a través de las deposiciones. Según Araiza *et al.* (2011), ello ha complicado la estandarización de una técnica para obtener altos porcentajes de germinación.

La baja germinabilidad de las semillas de chile Piquín ha sido un problema y una limitante para las siembras intensivas, ya que las semillas contienen una capa externa dura con cera epicuticular, además de poseer inhibidores naturales, que dan lugar a una germinación muy pobre (Araiza *et al.*, 2011; De la Rosa *et al.*, 2012). Al respecto, se han realizado diversas investigaciones con tratamientos, como escarificación química y física, acondicionamiento o pre-tratamiento de la semilla con ácido giberélico, nitrato de potasio, peróxido de hidrógeno, entre otros (Rodríguez del Bosque *et al.*, 2003; De la Rosa *et al.*, 2012; González *et al.*, 2015). No obstante, los resultados han sido muy variables y persisten las tasas de germinación bajas. Por otro lado, algunos estudios muestran que la edad de la semilla afecta significativamente su germinación, y hasta el momento, no existen evidencias de que las semillas de los chiles silvestres sean beneficiadas y almacenadas adecuadamente (Sandoval *et al.*, 2018).

Para poder establecer y cultivar plantas de chile Piquín en condiciones de invernadero como ya se mencionó, se probaron métodos de pre-acondicionamiento a las semillas. Al respecto, Cano-Vázquez *et al.* (2015) encontraron que la imbibición con una solución de 5,000 mg L⁻¹ de ácido giberélico AG₃ dio buenos resultados en accesiones evaluadas de chile Piquín, de diversas procedencias. Se sabe que las giberelinas (AG) son hormonas que estimulan la síntesis de enzimas hidrolíticas de α -amilasa en la capa de aleurona, y que activan la transcripción de los genes que codifican para dichas proteínas (Sponsel y Hedden, 2004). Por su parte, las amilasas degradan el almidón y los productos de la digestión almacenados en la aleurona y en el endospermo



almidonoso, posteriormente son movilizados al escutelo para iniciar el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

El objetivo de este análisis fue evaluar la calidad de la semilla de frutos de chile Piquín provenientes de diferentes estados de la República Mexicana, para valorar su capacidad germinativa y su posible mejora con promotores para su uso en experimentos posteriores.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

Se evaluaron 48 colectas de chile Piquín procedentes de 11 estados de la República Mexicana, la mayoría colectadas específicamente para este proyecto, y una muestra colectada por el Dr. Alfonso Gardea Béjar en Tucson, Arizona, Estados Unidos (Cuadro 2.1).

Manejo de colectas

Los frutos frescos se secaron a temperatura ambiente y luego se extrajeron las semillas para su posterior clasificación en normales y vanas. Lo anterior se realizó para descartar las semillas defectuosas o sin embrión. Un método para separar las semillas defectuosas fue sumergirlas en agua, de modo que las semillas vanas flotaron. Otro método utilizado fue el diafanoscopio, el cual permitía vislumbrar el interior de la semilla a través de la luz de una lámpara.

Cuadro 2.1 Precedencia de las 48 accesiones de chile Piquín.

ID	Estado	Localidad	Procedencia	ID	Estado	Localidad	Procedencia	ID	Estado	Localidad	Procedencia
Ags 01	Aguascalientes	Pabellón	Mercado	Oax 02	Oaxaca	Zoquitlán	Silvestre	Son 04	Sonora	Huepac	Silvestre
Ags 02	Aguascalientes	Casa	Traspatio	Pue 01	Puebla	Abundio García	Silvestre	Son 01	Sonora	La Montosa-Moctezuma	Silvestre
Ags 03	Aguascalientes	CONAGUA	Parcela	Pue 04	Puebla	Cuetzalan	Parcela	Sin 05	Sonora	El Porvenir	Silvestre
Tuc 01	E. E. U. U	Tucson, AZ	Silvestre	Pue 02	Puebla	Xicotepec	Parcela	Son 05	Sonora	La Montosa-Moctezuma	Parcela
Dur 01	Durango	Durango	Mercado	Qro 03	Querétaro	Tolimán	Silvestre	Ver 01	Veracruz	Chicontepec	Mercado
Hgo 01	Hidalgo	Tlamamala	Mercado	Qro 04	Querétaro	El Patol	Silvestre	Ver 10	Veracruz	Tuxpan	Parcela
Mich 01	Michoacán	La Piedad	Silvestre	Qro 09	Querétaro	Colón	Silvestre	Ver 04	Veracruz	Cerro Verde	Parcela
Nay 01	Nayarit	El Jicote	Silvestre	Qro 02	Querétaro	Higuerillas	Silvestre	Ver 08	Veracruz	Tuxpan	Parcela
Nay 02	Nayarit	El Jicote	Traspatio	Qro 11	Querétaro	Cadereyta	Silvestre	Ver 11	Veracruz	Cazones	Mercado
Oax 10	Oaxaca	San Martín Lachilá	Traspatio	Qro 08	Querétaro	Bernal	Mercado	Ver 02	Veracruz	Los Migueles	Silvestre
Oax 03	Oaxaca	Zaachila	Traspatio	Qro 10	Querétaro	Jalpan de Serra	Silvestre	Ver 06	Veracruz	Papantla	Parcela
Oax 05	Oaxaca	Zaachila	Traspatio	Qro 07	Querétaro	Jalpan de serra	Silvestre	Ver 12	Veracruz	Jilotepec	Silvestre
Oax 08	Oaxaca	Zenzontepec	Traspatio	Sin 02	Sinaloa	La Huerta	Silvestre	Ver 05	Veracruz	Tlahuasime Papantla	Parcela
Oax 01	Oaxaca	San José de las Flores	Traspatio	Sin 01	Sinaloa	Guasave	Mercado	Ver 09	Veracruz	Tuxpan	Mercado
Oax 04	Oaxaca	Zimatlán	Traspatio	Sin 03	Sinaloa	La Rondana	Silvestre				
Oax 07	Oaxaca	San Martín Lachila	Mercado	Son 02	Sonora	Ures	Silvestre				
Oax 06	Oaxaca	Zoquitlán	Silvestre	Son 03	Sonora	Babiácora	Parcela				



Viabilidad de la semilla

El análisis se realizó de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 6 de las Reglas Internacionales de Análisis de Semillas del ISTA (International Rules for Seed Testing; ISTA, 2005) y el Manual de Ensayos al Tetrazolio (ISTA Handbook on Tetrazolium Testing, 2006). Se utilizó una muestra de 30 semillas por accesión, las cuales se pusieron en imbibición por 18 h con agua destilada. Después cada semilla se abrió en el plano medio dejando expuesto el embrión, y los cortes se colocaron en cajas Petri con la solución de cloruro de tetrazolio a 0.1 %, y se incubaron a 30 °C por 6 h en total oscuridad. Finalmente, las semillas se enjuagaron con agua destilada para hacer el conteo de las semillas en las siguientes clases:

- Viables, que fueron semillas totalmente teñidas
- Semillas inviables, que estaban totalmente libres de coloración; y
- Semillas parcialmente teñidas que producirán plántulas anormales, dependiendo de la intensidad y patrón de la tinción.

Prueba de germinación

La inducción de germinación en semillas de chile Piquín se efectuó mediante la aplicación exógena de ácido giberélico AG₃ a 5000 ppm por 24 h, en comparación con un tratamiento testigo con agua destilada (Figura 2.1). Las semillas se germinaron en cajas Petri, sobre papel absorbente húmedo previamente desinfectado; para evitar la pérdida de humedad cada caja se cubrió con una película plástica. Finalmente, las cajas se incubaron a 30 °C por 21 días, como propuso Cano (2013).



Figura 2.1. A) Tinción en semillas de chile Piquín, con el método de cloruro de Tetrazolio para la prueba de viabilidad. B) Prueba de germinación en semillas de chile Piquín pre-tratadas con AG3. (Fuente propia).

Análisis estadístico

El diseño estadístico fue completamente al azar, la unidad experimental consistió en una caja con 10 semillas y tres repeticiones. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y a pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de viabilidad

En la mayoría de las accesiones se encontró que sus semillas resultaron parcialmente teñidas por el cloruro de tetrazolio, como se muestra en el Cuadro 2.2. Del total de semillas analizadas, 25 % no presentó tinción (embriones totalmente blancos), 67 % se tiñeron parcialmente (presentaron coloración rosácea en al menos la mitad del embrión), y solo 9 % mostraron tinción de 100 % (embriones totalmente rojos). De acuerdo con el manual del ISTA, más de la mitad de las semillas podrían ser inviables y no germinar.

La prueba de viabilidad revela aspectos esenciales para conocer no solamente la calidad del lote, sino que también sirve de guía para identificar otros factores que pueden estar afectando a las semillas; entre ellos el reposo o latencia, que suele ser la causa de una menor germinación, pero que no debe confundirse con mala calidad (Ruiz, 2009).

Cuadro 2.2. Prueba de viabilidad en semillas de 48 accesiones de chile Piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).

Acc.	Localidad	SST (%)	SPT (%)	STT (%)	Acc.	Localidad	SST (%)	SPT (%)	STT (%)
Ags 01	Pabellón	50	7	43	Qro 08	Bernal	10	87	3
Ags 02	Casa	3	87	10	Qro 09	Colón	13	87	0
Ags 03	CONAGUA	0	77	23	Qro 10	Jalpan de Serra	0	93	7
Dur 01	Durango	0	0	0	Qro 11	Cadereyta	43	57	0
Hgo 01	Tlmalala	13	77	10	Sin 01	Guasave	13	77	10
Mich 01	La Piedad	0	87	13	Sin 02	La Huerta	23	77	0
Nay 01	El Jicote	0	100	0	Sin 05	El Porvenir	0	73	27
Nay 02	El Jicote	0	70	30	Sin03	La Rondana	70	30	0
Oax 01	San José de las flores	27	57	17	Son 01	La Montosa-Moctezuma	7	80	13
Oax 02	Zoquitlán	0	0	0	Son 02	Ures	0	83	17
Oax 03	Zaachila	0	87	13	Son 03	Babiácora	0	93	7
Oax 04	Zimatlán	3	87	10	Son 04	Huepac	13	67	20
Oax 05	Zaachila	20	60	20	Son 05	La Montosa-Moctezuma	60	33	7

Oax 06	Zoquitlán	73	27	0	Tuc 01	Tucson, AZ (USA)	60	37	3
Oax 07	San Martín Lachilá	0	93	7	Ver 01	Chicontepec	0	0	0
Oax 08	Zenzontepec	0	93	7	Ver 02	Los Migueles	53	47	0
Oax 10	San Martín Lachilá	0	93	7	Ver 04	Cerro Verde	20	73	7
Pue 01	Abundio García	0	0	0	Ver 05	Tlahuasime-Papantla	77	23	0
Pue 02	Xicotepec	33	57	10	Ver 06	Papantla	43	57	0
Pue 04	Cuetzalan	0	87	13	Ver 08	Tuxpan	43	57	0
Qro 02	Higuerillas	0	0	0	Ver 09	Tuxpan	47	53	0
Qro 03	Tolimán	20	63	17	Ver 10	Tuxpan	100	0	0
Qro 04	El Patol	0	100	0	Ver 11	Cazones	0	0	0
Qro 07	Jalpan de Serra	87	13	0	Ver 12	Jilotepec	0	0	0

ST = Semillas sin tinción; SPT= Semillas parcialmente teñidas; STT = Semillas totalmente teñidas.

Prueba de germinación

Los porcentajes de germinación observados en las semillas tratadas con ácido giberélico AG₃, (Cuadro 2.3), muestra que 20 accesiones germinaron en 100 %, grupo en el que se ubican las tres accesiones de Aguascalientes, las dos de Nayarit, una de Michoacán, cuatro de Oaxaca, dos de Puebla, una de Querétaro, cuatro de Sonora y dos de Veracruz. Las semillas de otras 16 accesiones germinaron entre 80 y 90 %, 9 accesiones tuvieron germinaciones entre 50 y 70 %, 2 entre 10 y 30 % y finalmente hubo una accesión en la que no se logró la germinación. El inicio de la germinación en las semillas tratadas con AG₃ fue a partir de los 3 días, pero algunas semillas comenzaron a germinar hasta 15 días después de iniciada la prueba.

En contraste, las semillas testigo (agua destilada) mostraron porcentajes de germinación muy bajos. En este tratamiento solo una accesión (Oax 10) con germinación de 100 %. Dos accesiones germinaron entre 60 y 70 %, 10 germinaron entre 20 y 40 %, 11 entre 9 y 14 % y 25 accesiones no germinaron. Lo anterior indica que el tratamiento con AG₃ es eficaz para elevar el porcentaje de germinación en chile Piquín. El inicio de la germinación en las semillas tratadas con agua destilada, en las precoces ocurrió a los 4 días, pero las tardías demoraron hasta 21 días.



Según Hernández-Verdugo *et al.* (1998 y 2001), la variación en la germinación de chiles silvestres podría deberse a una mayor impermeabilidad en la cubierta seminal, que conduce a una menor o nula germinación si no se aplica ningún tratamiento pre-germinativo. Por su parte, Leubner-Metzger (2003) indicaron que en los chiles silvestres la germinación está fuertemente condicionada por la absorción de agua y oxígeno a través de la cubierta seminal, y que la variación en dureza e impermeabilidad de la capa cerosa de las semillas pueden influir en el grado de germinación de las diferentes poblaciones. Lo reportado por los autores se observó en este experimento con las semillas que no fueron tratadas, ya que la mayoría no germinaron.

Cuadro 2.3. Prueba de germinación en semillas de 48 accesiones de chile Piquín var. *glabriusculum*.

ACC.	IGAD (días)	GAD (%)	IGAG ₃ (días)	GAG ₃ (%)	ACC.	IGAD (días)	GAD (%)	IGAG ₃ (días)	GAG ₃ (%)	
Ags01	14	10 ef ± 10	5	100 a ± 0	Qro08	10	13 ef ± 11.5	9	70 a, d ± 10	
Ags02	0	0 f ± 0	5	100 a ± 0	Qro09	9	10 ef ± 10	7	93 a ± 11.5	
Ags03	0	0 f ± 0	5	100 a ± 0	Qro10	16	13 ef ± 5.8	9	70 a, d ± 10	
Dur01	0	0 f ± 0	15	10 e, f ± 10	Qro11	0	0 f ± 0	13	73 a, c ± 5.8	
Hgo01	0	0 f ± 0	7	90 a ± 10	Sin01	0	0 f ± 0	9	70 a, d ± 10	
Mich01	16	70 b ± 20	3	100 a ± 0	Sin02	0	0 f ± 0	9	80 ab ± 10	
Nay01	0	0 f ± 0	7	100 a ± 0	Sin03	0	0 f ± 0	9	53 b, d ± 5.8	
Nay02	14	60 bc ± 20	3	100 a ± 0	Sin05	22	20 d, f ± 10	9	90 a ± 0	
Oax01	0	0 f ± 0	9	87 ab ± 5.8	Son01	0	0 f ± 0	5	100 a ± 0	
Oax02	0	0 f ± 0	11	37 d, e ± 11.5	Son02	0	0 f ± 0	5	100 a ± 0	
Oax03	9	20 d, f ± 10	5	100 a ± 0	Son03	0	0 f ± 0	9	100 a ± 0	
Oax04	22	10 ef ± 0	7	83 ab ± 15.3	Son04	22	10 ef ± 10	7	100 a ± 0	
Oax05	14	10 ef ± 10	7	100 a ± 0	Son05	10	23 d, f ± 5.8	11	80 ab ± 10	
Oax06	0	0 f ± 0	9	73 a, c ± 25.2	Tuc01	14	40 cd ± 10	7	100 a ± 0	
Oax07	20	23 d, f ± 5.8	5	70 a, d ± 52	Ver01	0	0 f ± 0	5	100 a ± 0	
Oax08	0	0 f ± 0	3	100 a ± 0	Ver02	0	0 f ± 0	5	83 ab ± 5.8	
Oax10	4	100 a ± 0	3	100 a ± 0	Ver04	0	0 f ± 0	7	90 a ± 17.3	
Pue01	0	0 f ± 0	9	100 a ± 0	Ver05	6	23 d, f ± 15.3	15	53 b, d ± 15.3	
Pue02	22	20 d, f ± 20	7	90 a ± 0	Ver06	0	0 f ± 0	7	80 ab ± 10	
Pue04	4	40 cd ± 17.3	7	100 a ± 0	Ver08	6	40 cd ± 10	7	93 a ± 5.8	
Qro02	14	10 ef ± 0	9	93 a ± 5.8	Ver09	0	0 f ± 0	0	0 f ± 0	
Qro03	9	30 de ± 10	7	93 a ± 11.5	Ver10	0	0 f ± 0	5	100 a ± 0	
Qro04	22	10 ef ± 10	11	90 a ± 0	Ver11	6	10 ef ± 0	11	83 ab ± 5.8	
Qro07	0	0 f ± 0	9	43 c, e ± 5.8	VER12	6	13 ef ± 5.8	5	73 a, c ± 5.8	
PROMEDIO AD = 13 %		DMS =25.52755		PROMEDIO AG3 = 83 %		DMS = 36.24354				

GAD= Inicio de germinación agua destilada; GAD= Germinación agua destilada; GAG₃= Germinación ácido giberélico.

Al comparar los resultados de las pruebas de viabilidad y de germinación, se observó que las semillas tratadas con AG₃ cuya germinación fue de 80 a 100 %, apenas mostraron tinción parcial en la prueba de tetrazolio, e incluso las semillas de una accesión no mostraron tinción alguna y sin embargo germinaron a 100 %. Es decir, que el tratamiento con AG₃ mejoró sensiblemente la viabilidad de los embriones, o que la prueba de tetrazolio no es muy confiable para determinar dicha viabilidad en esta variedad.

Prado-Urbina *et al.* (2015) evaluaron la germinación de semillas de chiles silvestres con diferentes tratamientos pre-germinativos, y encontraron que las semillas tratadas con AG₃ a 5000 ppm (mg L⁻¹) durante 24 horas, así como la hidrotermia, aumentaron la germinación a 92 %. Reyna (2005) también trató semillas de chile Piquín procedentes de Coahuila y Nuevo León con AG₃ a 5000 ppm a una temperatura de 25° a 30 °C, y registró 47 % de germinación, con inicio a los 16 los días. Ramírez (2001) también utilizó AG₃ a 5000 ppm y obtuvo un de 60 a 80 %, variación que atribuyó a la calidad del fruto en función del sitio de donde se obtuvo. Federico (2005) aplicó Cyto-gibb (10 % de AG₃, micronutrientes y 3 % de ácidos húmicos) a razón de 5000 ppm, y también obtuvo de 60 a 80 % de germinación en semilla de chile Piquín. En este análisis se obtuvieron mayores porcentajes de germinación en comparación con los autores mencionados.

Cano-Vázquez *et al.* (2015) evaluaron 16 colectas de chile Piquín procedentes de siete estados de la República Mexicana, y en ellas descubrieron que ni la cubierta seminal ni el endospermo fueron limitantes para impedir el paso de agua al interior de la semilla, de modo que los problemas de germinación de esta especie podrían deberse a la latencia fisiológica. La germinación en agua de esas 16 colectas tuvo una variación de 0 a 16 %, pero con el tratamiento de AG₃ la germinación aumentó notoriamente en 14 de las 16 colectas, a diferencia de otros tratamientos con peróxido de hidrogeno y nitrato de potasio.

En este estudio se observó que las semillas tratadas con AG₃ a 5000 ppm tuvieron una germinación de 0 a 100 % mientras que en las semillas del testigo (agua destilada) la germinación fluctuó de 0 a 40 %, con excepción de tres colectas Nay 02, Mich 01 y Oax 10 que lograron germinar en 60, 70 y 100 %, respectivamente. Esto puede deberse a diversos grados de latencia de las semillas, al lugar de procedencia, tipo de secado del fruto e incluso al tiempo de almacenamiento. Cabe mencionar que 45 % de las accesiones son de procedencia silvestre, 17 %



provinieron de huertos de traspatio, 19 % adquiridas en mercados locales, y 19 % se colectaron directamente de parcelas cultivadas con chile Piquín.

1.6 CONCLUSIONES

En la prueba de viabilidad con cloruro de tetrazolio a 0.1 %, las semillas de la mayoría de accesiones se tiñeron parcialmente, sugiriendo incapacidad de germinar. No obstante, la prueba de germinación en agua destilada arrojó porcentajes de 0 a 40 %, y tres accesiones lograron germinar en más de 50 %.

El tratamiento con AG₃ aumentó las tasas de germinación desde 10 a 100 %, con excepción de la colecta Ver 09 (Tuxpan) que no germinó en ningún caso y cuya procedencia fue de mercado; además, al momento del estudio la semilla de esta accesión ya tenía 4 años de estar almacenada.

De las 48 accesiones evaluadas, 43 lograron germinar y por ello pudieron ser utilizadas después para su establecimiento y crecimiento en invernadero.

1.7 LITERATURA CITADA

Araiza, L. N., E. Araiza L., y M. Martínez J. G. 2011. Evaluación de la germinación y crecimiento de plántula de chiltepín (*Capsicum annuum* L variedad glabriusculum) en invernadero. Rev. Colombiana de Biotecnología 13(2):170-175.

DOI: [10.15446/rev.colomb.biote](https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote)

Azcón, B. J., Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. M; MCGRAW HILL: Interamericana de España, S.A.U. Edición Universidad de Barcelona. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon.pdf>

Black, M., Bewley J. D. 2000. Seed technology and its biological basis. 419 p. Sheffield: Sheffield Academic Press. DOI: 10.1006/anbo.2000.1328

Bradford, K. J. 2004. Seed Production and Quality. 1st edition. Department of Vegetable Crop and Weed Science. University of California. Davis, CA. USA. 134 p.

Cano-Vázquez, A., López-Peralta C., Zavaleta-Mancera, H., Cruz-Huerta, N., Ramírez-Ramírez, I., Gardea-Bejar, A., González-Hernández, V. 2015. Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). Botanical Sciences 93 (1):1-10.

<https://dx.doi.org/10.17129/botsci.138>

Cano-Vázquez, A. 2013. Germinación en semilla de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*). Tesis de Maestría en Recursos Genéticos y Productividad, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 7980 pp. <https://es.scribd.com/document/361499864/Cano-Vazquez-a-MC-Fisiologia-Vegetal-2013>

De la Rosa, M., Arce L., Villarreal J., Ibarra, L., y Lozano J. 2012. Germinación de semillas de chile simojovel (*Capsicum annuum* L.) previamente expuestas a NaCl y ácido giberélico. Phytón (Buenos Aires) 81: 165-168.

<https://biblat.unam.mx/es/revista/phyton/articulo/germinacion-de-semillas-de-chile-simojovel-capsicum-annuum-l-previamente-expuestas-a-nacl-y-acido-giberelico>

Federico, A. G. 2005 Promoción de la germinación de la semilla de chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare* Dierb) III Encuentro Nacional Académico de la Educación Tecnológica Agropecuaria “El Desarrollo Sustentable de la Educación Tecnológica Agropecuaria, reto de Calidad y Pertinencia” Guadalajara, Jalisco.

- González-Cortés, N., R. Jiménez V., E. Cristel. G. B., E. Silos H., y E. Payro de la Cruz. 2018. Germinación del chile amashito (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) en el sureste mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 11. p. 2211-2218. <https://dx.doi.org/10.29312/remexca.v0i11.800>
- Hernández-Verdugo, S., R.G Guevara-González., R.F Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yañez, Oyama K. 1998. Los parientes silvestres del chile (*Capsicum spp.*) como recursos genéticos. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 62:171-181. https://www.researchgate.net/profile/Rafael_Rivera-Bustamante/publication/224806819_Los_parientes_silvestres_del_chile_Capsicum_spp_como_recursos_geneticos/links/00b49517f1371d137c000000/Los-parientes-silvestres-del-chile-Capsicum-spp-como-recursos-geneticos.pdf
- Hernández-Verdugo, S., Oyama K, C. Vázquez-Yañez. 2001. Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in México. Plant Ecology 155: 245-257.
- Hernández, V. S. 2011. Los parientes silvestres del chile: su importancia biológica y cultural. In: El Chile. Protagonista de la independencia y la revolución. K. Richterich (Coord. Edit.). Fundación Herdez. México, D.F. pp:21-26. https://www.researchgate.net/publication/293101252_In_situ_morphological_diversity_of_wild_peppers_Capsicum_spp_in_Tabasco_Mexico
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria). 2002. Tecnología para incrementar germinación y conservar especies silvestres de chile piquín. Ficha tecnológica por sistema producto chile piquín. México. Recuperado de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1013/26.pdf?sequence=1>
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. International rules for seed testing. Seed Science and Technology 27 (suppl.). <https://www.seedtest.org/upload/cms/user/STI132Oct2006.pdf>
- Leubner-Metzger, G. 2003. Functions and regulation of β -1-3-glucanases during seed germination, dormancy release and after-ripening. Seed Science Research 13:17-34. DOI: <https://doi.org/10.1079/SSR2002121>
- Medina-Martínez, T., H. Villalón-Mendoza., J. M Hernández P., G. Sánchez-Ramos., y S. Salinas-Hernández. 2014. Avances y perspectivas de investigación del chile piquín en Tamaulipas, México. Ciencia UAT. 4(4):16-21. <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/249>

- Prado-Urbina, G., L. C. Lagunes-Espinoza., E. García-López., C. C. Bautista-Muñoz., W. Camacho-Chiu., F. Mirafuentes G., V. H. Aguilar-Rincón. 2015. Germinación de semillas de chiles silvestres en respuesta a tratamientos pre-germinativos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. Germinación de chiles silvestres 2(5):139-149. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000200002&lng=es&tlng=es.
- Ramírez, M. M. 2001. Inducción de la germinación en semilla de chile piquín. 13° Encuentro de Investigación Científica y Tecnológica del Golfo de México (Memoria). p. 31.
- Rodríguez del Bosque, L. A., M. Ramírez M., y O. Pozo C. 2003. El cultivo del chile piquín bajo diferentes sistemas de producción en el noreste de México. In: Memoria del 1er. simposio regional de chile piquín: avances de investigación en tecnología de producción y uso racional del recurso silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Publicación especial núm. 26. 45 p.
- Sponsel, V. M., Hedden P. 2004 Gibberellin biosynthesis and inactivation. In PJ Davies, ed, *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp: 63–94

CAPÍTULO II. TOLERANCIA AL FRÍO EN SEMILLAS DE CHILE PIQUÍN

2.1 RESUMEN

El estrés por frío afecta en gran medida la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que actualmente se aplican diversas técnicas para determinar los rangos de temperatura que pueden ser tolerados por dichas plantas. En esta investigación se evaluó el efecto de las bajas temperaturas en la germinación de semillas de Chile Piquín. Las colectas utilizadas fueron de los estados de Chiapas, Oaxaca, Nayarit, Querétaro, Veracruz, Hidalgo, Durango, Puebla, Aguascalientes, Sonora, Sinaloa, y EE.UU. Las semillas fueron tratadas previamente con AG₃, y luego se sometieron a 5 ciclos bajo una temperatura de 3 °C por 4 horas. Los resultados mostraron que las semillas pre-tratadas con AG₃ tuvieron más altas tasas de germinación, en contraste con las semillas que no tuvieron este pre-tratamiento y presentaron bajas tasas de germinación, como en las accesiones Son, Sin, Dur y Chi, que en algunos casos desde la aplicación del primer ciclo de frío su germinación se vio afectada. Por su parte, las semillas de Arizona y Oaxaca mostraron buena germinación con y sin pre-tratamiento con AG₃, por lo que se consideran tolerantes a bajas temperaturas.

Palabras clave: Chile Piquín, germinación de semillas, tolerancia al frío, ácido giberélico.

COLD TOLERANCE IN CHILE PIQUÍN SEEDS

2.2 ABSTRACT

Since cold stress may affect greatly the seed germination and plant growth and development, various techniques are currently applied to find the temperature ranges that can be tolerated by plants. In this research we evaluated the effect of low temperatures on the germination of Piquín chili seeds. The collections tested were from the states of Chiapas, Oaxaca, Nayarit, Querétaro, Veracruz, Hidalgo, Durango, Puebla, Aguascalientes, Sonora, Sinaloa, and one from USA. Seeds were previously treated with AG₃, and subsequently subjected to 5 cold consecutive cycles at 3 °C for 4 hours. The seeds pretreated with AG₃ had higher germination rates than the untreated seeds, showing significant gains in germination. The sensitive accessions from Son, Sin, Dur and Chi, presented very low germination rates, even when submitted to only the first cold cycle. On the other hand, the seeds of Arizona and Oaxaca showed a high germination with and without pre-treatment with AG₃, so they can be considered as cold tolerant seeds to low temperatures.

Key words: Piquín chili, seed germination, cold tolerance, gibberellic acid.

2.3 INTRODUCCIÓN

El chile Piquín (*Capsicum annuum* L. Var *glabriusculum*), es considerado el ancestro de los chiles cultivados que se comercializan en la actualidad. Su importancia radica en las características organolépticas que poseen, principalmente su picor, sabor, olor y a que su consumo no irrita el tracto digestivo. (Medina *et al.*, 2005). Los frutos, que se comercializan ya sea en estado fresco, seco o encurtido, proviene principalmente de recolecciones en zonas montañosas de forma estacional, sobre todo después del periodo de lluvias. Hasta el momento, existen pocas siembras comerciales debido a que se carece de tecnologías de producción adecuadas, además del bajo porcentaje de germinación provocado principalmente por la latencia de las semillas (Rodríguez, 2004).

La temperatura es un factor de suma importancia en el proceso de germinación, debido a que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación; asimismo, afecta la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes. Además, interviene en el intercambio gaseoso, la producción y gasto de carbohidratos y los reguladores del crecimiento, entre otros (Iralu y Upadhaya, 2018). Como es sabido, las semillas solo germinan dentro de un cierto rango de temperatura, la cual varía de una especie a otra. La temperatura mínima es aquella donde la germinación no se produce, y la máxima aquella por la cual se anula igualmente el proceso. La temperatura óptima por lo tanto, es la intermedia entre ambas y se considera como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible (García-Paredes *et al.*, 2017; Kheloufi *et al.*, 2017).

En la mayoría de las especies vegetales de origen templado, al descender la temperatura disminuye la velocidad de las reacciones químicas, por lo que su equilibrio cambia hacia la liberación de energía. Esto repercute en una menor disponibilidad de energía metabólica, lo cual restringe la nutrición y la toma de agua. Es por ello que se genera una menor biosíntesis y asimilación, finalizando en una detención del desarrollo (Larcher, 1995). Cuando el frío se presenta por corto tiempo o no es muy severo, sólo se ven afectadas algunas funciones. No obstante, si el período de frío continúa se producen perturbaciones irreversibles sobre todo a nivel

de permeabilidad de membranas. El principal efecto de las bajas temperaturas observados a nivel celular es la transición del componente lipídico de las membranas de fluido a estado de gel, por lo cual su selectividad se reduce de manera importante. La consecuencia es el intercambio descontrolado de metabolitos e iones entre los compartimentos celulares y sus contenidos son vaciados. Lo anterior favorece la respiración anaeróbica, acumulándose intermediarios y productos tóxicos en el citosol, lo que finalmente ocasiona la muerte celular.

Por otra parte, se sabe que la alternancia de temperaturas entre el día-noche actúan positivamente sobre las etapas de germinación en algunas variedades de plantas. Por ello el óptimo térmico de la fase de germinación y el de la fase de crecimiento no tienen por qué coincidir forzosamente. De acuerdo a lo anterior, unas temperaturas estimularían la fase de germinación y otras las fases de crecimiento (Finch-Savage y Bassel, 2016). Esta alternancia de temperaturas suele variar de acuerdo a la estación del año, la latitud y también en función del microambiente bajo el cual se ha desarrollado la planta (Samaniego-Gómez., 2016).

La producción de Chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) es principalmente en forma silvestre y en México se distribuye de manera importante en zonas de clima templado, por lo que una disminución en la temperatura podría afectar o beneficiar el proceso de germinación. Para determinar qué tan tolerante al frío es una planta, se utilizan técnicas y procedimientos, como la estratificación o almacenamiento a bajas temperaturas. Lo cual otorga una aproximación a lo que puede ocurrir en situaciones estresantes como cuando bajan las temperaturas. La técnica consiste en someter las semillas a una temperatura baja por determinado tiempo y posteriormente llevarlas a temperatura normal de germinación (Lewak (1981; Cetinbas, 2006). El objetivo del presente estudio fue evaluar la tolerancia a bajas temperaturas de algunas accesiones de Chile Piquín utilizando un tratamiento pre-germinativo con AG₃.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de chile Piquín extraídas de frutos colectados en 11 estados de la República Mexicana (Chiapas, Oaxaca, Nayarit, Querétaro, Veracruz, Hidalgo, Durango, Puebla, Sonora, Sinaloa y Aguascalientes), así como una de Arizona, USA. Las accesiones y su procedencia se muestran en el cuadro 3.1. Después de ser extraída la semilla, se lavó y desinfectó con Benlate y Microdyn®, de acuerdo a la metodología propuesta por Cano (2013). La unidad experimental correspondió a una caja de Petri con 10 semillas y tres repeticiones. Las semillas se dividieron en dos grupos; al primer grupo se le aplicó un pre-tratamiento con AG_3 5 g L^{-1} por 24 horas (Cano, 2013) y al otro grupo se le dio tratamiento con agua destilada, por el mismo periodo de 24 h. Luego se aplicaron 5 ciclos de frío a $3 \text{ }^\circ\text{C}$ por 4 h. y enseguida se incubaron a 30°C junto con los testigos. Los ciclos de frío se aplicaron en 5 ciclos sucesivos cada uno de 24 h (24, 48, 72, 96 y 120), para que fuera acumulativo. La germinación de las semillas se evaluó durante 22 días y al final se registró el porcentaje de germinación en cada ciclo de frío. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 3.1 Procedencia de frutos de chile piquín utilizados en la prueba de frío.

ID	Estado	Localidad	Procedencia
Chi 01	Chiapas	Comalapa	Silvestre
Oax 01	Oaxaca	San José de las Flores	Traspatio
Tuc 01	Arizona	Tucson	Silvestre
Nay 01	Nayarit	El Jicote	Parcela
Qro 09	Querétaro	Colon	Silvestre
Ver 03	Veracruz	Rancho Nuevo	Silvestre
Hgo 02	Hidalgo	Papatlatla	Mercado
Dur 01	Durango	Durango	Mercado
Pue 01	Puebla	Xilotepec	Silvestre
Son 04	Sonora	Huepac	Silvestre
Sin 03	Sinaloa	La rondana	Silvestre
Ags 01	Aguascalientes	Aguascalientes	Mercado
Son 06	Sonora	Banamichi	Silvestre

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran efectos significativos ($P \leq 0.05$) del frío y del AG₃ (Cuadro 3.2). Por ejemplo, seis accesiones Chi 01, Ver 03, Dur 01, Son 04, Sin 04 y Son 06 redujeron notoriamente su germinación por efecto del frío acumulado durante cinco ciclos (de éstas, las últimas cuatro accesiones no pudieron germinar por efecto del frío). Las otras 7 colectas obtuvieron porcentajes de germinación iguales que el testigo sin frío, indicando que tienen tolerancia al frío. Con el pre-tratamiento de AG₃, las semillas de Ags 01, Ver 03, Dur 01, Son 04, Sin 03, Ags 01 y Son 06 lograron superar la germinación con frío, lo que sugiere que el AG₃ les ayuda a tolerar el frío; en las otras 6 accesiones el AG₃ no mejoró significativamente la germinación en condiciones de frío. Es decir, hay diferencias genéticas notorias entre accesiones en cuanto a respuesta al AG₃ y al frío.

Cuadro 3.2 Porcentaje de germinación en semillas con y sin tratamiento de AG₃ y con 5 ciclos acumulados de frío a 3 °C.

Acc.	Germinación del Testigo (sin frío ni AG ₃)			Germinación con Frío (T = 3 °C)			Germinación con Frío + AG ₃ (T = 3 °C)		
Chi 01	18.5	bd	± 4.1	3.1	b	± 5.0	23.3	a	± 12.7
Oax 01	99.9	a	± 19.9	79.9	a	± 20.4	90.4	a	± 11.4
Tuc 01	100.0	a	± 32.5	84.1	a	± 30.7	92.9	a	± 17.0
Nay 01	82.5	a	± 8.4	62.5	a	± 30.7	63.7	a	± 27.6
Qro 09	48.8	cd	± 17.4	39.3	a	± 19.7	52.1	a	± 17.2
Ver 03	18.5	b	± 5.2	4.4	b	± 3.9	64.9	a	± 18.8
Hgo 02	91.5	a	± 19.6	74.0	a	± 20.8	73.5	a	± 18.9
Dur 01	14.3	bd	± 3.5	0.0	b	± 0.0	16.1	a	± 11.2
Pue 01	63.3	bc	± 18.9	49.2	a	± 20.5	65.6	a	± 17.0
Son 04	9.2	bd	± 2.6	0.0	b	± 0.0	22.5	a	± 10.9
Sin 03	9.6	cd	± 2.5	0.0	b	± 0.0	15.7	a	± 7.7
Ags 01	16.5	d	± 6.0	8.9	b	± 6.9	28.9	a	± 7.8
Son 06	7.3	d	± 2.3	0.0	b	± 0.0	23.2	a	± 10.9

Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). G: Germinación. Los resultados son la suma de cinco ciclos de frío.

En el Cuadro 3.2 se presentan los porcentajes de germinación por ciclo de frío, con y sin tratamiento de ácido giberélico. Se observa que las accesiones de Oax 01 y Tuc 01 tratadas con

AG₃, no se vieron afectadas severamente por la acumulación de ciclos de frío. Sin embargo, en accesiones como Chi 01, Dur 01, Son 04, Sin 03, Son 06 y Ags 01, se observaron bajos porcentajes de germinación comparados con los testigos, es decir fueron menos tolerantes al frío.

Estos resultados pueden indicar que el ácido giberélico y la aplicación de bajas temperaturas (estratificación) podrían beneficiar la germinación en algunas accesiones. Al respecto, se ha reportado que la estratificación fría aumenta la síntesis de giberelinas y disminuye la concentración de inhibidores de germinación en las semillas, como el ácido abscísico (ABA) (Kulkarni et al. 2006). La exposición al frío degrada el ABA presente en las semillas a ácido faséico y dihidroxifaséico, que son compuestos inhibidores del metabolismo, lo que, a su vez, aumenta la relación GA₃/ABA, para que ocurra la germinación (Davies, 2004).

Por su parte, en las semillas sin tratamiento con AG₃, se observa nuevamente que las semillas de Oax 01 y Tuc 01 a pesar de haber bajado su porcentaje de germinación, fueron más tolerantes a la acumulación de frío que otras accesiones como Ags 01, Ver 03 y Chi 01, las cuales disminuyeron su porcentaje de germinación. Incluso algunas semillas como las de Dur 01, Son 04, Sin 03 y Son 06 fueron incapaces de germinar después de haber sido tratadas con frío.

Lo anterior indica que las semillas de algunas accesiones como Oax 01 y Tuc 01 podrían tener capacidad para tolerar y adaptarse a bajas temperaturas, o bien que las semillas que presentaron menor porcentaje de germinación tenían más latencia y posiblemente será necesario aplicar otros tratamientos para ayudar a su germinación. Este tipo de pruebas son importantes sobre todo si se quiere establecer el cultivo en este caso de Chile Píquin en campo, ya que las pruebas de germinación en frío no solo miden el porcentaje de semilla viable en una muestra, sino que también reflejan la capacidad de esas semillas para producir plántulas normales en condiciones de crecimiento inferiores a las óptimas.

La adaptación de las plantas a bajas temperaturas es una característica genética que no se manifiesta de forma consistente durante todo el ciclo de cultivo y se puede inducir a través del preacondicionamiento con temperaturas menores a 10 °C, fenómeno conocido como “aclimatación o respuesta de pre-acondicionamiento a bajas temperaturas”. Estos estudios ayudan a comprender mejor los procesos involucrados en este fenómeno, así como a identificar técnicas para la producción de plántulas (Thomashow, 2001; Moo-Muñoz *et al.*, 2016).



En evaluaciones realizadas anteriormente en semillas procedentes de los mismos lugares y bajo condiciones normales de temperatura (30°C), se obtuvieron porcentajes de germinación de 100 % para accesiones provenientes de Tucson y Sonora, en tanto que para la accesión de Sinaloa la tasa fue de apenas 50 %. Con esto se puede corroborar que las semillas se encontraban en buenas condiciones para germinar; sin embargo, las semillas de accesiones sensibles fueron afectadas por el frío aplicado.

2.6 CONCLUSIONES

La exposición a un solo ciclo de 4 horas de frío a 3° C impidió en forma absoluta la germinación de las semillas de chiltepín provenientes de los estados de Durango, Sinaloa y Sonora, sin tratamiento de AG₃.

Por su parte, las semillas provenientes de Tucson, USA y Oaxaca, México, sin pre-acondicionamiento con AG₃, fueron capaces de germinar aún después de recibir 5 ciclos de frío, lo que demuestra su tolerancia a bajas temperaturas.

Las semillas pre-tratadas con AG₃ presentaron un porcentaje de germinación relativamente mejor que las semillas no tratadas; es decir, la aplicación de tratamientos pre-germinativos con AG₃ revirtió parcialmente el efecto del frío en la germinación de semillas.

2.7 LITERATURA CITADA

- Cetinbas, M., F. Koyuncu. 2006. Improving germination of *Prunus avium* L., seeds by gibberellic acid, potassium nitrate and thiourea. *Horticultural Science (Prague)* 33 (3):119-123.
- Davies, P. 2004. *Plants hormones*. First Ed. Kluner Academic Publishers. (United States). 750 p.
- Finch-Savage, W. E., G. W. Bassel. 2016 Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany* 67: 567-591. DOI: 10.1093/jxb/er v490
- García-Paredes, J. D., L. E. Rodríguez-Navarro., A. Madueño-Molina., A. M. Hanan-Alipí., and J. I. Bojórquez-Serrano. 2017. Efecto de tratamientos pregerminativos en *Pithecellobium dulce*, *Leucaena leucocephala* y *Sesbania* spp. *Revista Bio Ciencias* 4(3): 202-211. <http://revista.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/237/269>
- Iralu, V., and Upadhaya, K. 2018. Seed dormancy, germination and seedling characteristics of *Elaeocarpus prunifolius* Wall. ex Müll. Berol.: a threatened tree species of north-eastern India. *New Zealand Journal of Forestry Science* 48(1): 16. <https://doi.org/10.1186/s40490-018-0121-y>.
- Kheloufi, A., Mansouri, L. M., and Boukhatem, F. Z. 2017. Application and use of sulphuric acid pretreatment to improve seed germination of three acacia species. *Reforesta* (3): 1-10. <https://dx.doi.org/10.21750/REFOR.3.01.25>.
- Kulkarni, M. G., S. G. Sparg., J. Van Standen. 2006. Dark conditioning, cold stratification and a smoke-derived compound enhance the germination of *Eucomis autumnalis* subsp. *autumnalis* sedes. *South African Journal of Botany* 72:157-162.
- Lewak, S. 1981. Regulatory pathways in removal of apple seed dormancy. *Acta Horticulturae* 120: 149-159.
- Moo-Muñoz, A. J., L. Latournerie-Moreno., L. L. Pinzón-López., O. J. Ayala-Garay., and Y. A. Tzec-May. 2016. Efecto de la madurez y secado de semilla de *Capsicum chinense* Jacq., en la germinación y calidad fisiológica de plántula. *Agroproductividad* 9(1). <http://132.248.9.34/hevila/Agroproductividad/2016/vol9/no1/9.pdf>.
- Samaniego-Gámez, B. Y., R. Garruña., J. M. Tun-Suárez., J. Kantun-Can., A. Reyes-Ramírez., and L. Cervantes-Díaz. 2016. *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. *Chilean Journal of Agricultural Research* 76: 409-416.

CAPÍTULO III. TAMAÑO Y CALIDAD DE FRUTOS DE CHILE PIQUÍN (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)

3.1 RESUMEN

Se analizó la variabilidad morfológica y bioquímica en frutos de 31 poblaciones de Chile Piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) procedentes de localidades de 10 estados de la República Mexicana, tanto en frutos colectados *in situ*, como en los cosechados de plantas crecidas en invernadero con fertirriego. Las variables morfológicas medidas en fruto fueron: largo, ancho, peso, número de semillas, índice de redondez (IR); y las variables bioquímicas de calidad fueron: acidez titulable (AT), pH, sólidos solubles totales (SST) e índice de madurez (IM). Además de los análisis de varianza y comparaciones de medias, se hizo un análisis de componentes principales y uno de conglomerados. Los análisis de calidad de fruto mostraron que los frutos colectados de campo tuvieron menor AT, mayor contenido de SST y mayor IM, en comparación con los frutos cosechados en invernadero, sin diferencias en pH. En contraste, en tamaño del fruto, los producidos en invernadero fueron más grandes y pesados que los colectados en campo, diferencia atribuible a que los frutos de invernadero estaban recién cosechados. El análisis de componentes principales (ACP) indicó que los dos primeros componentes explicaron 60 % de la variabilidad entre poblaciones, y que las variables distintivas para diferencias entre colectas y ambientes, fueron largo, ancho, IM, NS y acidez.

Palabras clave: Chile Piquín, morfología de fruto, calidad de fruto, ACP.

FRUIT SIZE AND QUALITY OF CHILE PIQUÍN (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)

3.2 ABSTRACT

The morphological and biochemical variability in fruits of 31 populations of Piquín chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) collected from localities of 10 states of the Mexican Republic was analyzed, both in fruits collected in situ as in fruits harvested from plants grown in greenhouse with fertigation. The morphological variables measured in fruit were: length, width, weight, number of seeds (NS), and roundness index (IR). The biochemical variables of quality were: titratable acidity (AT), pH, total soluble solids (TSS) and maturity index (MI). In addition to the analysis of variance and mean comparisons, analysis of principal components and of clusters were made. The quality variables showed that fruits collected from the field had lower AT, higher TSS content and higher MI, compared to fruits harvested in the greenhouse, without differences in pH. In contrast, the fruits produced in the greenhouse were larger and heavier than those collected in the field, a difference attributable to the fact that the greenhouse fruits were freshly harvested. The principal component analysis (PCA) showed that the first two components explained 60 % of the variability among chili populations, and the distinctive variables for differentiating among collections and environments, were fruit length, width, MI, NS and acidity.

Keywords: Piquín Chili, fruit morphology, fruit quality, PCA.

3.3 INTRODUCCIÓN

El chile es un importante condimento de la cultura gastronómica mexicana, de acuerdo con el SIAP (2010) el consumo promedio *per capita* es de 15 kg de chile al año, ya sea verde, seco, solo o combinado con otros ingredientes, al natural o procesado. Uno de los chiles preferidos en el país es el Piquín *Capsicum annuum* var. *glabriusculunum* (Cag), también conocido como Chiltepín y otros nombres locales, que se distribuye en la vertiente barlovento de las cadenas montañosas, desde Arizona en EUA y Baja California y Sonora hasta Chiapas por el Océano Pacífico y desde Tamaulipas hasta Yucatán y Quintana Roo por el Golfo de México y el Caribe (González Jara *et al.*, 2011).

El fruto de Cag es pequeño, generalmente de alto picor y se torna rojo al madurar. Esta especie es considerada como el ancestro silvestre de todas las formas de chiles cultivadas, como Jalapeño, Serrano, Ancho, Pasilla, Guajillo, de Árbol, y otros más (Montoya-Ballesteros *et al.*, 2010). Su sabor es agradable y característico para los consumidores, quienes lo describen como poco irritante, lo cual significa que la sensación de picor se desvanece rápidamente; y no es irritante al estómago (Bañuelos *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2006). Además, contiene vitaminas (A, C y B6, principalmente), así como antioxidantes, β -caroteno, flavonoides, anticancerígenos, antimicrobianos, pigmentos, saborizantes, aceites, carotenoides, oleorresinas y alcaloides con potencial insecticida (Rodríguez *et al.*, 2012; Lui *et al.*, 2013).

El chile Piquín llega a desplazar a otros tipos de chile por su agradable sabor y grado de picor. Su fruto alcanza hasta 40 veces el valor de los chiles Serranos y Jalapeños. Pero su cultivo comercial es escaso, debido en gran medida a la dificultad para germinar la semilla. Una de las graves amenazas para la conservación *in situ* de este invaluable recurso genético es la destrucción de la planta cuando es cosechado sin cuidado, así como la destrucción o fragmentación de su hábitat a causa de la incorporación de nuevas tierras a la agricultura y a la construcción de represas y carreteras (Almanza, 1993; Hernández, 2014). Los frutos de Cag se consumen tanto frescos como secos, y se usan en la elaboración de varios subproductos, por lo que son una fuente de ingresos económicos para los pobladores locales (Quintero, 2000).

Para medir la calidad del chile, las principales características son: color, picor y tamaño del fruto. Estas características pueden verse afectadas por factores genéticos y ambientales (clima, suelo, región, altura, etc). Las plantaciones de Cag que han logrado reproducirse de forma controlada también presentan problemas de manejo, y en algunos casos su picor, tamaño y forma se modifican mucho en comparación con el chile silvestre (Sandoval *et al.*, 2018).

La mayoría de estudios de diversidad morfológica y genética en Cag se han hecho *in situ* y en pocas localidades, por lo que su adaptabilidad a cambios ambientales ha sido poco estudiada; por ejemplo, se conoce poco de su comportamiento en campo de cultivo o bajo condiciones de invernadero (Ramírez *et al.*, 2018; Hernández-Verdugo *et al.*, 2012; Narez-Jiménez *et al.*, 2014; Alonso *et al.*, 2012; Villalón *et al.*, 2013).

Cano-Vázquez *et al.* (2015) reportaron diversos grados de latencia en semillas de Cag provenientes de varios estados de la República Mexicana y de Arizona, EE. UU., mantenidas en una colección que agrupa una mayor dispersión geográfica que otras colectas estudiadas. Sin embargo, cuando se evalúan directamente frutos procedentes de diferentes ambientes los datos incluyen tanto el efecto genotipo como el efecto ambiente, de modo que ambos efectos quedan confundidos al no poder ser cuantificados por separado. El efecto ambiente no solo se debe al suelo y clima, sino también al manejo postcosecha y almacenamiento de los frutos. Una forma de descontar la variación debida al factor ambiente, es cultivar los genotipos en un solo ambiente de crecimiento y con el mismo manejo de producción y postcosecha.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue valorar las características de tamaño (morfológicas) y de calidad en frutos provenientes, tanto de accesiones de chile Piquín colectadas en diferentes localidades y estados de la República Mexicana, como de los frutos cosechados de esas colectas cultivadas bajo condiciones protegidas de invernadero provisto con sistema hidropónico para fertirriego.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Manejo experimental

En este estudio se utilizaron 31 materiales de 10 estados de la República Mexicana (Cuadro 4.1). Los frutos colectados se obtuvieron de huertos de traspatio, parcelas comerciales, plantas silvestres, o fueron comprados en mercados o tianguis locales. Para comparar los frutos de las 31 accesiones sin tener la variación ambiental por sitios de procedencia, sus semillas fueron germinadas con base en las recomendaciones de Cano-Vázquez *et al.* (2015). Las plantas resultantes fueron crecidas en un invernadero de cubierta plástica provisto con sistema hidropónico, y sus características morfológicas fueron descritas por Ramírez-Ojeda (2017). Los frutos cosechados 18 meses después del trasplante fueron sometidos al mismo manejo pre- y postcosecha.

Tanto los frutos cosechados en invernadero como los recolectados o adquiridos en campo fueron medidos en el Laboratorio de Fisiotecnica Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en Texcoco, Estado de México, a 19° 29' N, 98° 52' O y una altitud de 2250 m.

La semilla sembrada se extrajo de los frutos colectados de cada accesión, que se lavó y desinfectó con la metodología propuesta por Cano-Vázquez *et al.* (2015). Las semillas se germinaron en charolas de 200 cavidades rellenas con una mezcla 1:1 de agrolita y turba, como sustrato. Cuando las plántulas tenían una altura de 7 cm, se trasplantaron a bolsas negras de 10 L rellenas con tezontle como sustrato, y se crecieron en condiciones de invernadero. El riego fue por goteo con la solución nutritiva Steiner (1961). Se dieron ocho riegos diarios con un minuto de duración, con una dosis inicial de 0.250 L por planta, que luego se incrementó según la creciente demanda hasta 1.2 L por planta.

Cuadro 4.1. Accesiones evaluadas (31) de chile Piquín y sus procedencias.

Acc.	Estado	Localidad	Procedencia
Ags 01	Aguascalientes	Aguascalientes	Mercado
Ags 02	Aguascalientes	CONAGUA	Traspatio
Ags 03	Aguascalientes	Aguascalientes	Parcela
Dur 01	Durango	Durango	Mercado
Hgo 01	Hidalgo	Tlamamala	Silvestre
Mich 01	Michoacán	La Piedad	Silvestre
Mich 02	Michoacán	Michoacán	Traspatio
Nay 02	Nayarit	ElJicote	Silvestre
Oax 01	Oaxaca	San José de las Flores	Traspatio
Oax 03	Oaxaca	Zaachila	Traspatio
Oax 05	Oaxaca	Zaachila	Traspatio
Oax 07	Oaxaca	San Martín Lachila	Mercado
Oax 10	Oaxaca	San Martín Lachila	Traspatio
Pue 01	Puebla	Xicotepec	Silvestre
Pue 04	Puebla	Cuetzalan	Parcela
Qro 01	Querétaro	Tolimán Xiti	Silvestre
Qro 02	Querétaro	Higuerillas	Silvestre
Qro 03	Querétaro	El Patol	Silvestre
Qro 04	Querétaro	El Patol	Silvestre
Qro 06	Querétaro	San Antonio Tolimán	Silvestre
Qro 07	Querétaro	Jalpan de Serra	Silvestre
Qro 09	Querétaro	Colón	Silvestre
Qro 10	Querétaro	Jalpan de Serra	Silvestre
Sin 05	Sinaloa	El Porvenir	Silvestre
Ver 01	Veracruz	Chicontepec	Mercado
Ver 04	Veracruz	Cerro verde	Parcela
Ver 06	Veracruz	Papantla	Parcela
Ver 08	Veracruz	Tuxpan	Parcela
Ver 09	Veracruz	Tuxpan	Mercado
Ver 11	Veracruz	Cazones	Mercado
Ver 12	Veracruz	Jilotepec	Silvestre

Variables morfológicas del fruto (tamaño y forma)

Las variables morfológicas que se midieron en los frutos fueron las señaladas en el manual de descriptores para *Capsicum spp.* del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, 1995). El largo del fruto se midió con un vernier electrónico Truper 14388® modelo CALDI-6MP (México), desde la punta hasta la base del pedúnculo. El ancho se midió en la parte ecuatorial del fruto con el mismo vernier. El peso se midió con una balanza analítica, marca Sartorius modelo

GMBH GOTTINGEN (Alemania) El número de semillas por fruto se contó en chiles abiertos longitudinalmente. Las variables: forma del fruto, tipo de epidermis y color del fruto y de la semilla se basaron en la escala del IPGRI (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Variables morfológicas determinadas en frutos de chile Piquín.

Característica	Código	Unidad de medida
Largo del fruto	LF	Milímetros (mm)
Ancho del fruto	AF	Milímetros (mm)
Forma del fruto	FF	Índice de redondez (L/A)
Peso del fruto	PF	Gramos (g)
Número de semillas por fruto	NSF	Promedio de 10 frutos
Tipo de epidermis	EP	Lisa = 1, semirrugosa = 2, rugosa = 3
Color de semillas	CS	Amarillo (paja) = 1, marrón = 2, negro = 3, otro = 4

Descriptores de frutos de chile según el Manual IPGRI para *Capsicum spp.* (1995).

Determinación de color

Se determinó el color de los frutos tanto recolectados en campo como cosechados en invernadero, utilizando un espectrofotómetro MiniScan EZ 4500L marca HunterLab (Hunter Associates Laboratory Inc., Reston, VA) provisto con una fuente de iluminación D65. Los parámetros medidos fueron L^* , a^* y b^* . El parámetro L mide la luminosidad o brillantez de la muestra; a mide la tonalidad del color verde a rojo y b las tonalidades de azul a amarillo (Minolta, 1994).

Variables bioquímicas del fruto (calidad)

La acidez titulable (AT) se determinó como porcentaje del ácido mayoritario en 5 g de muestra, mediante la técnica propuesta por la A.O.A.C (1990); el resultado se reportó en porcentaje (%) de ácido cítrico. El pH se midió con un potenciómetro digital (HI 2211, Hanna Instruments Inc., RU). Los sólidos solubles totales (SST) se midieron en una gota del jugo obtenido por maceración de frutos, mediante un refractómetro digital (ATAGO PR-100[®], Japón), cuyos valores se reportaron en grados Brix. Estas determinaciones se realizaron por triplicado. El Índice de Madurez (IM) se calculó con el cociente $IM = SST/AT$.

Diseño experimental y análisis de datos

Los 31 tratamientos (accesiones) se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones. Las plantas se colocaron en dos líneas de macetas a una distancia interna de 40 cm entre ellas, y un espacio libre de 1 m de cada lado de las dos líneas. Los datos registrados de cada variable medida se sometieron a análisis de varianza y a pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) cuando el factor genotipo tuvo efecto significativo ($P \leq 0.05$). Para estos análisis se usó el paquete estadístico InfoStat[®] (Di Rienzo *et al.*, 2008). Además, se hizo un análisis de componentes principales (ACP) con variables morfológicas (largo, ancho, peso y número de semillas) y con variables bioquímicas (acidez, pH, sólidos solubles totales e índice de madurez), para identificar a las variables de mayor importancia en la caracterización de frutos, y que tenían más variabilidad en las poblaciones estudiadas de Chile Piquín. El análisis de componentes principales (ACP) y el MANOVA se realizaron en SAS versión 9.4 y la gráfica de distribución con el paquete estadístico Minitab[®] version 18.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tamaño y forma del fruto

En promedio de las 31 colectas estudiadas, los frutos cosechados en invernadero fueron más grandes y produjeron más semillas que los colectados en campo o adquiridos en mercados (Cuadro 4.3). Los frutos cosechados en plantas cultivadas en invernadero con riego por goteo y fertilizadas con solución nutritiva, fueron 47 % más largos y 43 % más anchos que los frutos recolectados de plantas crecidas en campo; los frutos de invernadero también acumularon el doble de biomasa que los frutos colectados en campo, y produjeron 29 % más semillas por fruto. Estas diferencias entre ambientes de crecimiento se atribuyen a las condiciones favorables y protegidas del invernadero, en comparación con las condiciones de campo. En promedio, las colectas de Chile Piquín crecieron mejor y potencialmente pueden rendir más en invernadero que en campo, y sin variar su índice de redondez (cociente L/A de 2, aprox.).

Cuadro 4.3. Comparación morfológica de frutos de Chile Piquín colectados en campo vs. cosechados en invernadero (n = 124).

Ambiente	Largo (mm)	Ancho (mm)	IR (L/A)	Peso (g)	NSEM
Invernadero	14.4 ± 2.5	6.7 ± 2.0	2.5 ± 0.6	0.24 ± 0.1	19.27 ± 5.7
Campo	9.8 ± 1.4	4.7 ± 0.6	2.6 ± 0.8	0.12 ± 0.0	14.98 ± 5.3

En ambas condiciones de crecimiento se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las accesiones de Chile Piquín, en largo, ancho y peso del fruto, y en número de semillas. En campo el largo del fruto osciló entre colectas desde 2.9 mm a 17.3 mm, en tanto que en invernadero varió de 6 a 37 mm (Figura 4.1a). Entre accesiones procedentes de campo los frutos más largos fueron producidos por las accesiones Oax 10, Dur 01, y Mich 02, con 15.9, 17.0 y 17.3 mm, respectivamente. En invernadero los frutos más largos fueron los de Mich 02, Nay 02 y Oax 10, con 21.1, 21.5 y 37 mm. En cuanto al diámetro de los frutos de campo, se registraron medidas desde 1.5 mm (Hgo 01) hasta 8.4 mm (Oax 10), y diámetros desde 1.9 mm (Qro 03) hasta 23.2 mm (Oax 10) en frutos cosechados en invernadero (Figura 4.1b).

Sin embargo, la mitad de las accesiones evaluadas (15) modificaron poco el largo y ancho del fruto entre campo e invernadero, en contraste con la otra mitad (16 accesiones) que tuvo cambios significativos en el tamaño de fruto. Entre las accesiones estables en tamaño de fruto está la accesión Pue 04 que conservó el mismo largo y ancho del fruto en los dos ambientes, y las colectas Ver 06 y Ver 12 que mostraron cambios leves entre los dos ambientes de producción. En contraste, otras accesiones presentaron aumentos muy notorios en el tamaño del fruto al crecer en invernadero, como Oax 10, Mich 01 y Mich 02, al grado de que esos frutos cosechados en invernadero ya no se veían como los típicos frutos pequeños y redondos del chile Piquín.

En cuanto al peso de los frutos, todas las colectas de campo o adquiridas en mercados tenían frutos que pesaron menos de 270 mg excepto la colecta Mich 02 cuyo fruto pesó el doble, 540 mg. En los frutos cosechados en invernadero el peso máximo registrado fue de 1.2 g en la accesión Mich 02 (Figura 4.1c). El número de semillas por fruto en accesiones recolectadas de campo varió desde 6 semillas en Oax 05 hasta 49 semillas en Mich 02. Similarmente, en invernadero el número de semillas fluctuó desde 6 en Qro 09 hasta 50 en Mich 01 (Figura 4.1d).

El aumento en peso de los frutos de invernadero puede deberse a las condiciones en las que crecieron, ya que una mejor nutrición e hidratación de la planta entre otros aspectos, favorecen la acumulación de biomasa y la obtención de mejores características en los frutos. Al respecto, se sabe que no solo las condiciones de invernadero pueden favorecer la morfología de planta y fruto, como lo mencionan Rodríguez-del-Bosque (2003) y Jiménez-Leyva *et al.* (2017), quienes aplicaron inoculación micorrízica en plantas de chile Piquín. Los resultados indicaron un aumento de la altura y el ancho de la planta y rendimientos de 61 %, 56 % y 135 %, respectivamente, en relación con las plantas testigo no inoculadas.

En la biomasa del fruto resalta la accesión Mich 01 ya que en invernadero sus frutos fueron 10 veces más pesados que en campo, y produjeron el triple de semillas, aumentos que se asocian con los tamaños registrados de 5 y 3 veces en largo y ancho respectivamente. Las accesiones Nay 02 y Sin 05, también aumentaron notoriamente de tamaño en invernadero.

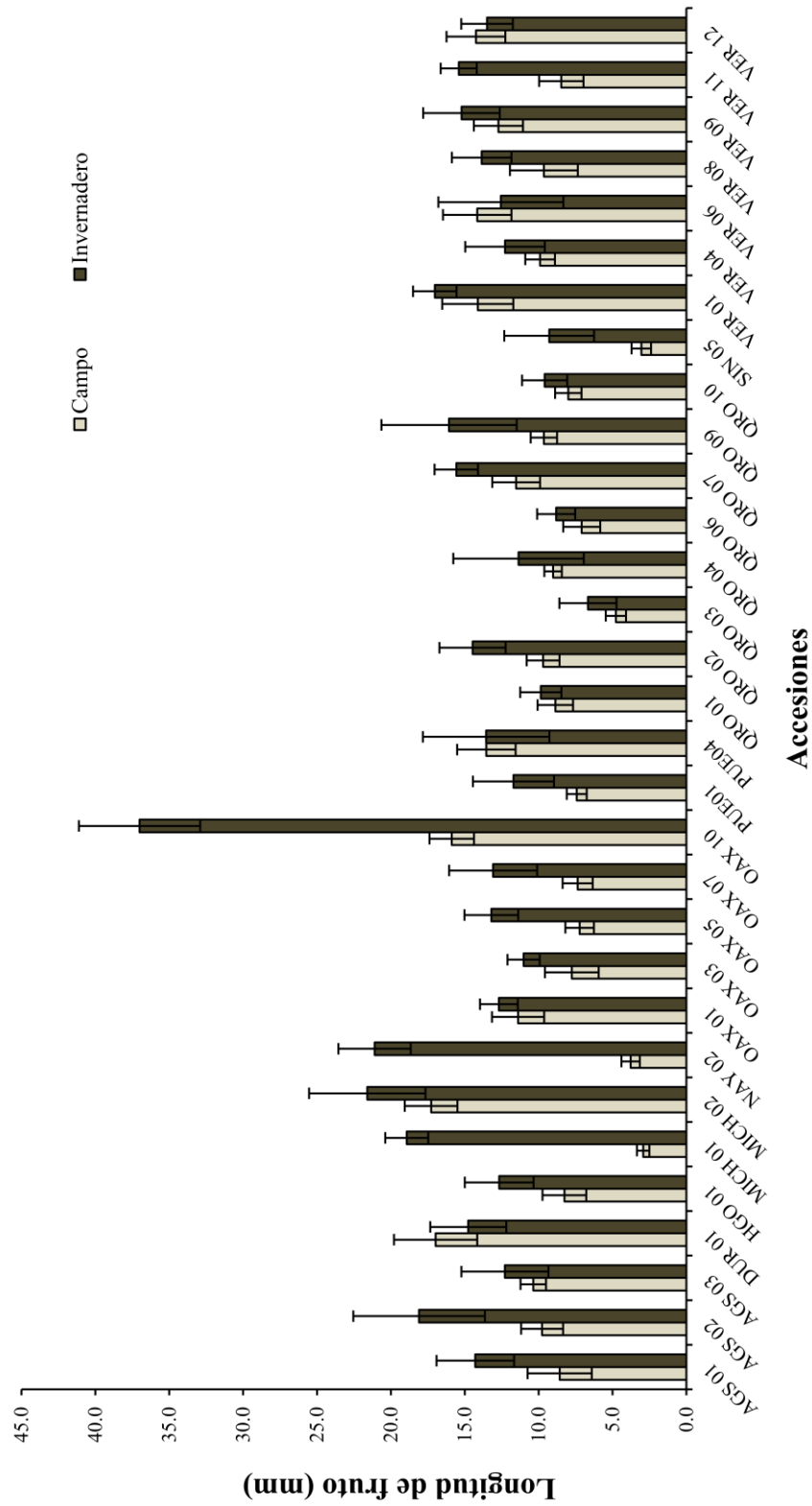


Figura 4.1a Determinación de la variable largo en frutos de chile Piquín, recolectados en campo y cosechados en invernadero.

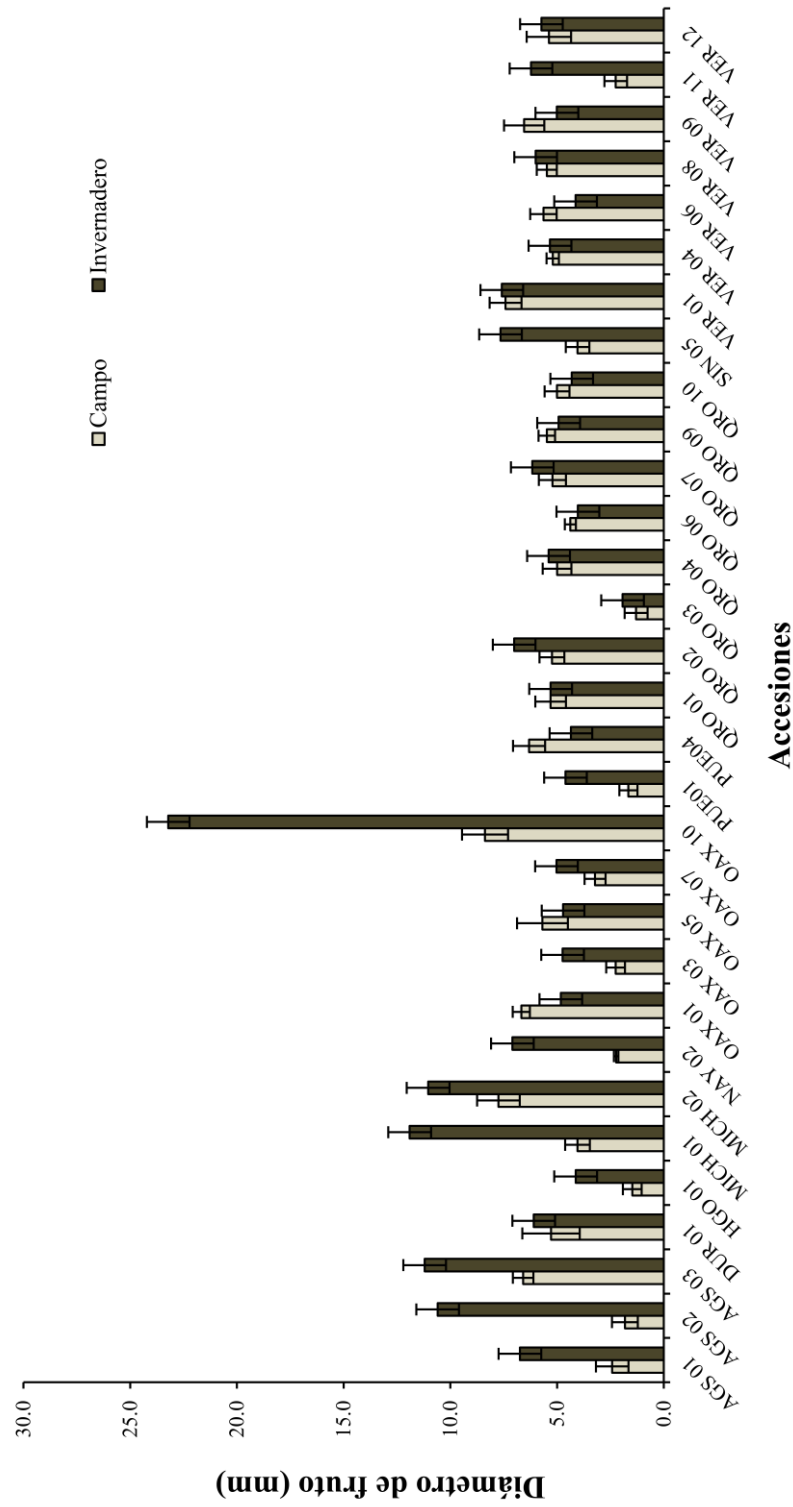


Figura 4.1b Determinación de la variable diámetro de fruto en accesiones recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.

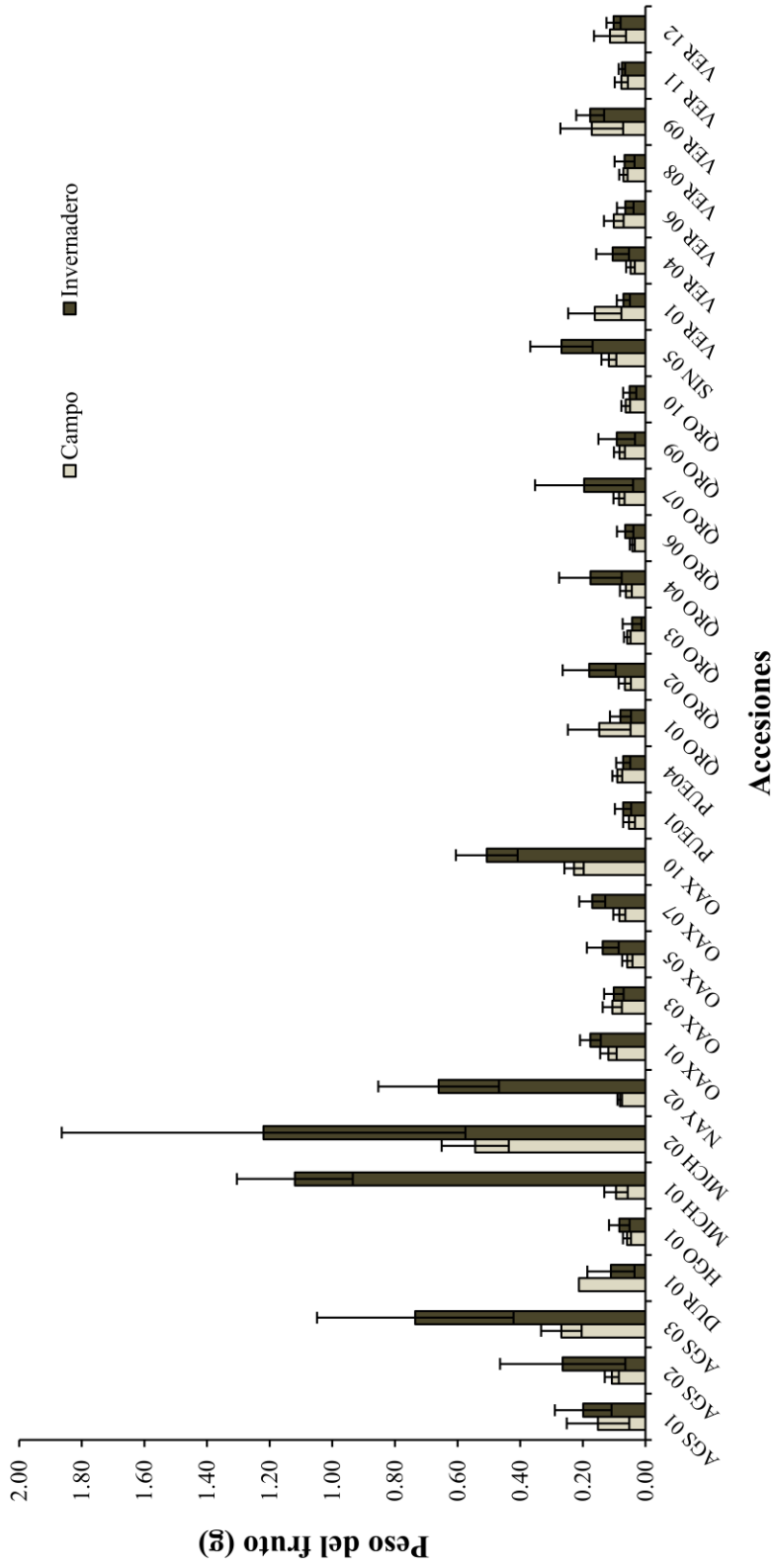


Figura 4.1c Determinación de la variable peso de fruto en accesiones recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.

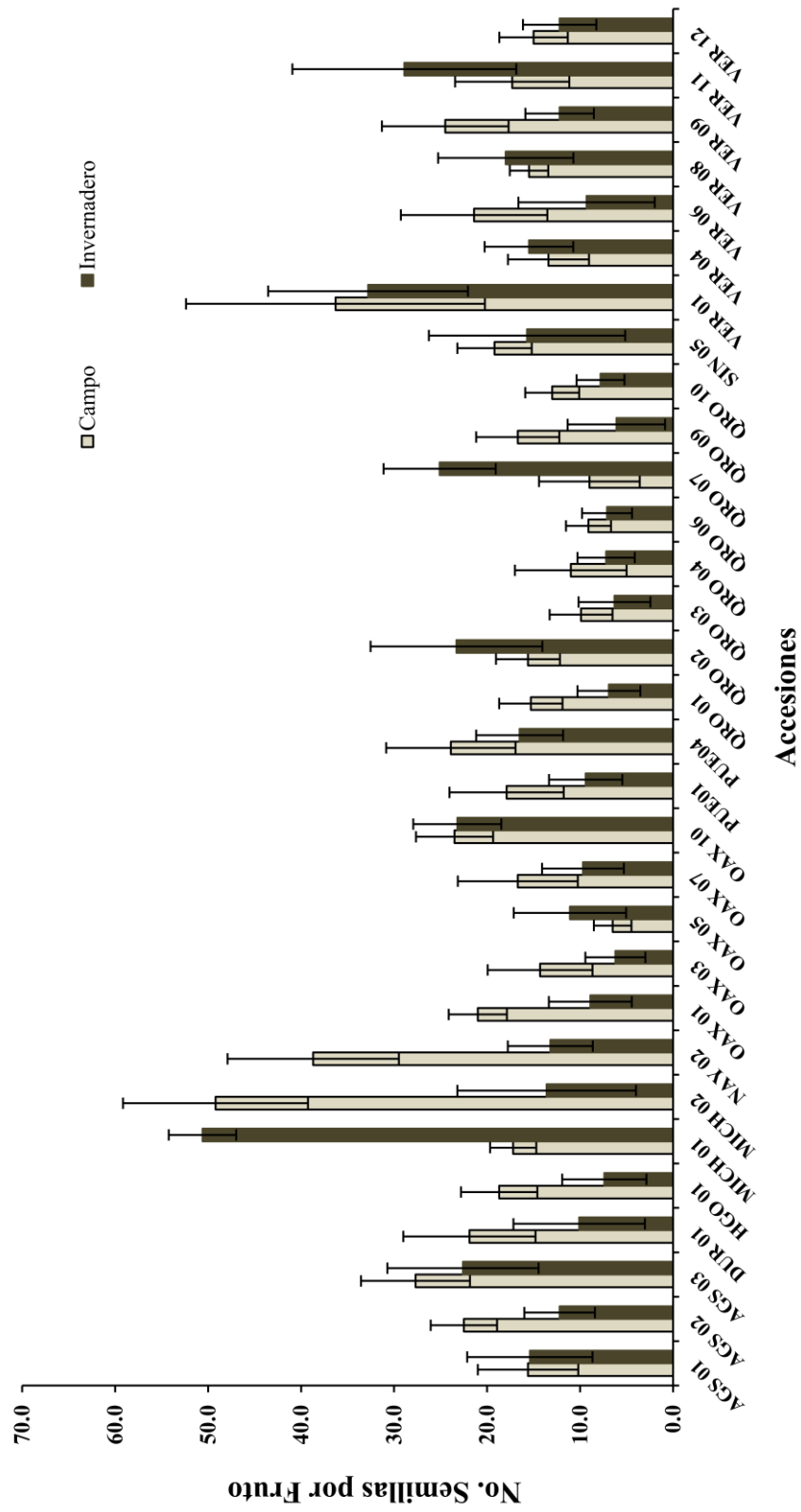


Figura 4.1d Determinación del número de semillas en frutos de chile Piquín, recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.

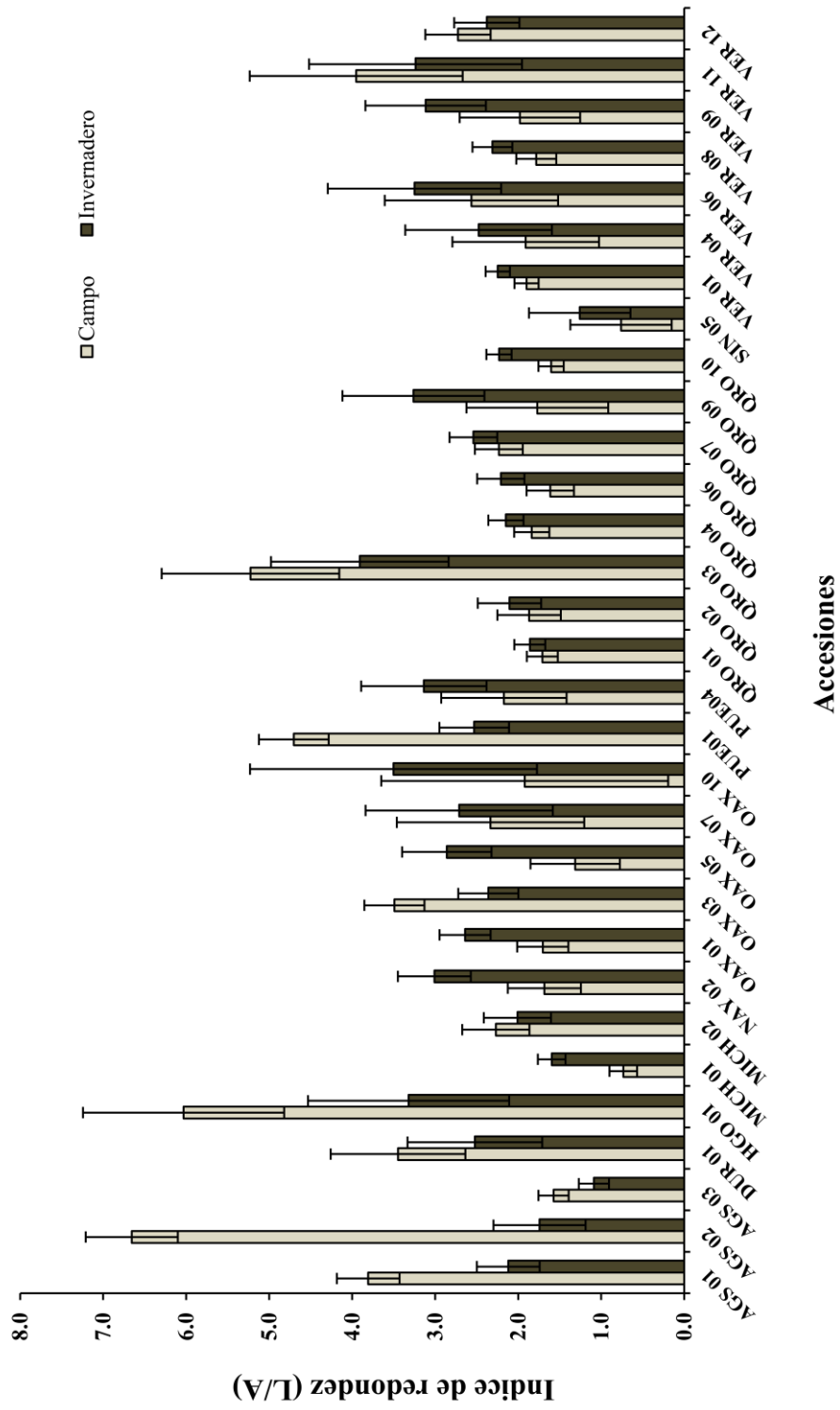


Figura 4.1e Determinación del índice de redondez en frutos de Chile Piquín, recolectados en campo y cosechados en invernadero.

En referencia a la forma del fruto determinada mediante el índice de redondez, 23 de las 31 colectas de campo aquí evaluadas los IR tuvieron valores entre 1 y 2, rango que los ubica como formas de redonda a ovalada, mismo rango que se registró en los frutos cosechados en invernadero de 19 colectas. Los frutos con IR de 3 o más, su forma sería de tipo cilindro, como ocurrió en 8 colectas de campo o mercado, y en 12 colectas crecidas en invernadero. En cinco accesiones se detectaron diferencias significativas en IR entre campo e invernadero, y en todas ellas los frutos de campo tuvieron mayores IR que los de invernadero; es decir, en estos casos el ambiente de invernadero les favoreció la forma redonda. Resaltan tres accesiones Ags 02, Hgo 01 y Qro 03 cuyos frutos fueron más redondos en invernadero que en campo (al bajar de 6.7 a 1.7, de 6.0 a 3.3, y de 5.2 a 3.9, en campo e invernadero, respectivamente). En invernadero las accesiones Hgo 01, Nay 02, Oax 10, Pue 04, Qro 03, Qro 09, Ver 06, Ver 09 y Ver 11 fueron las que dieron los frutos más alargados (Figura 4.1e). El IR podría ser importante en el gusto del consumidor, acostumbrado a frutos redondos u ovalados en el chile Piquín.

La mayoría de las accesiones que tuvieron los cambios más notorios provienen de traspatio o son silvestres, solo una (Dur 01) proviene de mercado. Dichas procedencias pueden influenciar en gran medida las características morfológicas de los frutos. En el caso de los frutos de traspatio, es muy posible que dichas plantas no hayan sido sembradas del todo por los pobladores; sin embargo, al estar presentes en los patios o cerca de los pobladores, se les suelen dar ciertos cuidados, por lo que se trata de plantas hasta cierto punto semidomesticadas. Sumado a lo anterior, las condiciones de invernadero (agua, luz, nutrientes, etc.) pudieron contribuir a desarrollar frutos de mayor tamaño, e incluso en algunos casos a modificar la forma de los mismos.

En Yucatán, González *et al.* (2010) reportaron una accesión de chile Piquín (Maax Ik) con fruto de 12-20 mm de largo y de 0.09-0.37 g de peso, dimensiones similares a varias accesiones en este estudio. En colectas silvestres de Nuevo León, Flores *et al.* (2018) reportaron rangos menores en dimensiones de frutos de chile Piquín, de 8.4 a 10.05 mm en largo, de 5.1 a 6.7 mm en ancho, y de 0.11 a 0.22 g en peso; esta menor variación podrían deberse a una menor diversidad genética y ambiental entre las accesiones. En frutos cosechados de plantas crecidas en invernadero con solución nutritiva en los estados de Querétaro y Guanajuato, Ramírez *et al.* (2018) encontraron

longitudes de 6.4 a 12.2 mm, anchos de 4.5 a 7.0 mm, y pesos secos de 0.072 a 0.211 g, dimensiones parecidas a los frutos aquí colectados en campo.

Por su parte, Murillo-Amador *et al.* (2015) revelaron una alta variabilidad morfométrica entre poblaciones silvestres de *C. annuum* silvestre localizadas en tres sitios cercanos a dos reservas de la biosfera en Baja California Sur, México; los autores atribuyeron dicha variación a diferencias en geografía, clima, ecología y grado de intervención humana. Las diferencias en las características morfológicas de los frutos se atribuyen a la composición genética y al ambiente, pues el componente varietal tiene una gran influencia sobre la velocidad de crecimiento, el tamaño final y la forma del fruto (Azcón-Bieto y Talón, 1993; Arjona *et al.*, 1992).

Color del fruto, tipo de epidermis y color de las semillas

El color es uno de los principales atributos de calidad en frutos de chile, sobre todo en chiles domesticados. Esto junto con el picor, tienen una importante influencia en la aceptación y compra del producto en la mayoría de los casos. En el cuadro 4.4 se muestran las distintas tonalidades obtenidas en frutos de chile Piquín, cosechados de campo, así como en frutos cosechados en invernadero. Como puede observarse el color en frutos de campo tiende a estar entre los tonos cafés debido a que ya eran frutos muy maduros y secos en su mayoría. Por su parte los chiles de invernadero tuvieron uno de tres colores: rojo, rojo oscuro o café rojizo.

Las diferencias en color obtenidas en las diferentes accesiones procedentes de campo, puede deberse a las diferentes condiciones climáticas y edáficas en las que se desarrollaron las plantas (Moreno-Pérez *et al.*, 2006). Además de la forma de secado en algunos frutos ya que en ciertas localidades se acostumbra secar los frutos bajo el rayo del sol, por lo cual factores ambientales como la luz y la temperatura influyen en la pigmentación de los frutos. En el caso de los frutos de invernadero las diferencias podrían atribuirse a características genotípicas ya que todas las accesiones crecieron bajo las mismas condiciones.

Cuadro 4.4 Determinación de color en frutos de chile Piquín procedentes de campo e invernadero.

Acc.	Color		Acc.	Color		Acc.	Color	
	Campo	Inver.		Campo	Inver.		Campo	Inver.
Ags 01			Oax 10			Ver 01		
Ags 02			Pue 01			Ver 04		
Ags 03			Pue 04			Ver 06		
Dur 01			Qro 01			Ver 08		
Hgo 01			Qro 02			Ver 09		
Mich 01			Qro 03			Ver 11		
Mich 02			Qro 04			Ver 12		
Nay 02			Qro 06					
Oax 01			Qro 07					
Oax 03			Qro 09					
Oax 05			Qro 10					
Oax 07			Sin 05					

El color fue determinado con el convertidor de color: <https://nixsensor.com/free-color-converter/>, utilizando los parámetros L, a* y b*.

El tipo de epidermis observada en los frutos procedentes de campo fue de rugosa a semirrugosa, debido a que los chiles se encontraban muy secos. En cambio, los frutos cosechados en invernadero presentaron epidermis lisa ya que se encontraban frescos. El color de las semillas en todos los frutos tanto de campo como de invernadero fue amarillo paja (Figura 4.2).



Figura 4.2 Frutos de chile Piquín A) recolectados en campo, B) Cosechados en invernadero, C) Semillas.

Análisis bioquímicos

Acidez titulable (AT). De forma general, los frutos cosechados en invernadero tuvieron mayor acidez que los recolectados en campo (Figura 4.3a). Tal contraste entre ambientes de crecimiento se atribuye al estado de madurez en el que se encontraban los frutos de invernadero recién cosechados, en comparación con los chiles recolectados en campo. Entre accesiones de campo no hubo grandes diferencias en acidez, con un rango de 0.21 a 0.28 %. Por su parte, los frutos de invernadero fluctuaron desde 0.23 % 0.38 %. Al respecto, se ha demostrado que la AT decrece conforme avanza el proceso de maduración debido a que los ácidos orgánicos son utilizados por la respiración (Durán-Acevedo *et al.*, 2014).

Lo anterior explica el menor contenido de AT en frutos de campo. Los ácidos orgánicos junto con los azúcares son los principales componentes solubles de los frutos maduros y tienen un efecto muy importante sobre el sabor. Generalmente, la acidez se atribuye a la liberación de protones de los ácidos, mientras que cada uno de sus diferentes aniones imparte un sabor distintivo (Johanningsmeiner *et al.*, 2005). Flores-González (2018) reportó un rango de 0.33 y 0.47 % en frutos de Chile Piquín silvestre, valores similares a los aquí encontrados en frutos recién cosechados en invernadero. pH. En esta variable hubo pocas diferencias entre accesiones y entre ambientes. Sus valores en frutos de campo oscilaron de 4.8 a 6.4, mientras que en frutos de invernadero el rango fue de 5.1 a 5.6, lo cual concuerda con el estado de madurez en el que se encontraban ambos materiales al momento de analizarlos (Figura 4.3b).

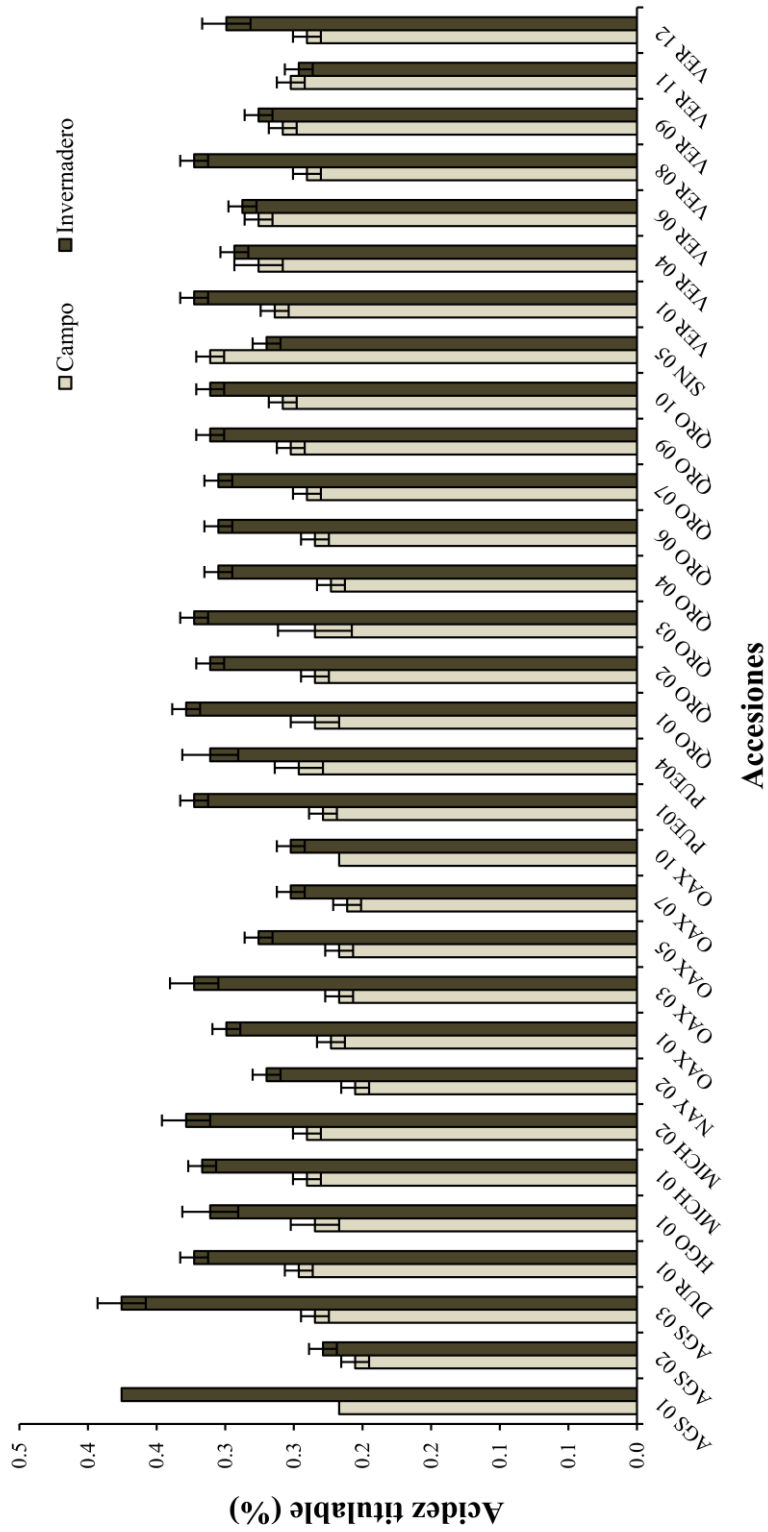


Figura 4.3a Acidez titulable en frutos de 31 accesiones de Chile Piquín recolectados en campo y cosechados en invernadero.

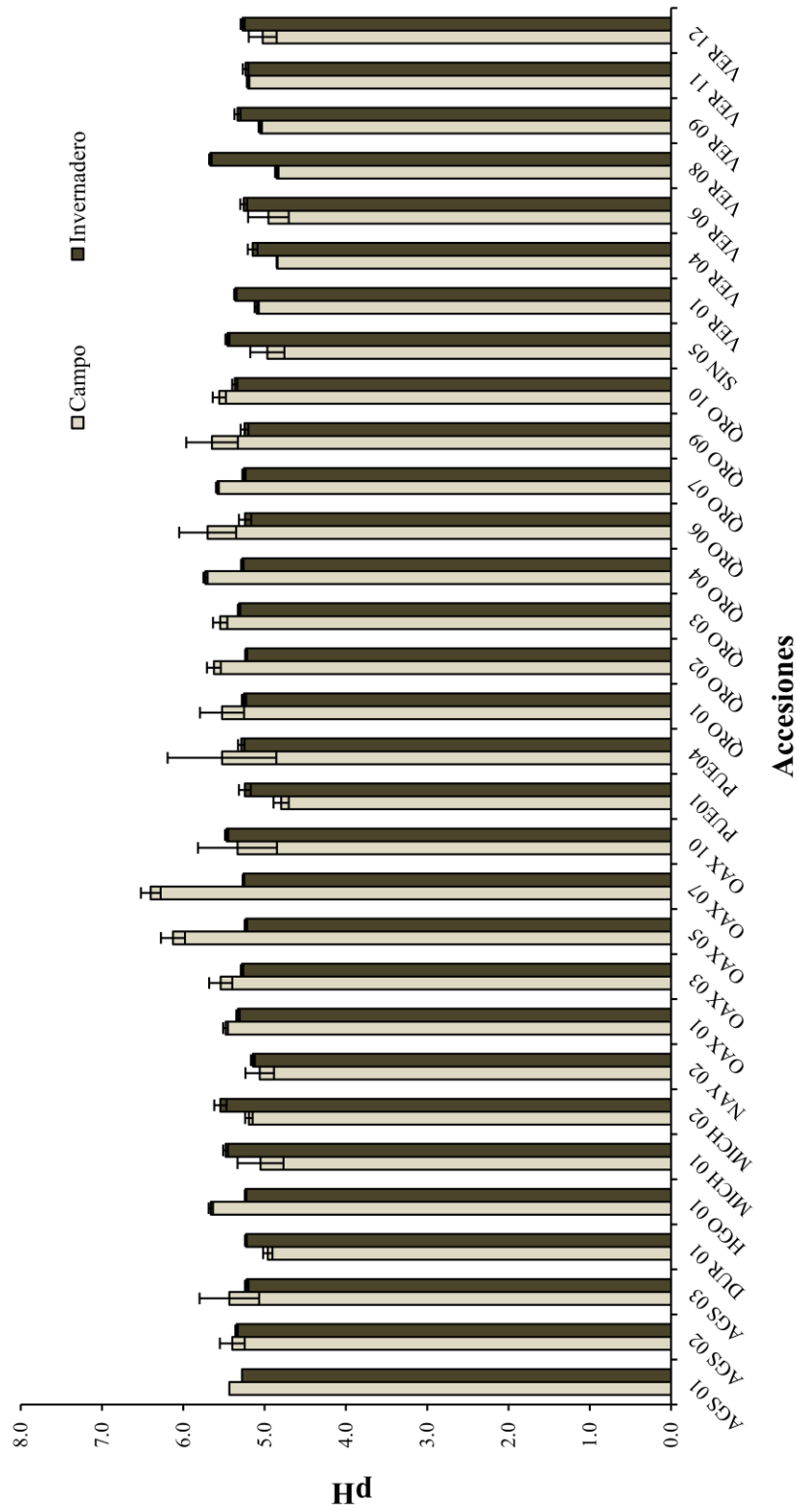


Figura 4.3b Determinación de pH en frutos de 31 accesiones de Chile Piquín recolectados en campo y cosechados en invernadero.

Sólidos solubles totales (SST). Los valores más altos de SST se registraron en los chiles recolectados en campo en comparación con los cosechados en invernadero, en la mayoría de accesiones (Figura 4.4a). Tales diferencias son atribuibles principalmente al estado de madurez de los frutos, ya que los chiles de campo estaban secos y con mayor concentración de sólidos que los frutos recién madurados y cosechados en invernadero. En contenido de SST las colectas con valores más altos fueron Qro 10 y Dur 01 con 3.01 y 3.02 °Brix, respectivamente. En invernadero las accesiones Dur 01, Nay 02 y Qro 01 con mayor valor de SST apenas estuvieron por arriba de 2.0 °Brix. Al respecto, es conocido que el contenido de SST aumenta conforme el fruto avanza en maduración, ello debido a la degradación de los almidones o a la síntesis de la sacarosa, así como al desdoblamiento de sustancias de reserva por la respiración (Hernández *et al.*, 2001; Durán-Acevedo *et al.*, 2014). En Chile Piquín silvestre Flores-González *et al.* (2018) reportaron valores de 1.3 a 2.8 °Brix, valores similares a los determinados en este estudio.

Índice de madurez (IM). Todos los frutos colectados en campo superaron en IM a los frutos cosechados en el invernadero (Figura 4.4b). Este resultado es afín a la madurez de los frutos. La relación sólidos solubles/acidez total titulable refleja el balance dulce/ácido de los frutos y es usado como un criterio para evaluar la calidad de los frutos. El aumento de la relación de madurez es el resultado de un importante conjunto de procesos que contribuyen con el sabor característico del fruto maduro, la mayoría asociados con hidrólisis enzimáticas. Así, se produce la degradación hidrolítica del almidón y las pectinas aumentando el sabor dulce (Nuez *et al.*, 1996) el cual es ocasionado por el aumento de sólidos solubles y azúcares, y por el descenso del contenido de ácidos durante la maduración. Si bien el índice de madurez no es un factor que determine el sabor de los frutos, puede ser de gran utilidad para analizar la evolución postcosecha de la calidad de frutos.

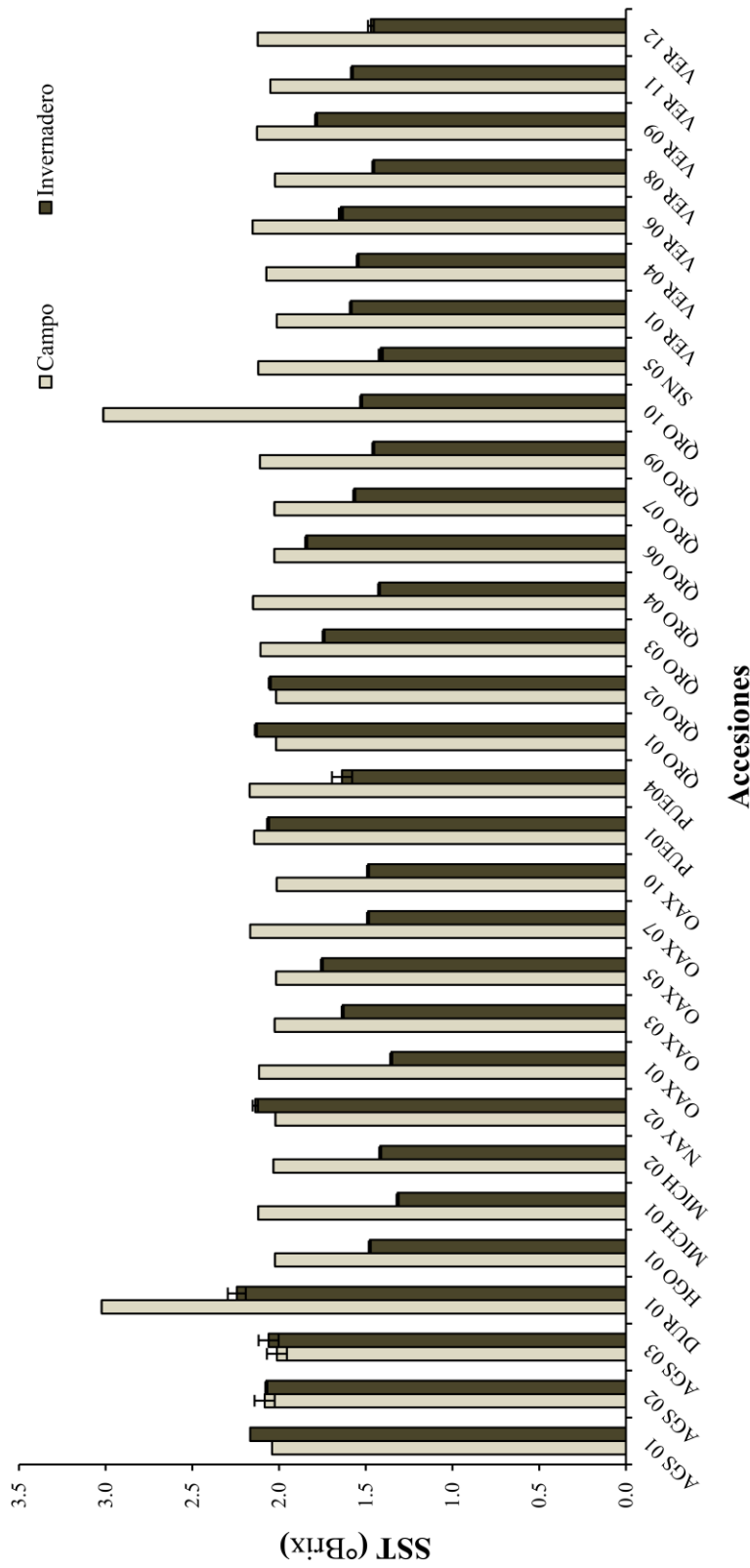


Figura 4.4a. Contenido de sólidos solubles totales (SST) en frutos de 31 accesiones de Chile Piquín colectadas en campo y cosechadas en invernadero.

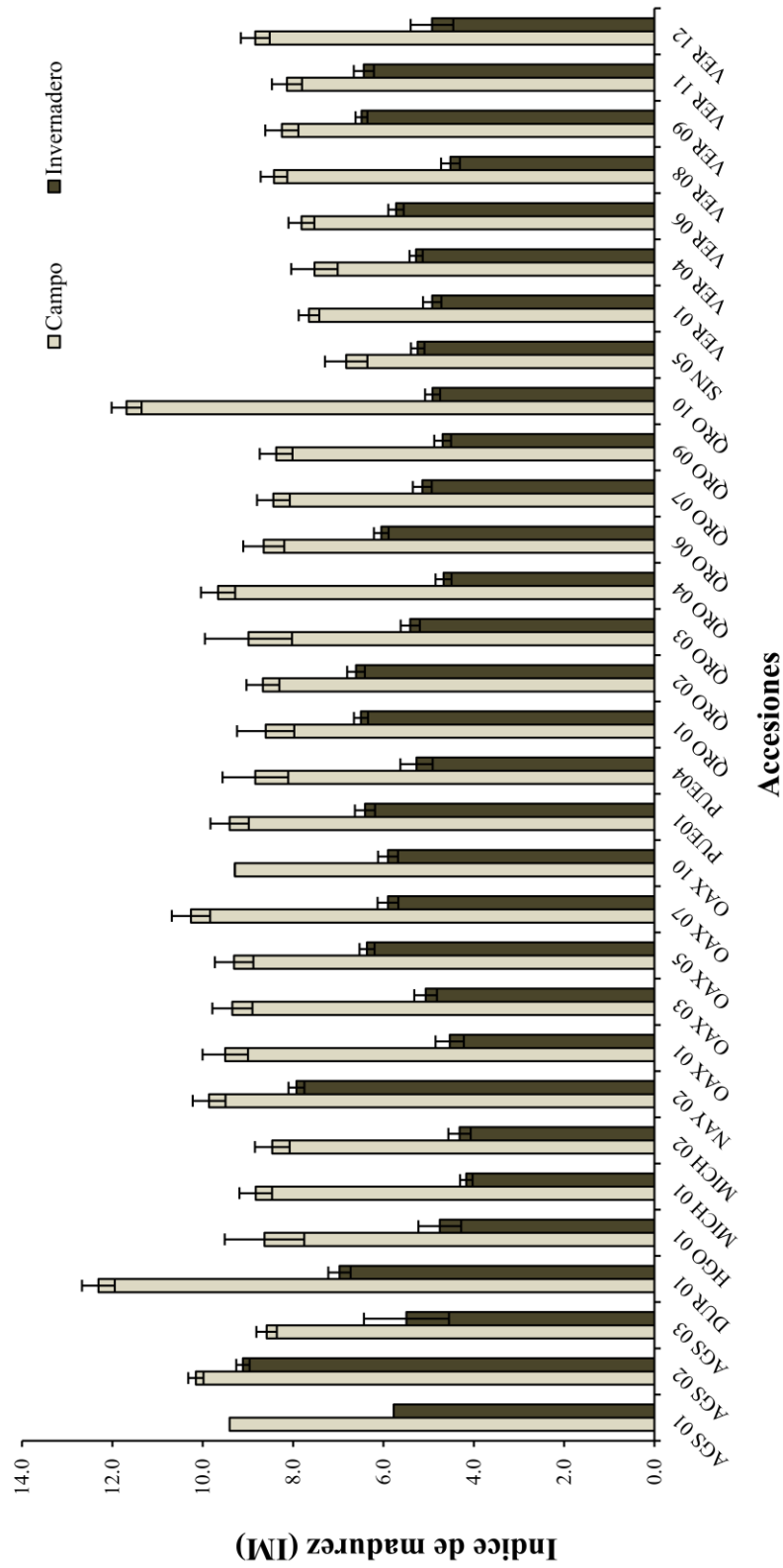


Figura 4.4b Índice de madurez (IM) en frutos de 31 accesiones de Chile Piquín colectadas en campo y cosechadas en invernadero.

Análisis de componentes principales

Según el análisis de componentes principales (ACP) aplicado al conjunto de variables morfológicas y bioquímicas registradas en las 31 accesiones de chile Piquín, tanto en frutos recolectados de campo como los cosechados en invernadero, los dos primeros componentes explican 63 % de la variación total (Cuadro 4.5). En el CP1 destacan las variables Índice de madurez, largo y diámetro (0.440, 0.431 y 0.421) del fruto. El CP2 tiene asociación con número de semillas y acidez (0.482 y 0.386). Como puede observarse las características de morfología de fruto son las que explican la mayor variabilidad obtenida tanto en frutos de campo como de invernadero.

Cuadro 4.5. Análisis de componentes principales (ACP) aplicado a variables morfológicas y bioquímicas de chile Piquín recolectadas en campo y cosechadas en invernadero.

Variable	CP1	CP2
Largo	0.431	-0.285
Diametro	0.420	-0.359
Peso	0.390	-0.315
NSEM	0.131	-0.482
Acidez	0.358	-0.386
pH	-0.080	0.082
SST	-0.372	0.332
IM	-0.440	0.436
Valor propio	3.170	1.896
Proporción	0.396	0.237
Acumulada	0.396	0.633

NSEM = Número de semillas, IM = Índice de madurez, SST= Sólidos solubles totales.

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con algunos estudios como el realizado por Ramírez *et al.* (2018), en 11 poblaciones de chile silvestre de los estados de Querétaro y Guanajuato, quienes encontraron que los tres primeros componentes explicaban 56.6 % de la variabilidad total. En el CP1 destacaron las variables peso, ancho, longitud de fruto, densidad de la hoja y diámetro de semilla; en el CP2 las variables más importantes fueron ancho de fruto y

pubescencia de la hoja; y en el CP3 sobresalieron las variables forma de fruto y color de las anteras. En un estudio de la diversidad morfológica *in situ* en chiles silvestres del estado de Tabasco, Narez-Jiménez *et al.* (2014) reportaron que los primeros dos componentes principales explican poco más de 50 %, y están dados por variables del fruto. Antes, Pardey *et al.* (2006) habían afirmado que la variabilidad entre poblaciones de chile está dada por características del fruto y la arquitectura de la planta.

La gráfica de distribución elaborada con los valores morfológicos y bioquímicos tanto de frutos recolectados en campo o mercado como de frutos cosechados en invernadero (Figura 4.5), muestra dos grupos muy marcados. Un grupo ubicado entre los cuadrantes I y II incluye a la mayoría de los frutos cosechados en invernadero, mientras que la mayoría de los frutos recolectados en campo se ubican en un grupo ubicado entre los cuadrantes II y III. Un tercer grupo está en el cuadrante IV, más alejado del centro, que contiene solamente a tres accesiones (Mich 01, Mich 02 y Oax 10) crecidas en invernadero, que se caracterizaron por producir los frutos de mayor tamaño en comparación con las mismas accesiones recolectadas en campo. Finalmente, la accesión Mich 02 de campo cuyas principales características fueron; mayor largo, mayor peso y mayor número de semillas quedo fuera de estos tres grupos.

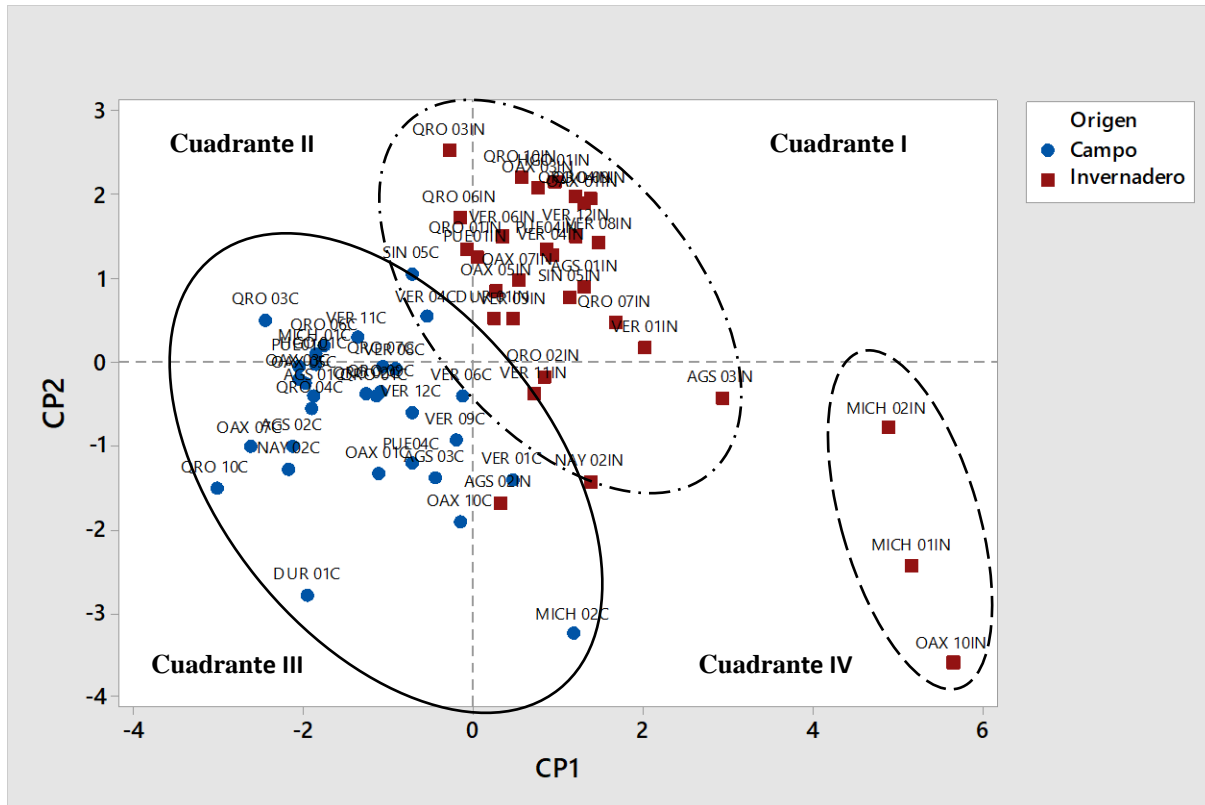


Figura 4.5. Distribución de la variabilidad morfológica y bioquímica en frutos de 31 poblaciones de Chile Piquín recolectados en campo y cosechados en invernadero. A (Ags), D (Dur), H (Hgo), M (Mich), N (Nay), O (Oax), P (Pue), Q (Qro), S (Sin), V (Ver).

El análisis MANOVA (Cuadro 4.6) muestra que hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los frutos colectados en campo y los cosechados en invernaderos en todas las variables evaluadas, incluyendo las morfológicas y las bioquímicas.

Cuadro 4.6 Análisis MANOVA para el ACP en frutos de chile Piquín.

Criterio	Estadística de prueba	F	GL		Pr > F
			Núm	Denom	
De Wilks	0.1923	27.81	8	53	<0.000
Lawley-Hotelling	4.1978	27.81	8	53	<0.000
De Pillai	0.8076	27.81	8	53	<0.000
De Roy	4.1978	27.81	8	53	<0.000

s = 1; m = 3.0; n = 25.5. Se utiliza n los valores s, m y n para calcular los estadísticos F; Núm GL = grados de libertad del numerador; Denom GL = grados de libertad del denominador.

3.6 CONCLUSIONES

Al ser cultivadas bajo invernadero con riego y solución nutritiva, la mitad de las accesiones aumentaron su largo, ancho y peso de fruto. En la accesión Oax 10 de invernadero, el aumento del fruto fue bastante notorio, ya que se duplicó el largo, ancho y peso de los frutos en relación con las medidas obtenidas en campo.

En las características bioquímicas (pH, acidez, SST e IM) los cambios observados en los frutos tanto de campo como de invernadero se encontraron de acuerdo a su estado de madurez.

El análisis de componentes principales indicó que largo, diámetro, IM, NS y acidez son las que aportan mayor variación, tanto en frutos de campo como en frutos de invernadero.

Las colectas Mich 01 y Mich 02 y Oax 10 de invernadero, produjeron frutos más grandes y menos redondos, tal vez no pertenezcan al chile Piquín, aunque en las localidades de colecta se les conozca así.

3.7 LITERATURA CITADA

Almanza E, J. G. 1993. El chile piquín (*Capsicum annum* var. *aviculare* Dierb.): estudio etnobotánico, biología y productividad. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Monterrey, N. L., México. 72 p.

<http://eprints.uanl.mx/2810/1/1080090520.pdf>

Alonso B, R. A., B. Zambrano C., R. Quiroga M., M. Rosales E., y P. Ponce D. 2012. Caracterización morfológica y molecular de la variabilidad genética del timpinchile (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum* sin. *aviculare*) en Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas 1: 4-18. <https://www.dgip.unach.mx/images/pdf->

AOAC (Association of Official Analytical Chemists, International). 1990. Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, USA: Author.

<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>

Bañuelos, N., L. Salido P., y A. Gardea. 2008. Etnobotánica del chiltepín: Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. Estudios Sociales 16(32): 177-205.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572008000200006

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.138>

Di Rienzo, J., Casanoves F., Balzarini M., González L., Tablada M., y Robledo C. 2008. InfoStat software estadístico. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>

Durán-Acevedo, C. M., E. Gualdron-Guerrero O., y M. Hernández-Ordoñez. 2014. Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt). Ingeniería, Investigación y Tecnología 15 (3): 351-362.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v15n3/v15n3a3.pdf>

Flores-González, P., A. Franco-Bañuelos, J. Hernández-Martínez., S. Moreno-Limón, J. L. Hernández-Pineiro., y J. M. Pinedo-Espinoza. 2018. Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante de chiltepín silvestre de Nuevo León, México. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 3:529-534.

<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/9/88.pdf>

- González-Jara, P., A. Moreno-Letelier., A. Fraile, D. Piñero, and F. García-Arenal. 2011. Impact of human management on the genetic variation of wild pepper, *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*. PLoS ONE 6. DOI: [10.1371/journal.pone.0028715](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028715)
- González, J. A. 2010. El cultivo del chile *Capsicum annuum* L. Boletín. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Guanajuato, México.
<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/guanajuato/Lists/Boletines/DispForm>.
- Grierson, D., and A. A. Kader. 1986. Fruit ripening and quality. In: J. G. Atherton and J. Rudich (eds.). The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement. Chapman and Hall (Ed.). London and New York. pp:241-280. DOI https://doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4_6
- Hernández, A. 2014. Evaluación de cuatro reguladores de crecimiento en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 2: 748-755.
<http://132.248.9.34/hevila/RevistabiologicoagropecuariaTuxpan/2014/no4/6.pdf>
- 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 ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. Polibotánica 33:175-191.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682012000100011
- Hernández-Verdugo, S., R. Luna-Reyes., and K. Oyama. 2001. Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* from Mexico. Plant Systematics and Evolution 226:129-142.
DOI <https://doi.org/10.1007/s006060170061>
- IPGRI, AVRDC, CATIE. 1995. Descriptores para *Capsicum* (*Capsicum* spp.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán; Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 51 p.
https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Descriptors_for_capsicum_Capsicum_spp_345.pdf
- Lui, S., W. Li, Y. Wu, C. Chen, and J. Lei. 2013. De novo transcriptome assembly in chili pepper (*Capsicum frutescens*) to identify genes involved in the biosynthesis of capsaicinoids. PLOS ONE 8(1-e48156): 1-8. DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048156>
- Li, Q., F. Wu, T. Li, X. Su, G. Jiang, H. Qu, Y. Jiang, and D. Duan. 2012. Methyl-cyclopropane extends the shelf-life of ‘Shatangju’ mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit with attached leaves. Postharvest Biology and Technology 67: 92–95.
DOI: [10.1016/j.postharvbio.2012.01.001](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.01.001)

- MINOLTA. 1994. Precise Color Communication. Japan. 14 p.
- Martínez, L., I. Cilia, A. Beltrán J., y P. Roncales. 2006. Effect of *Capsicum annuum* (Red Sweet and Cayenne) and *Piper nigrum* (black and white) pepper powders on the shelf life of fresh porksausages packaged in modified atmosphere. Journal of Food Science 71:48-53.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb12405.x>
- Montoya-Ballesteros, L. C., A. Gardea-Bejar., G. M. Ayala-Chavez., Y. Y. Martinez-Nuñez., and L. E. Robles-Ozuna. 2010. Capsaicinoids and color in chiltepin (*Capsicum annuum* var. *aviculare*). Processing effect on sauces and pickles. Revista Mexicana de Ingeniería Química 9(2):197-207.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382010000200008
- Moreno-Pérez, E. del C., Ma. T. Martínez-Damián., D. Reyes-López., C. A. Pérez-Mercado., A. Peña-Lomelí., y P. Espinosa-Robles. (2006). Intensidad de color y contenido de antocianinas en chile guajillo (*Capsicum annuum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura, 12(1), undefined-undefined. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=609/60912118>
- Murillo-Amador, A. B., O. E. Rueda-Puente., E. Troyo-Diéguez., M. V. Córdoba-Matson., L. G. Hernández-Montiel., and A. Nieto-Garibay. 2015. Baseline study of morphometric traits of wild *Capsicum annuum* growing near two biosphere reserves in the Peninsula of Baja California for future conservation management. BMC Plant Biology 15:1-18.
DOI: [10.1186/s12870-015-0505-6](https://doi.org/10.1186/s12870-015-0505-6)
- 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.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61031767004>
- Pardey, C. R., M. A. García D., F. A. Vallejo, C. 2006. Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Acta Agronómica 55: 1-8.
<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v61n1/v61n1a03.pdf>
- Quintero, L. 2000. Evaluación de la diversidad genética del género *Capsicum* sp., presente en los departamentos de Vaupés, Guainía y Putumayo por medio de isoenzimas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 59 p. DOI: [10.15446/abc](https://doi.org/10.15446/abc)
- Ramírez-Ojeda, G. 2017. Diversidad morfológica, fisiológica y climática en colectas de chile Piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. De México. 94 p.

- Ramírez N. I. U., F. Cervantes O., S. Montes, H., C. Raya, P., A. Cibrián J., y E. A. Enríquez. 2018. Diversidad morfológica del chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) de Querétaro y Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1159 – 1172. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/1581/1577>
- Rodríguez-Maturino, A., A. Valenzuela-Solorio., R. Troncoso-Rojas., D. González-Mendoza., O. Grimaldo-Juarez., M. Aviles-Marin., y L. Cervantes-Diaz. 2012. Antioxidant activity and bioactive compounds of Chiltepin (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) and Habanero (*Capsicum chinense*): A comparative study. *Journal of Medicinal Plants Research* 6,1758-1763. DOI: [10.5897/JMPR11.1576](https://doi.org/10.5897/JMPR11.1576)
- Rochín-Wong, S., N. Gámez-Meza., L. C. Montoya-Ballesteros., y L. A. Medina-Juárez. 2013. Efecto de los procesos de secado y encurtido sobre la capacidad antioxidante de los fitoquímicos del chiltepin (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12: 227-239. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62030721004>
- Sandoval-Rangel, A., A. Tapia-González., M. De la Fuente., J. González-Fuentes., y A. Benavides-Mendoza. 2018. Edad, beneficio y ácido giberélico afectan la germinación y producción de planta de chile piquín. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9. 10.29312. <https://www.researchgate.net/publication/323949549>
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* XV, 2(15):134-154. DOI <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Villalón-Mendoza, H., T. Medina-Martínez., y M. Ramírez-Meráz. 2013. Factores de calidad de la semilla de chile silvestre (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4: 182-187. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000300017

CAPÍTULO IV. CUANTIFICACIÓN DE CAPSAICINOIDES

4.1 RESUMEN

Se determinó el contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina en frutos de chile Piquín recolectados en campo, provenientes de varios estados de la república, así como en frutos cosechados bajo condiciones de invernadero. En los frutos de invernadero también se determinó el picor en tres estados de madurez; verde, intermedio y rojo. Los resultados mostraron que el picor promedio de las accesiones de invernadero fue superior con 29,485 SHU que los frutos de campo con 6,114 SHU. En frutos recolectados de campo el contenido de dihidrocapsaicina (DH) fue de 246 $\mu\text{g mL}^{-1}$, y el de capsaicina (C) fue 162 $\mu\text{g mL}^{-1}$. En tanto que los frutos de invernadero tuvieron mayor contenido de C con 1121.4 $\mu\text{g mL}^{-1}$ y menor contenido de DH con 844.3 $\mu\text{g mL}^{-1}$. En frutos de accesiones colectadas de campo las accesiones que tuvieron mayor picor fueron: Hgo 01, Ver 04 y Qro 04, con 10,243; 12,079 y 16,325 SHU respectivamente. En los frutos de invernadero las accesiones con mayor picor fueron Qro 03, Pue 01 y Ags 01 con 40,395; 41,516 y 56,000 SHU, respectivamente. En frutos cosechados en invernadero en tres estados de madurez (verde, intermedio y rojo), el picor de la mayoría de accesiones fue en continuo aumento al avanzar del estado verde al intermedio y luego al rojo maduro, con promedios de 14,813; 24,767 y 29,485 SHU, respectivamente.

Palabras clave: Capsaicinoides, chile Piquín, estados de madurez.

QUANTIFICATION OF CAPSAICINOIDS

4.2 ABSTRACT

The content of capsaicin and dihydrocapsaicin was determined in fruits of Piquín chilis collected from various Mexican states, as well as in fruits harvested from plants grown under greenhouse and fertilised with nutrient solution. In the greenhouse fruits, pungency was also determined across three stages of maturity: green, intermediate and red. Results showed that the average pungency of fruits harvested from plants grown in greenhouse was much higher with 29,485 SHU than the fruits collected in different locations with 6,114 SHU. In fruits collected from the field the content of dehydrocapsaicin (DH) was $246\mu\text{g mL}^{-1}$, and that of capsaicin (C) was $162\mu\text{g mL}^{-1}$. The greenhouse fruits contained much higher C as compared to DH, with 1121.4 vs. $844.3\mu\text{g mL}^{-1}$. In fruits collected from the field locations, the most pungent accessions were Hgo 01, See 04 and Qro 04, with 10,243; 12,079 and 16,325 SHU respectively. In the greenhouse, the most pungent accessions were Qro 03, Pue 01 and Ags 01, with 40,395; 41,516 and 56,000 SHU, respectively. In fruits harvested in the greenhouse at three maturity stages (green, intermediate and red), in most accessions pungency increased continuously as the fruit progressed from the green stage to the intermediate and then to the ripe red stage, with averages of 14,813; 24,767 and 29,485 SHU, respectively.

Key words: Capsaicinoids, chile Piquín, stages of fruit maturity.

4.3 INTRODUCCIÓN

Los chiles fueron de las primeras plantas domesticadas en el Nuevo Mundo (Días *et al.*, 2013) y ahora son consumidos diariamente por uno de cada cuatro humanos, en gran parte por el picor que producen (Perry *et al.*, 2007). Los antioxidantes en chiles son numerosos, y destacan ácido ascórbico, flavonoides, capsaicinoides, y una amplia gama de ácidos fenólicos (El-Ghoraba *et al.*, 2013). Su sabor picante está relacionado principalmente con la concentración de cinco compuestos: capsaicina, nordihidrocapsaicina, dihidrocapsaicina, homocapsaicina y homodihidrocapsaicina, los cuales se clasifican como capsaicinoides (Antonious *et al.*, 2009). Barchenger y Bosland (2016) consideran que existen 20 diferentes tipos de estos compuestos en chiles. La capsaicina y la dihidrocapsaicina son los capsaicinoides dominantes en los diversos tipos de chile picante.

Los capsaicinoides son biosintetizados y acumulados en la placenta del pimiento. En la estructura celular de la placenta se ha observado al microscopio que durante la maduración tienen lugar unos cambios morfológicos en el tejido epidérmico de la placenta (Cazares-Sánchez *et al.*, 2005; Barchenger y Bosland, 2016). Parece ser que las células epidérmicas de la placenta son el lugar donde se acumulan los capsaicinoides (Figura 5.1). También se encuentran capsaicinoides en otros tejidos del fruto, como en el pericarpio y en las semillas, pero en cantidades mucho menores que en la placenta (Veloso *et al.*, 2014). Se ha demostrado que el contenido en capsaicinoides está genéticamente controlado, pero también es afectado por variables ambientales como temperatura, luz, humedad del suelo y niveles de fertilización (Cazares-Sánchez *et al.*, 2005).

La capsaicina tiene múltiples aplicaciones industriales, como en las de alimentos, la cosmética, y en la de elaboración de armas para defensa personal (Arimboor *et al.* 2015; Nascimento *et al.*, 2014). Posee además cualidades biofortificantes como actividad antioxidante, quimio preventiva, antidiabetes, gastroprotectora, y sirve para aliviar ciertos tipos de dolor (Clark y Lee, 2016; Tundis *et al.*, 2011; Srinivasan, 2016; Chung y Cambell, 2016).

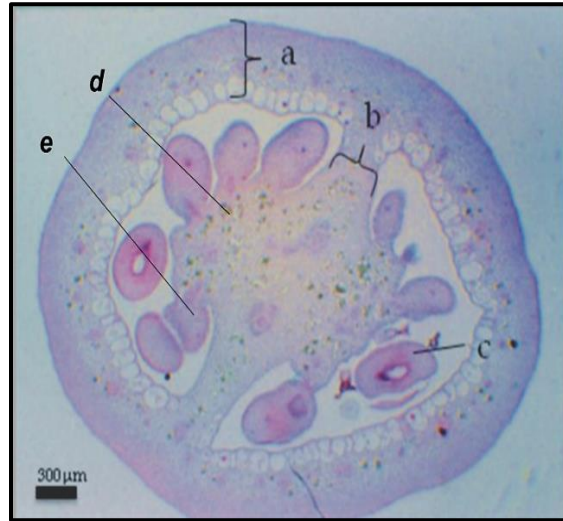


Figura 5.1. Sección transversal del fruto de *Capsicum frutescens* L. observado bajo el microscopio de luz Nikon. a) Pericarpio b) Tabique, c) Semilla, d) Placenta, e) Funículo (Herawan, 2010).

Ruta metabólica de los capsaicinoides

Los atributos de sabor, así como las funciones de salud de los chiles juegan un papel importante en su popularidad como producto de consumo. La creciente atención prestada al sabor de los chiles ha llevado a un aumento en el número de estudios que apuntan a comprender no solo su sabor, sino su incomparable aroma y picor (Morales-Soto *et al.*, 2013; Makoto *et al.*, 2018). Los capsaicinoides (CAPS) se encuentran formados por un núcleo fenólico unido mediante un grupo amida a un ácido graso. La porción fenólica es la vainillilamina, la cual ha sido previamente formada a partir de la fenilalanina a través de la ruta de los fenilpropanoides (Figura 5.2). El ácido graso se forma a partir de aminoácidos con cadena lateral ramificada, ya sea leucina o valina (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

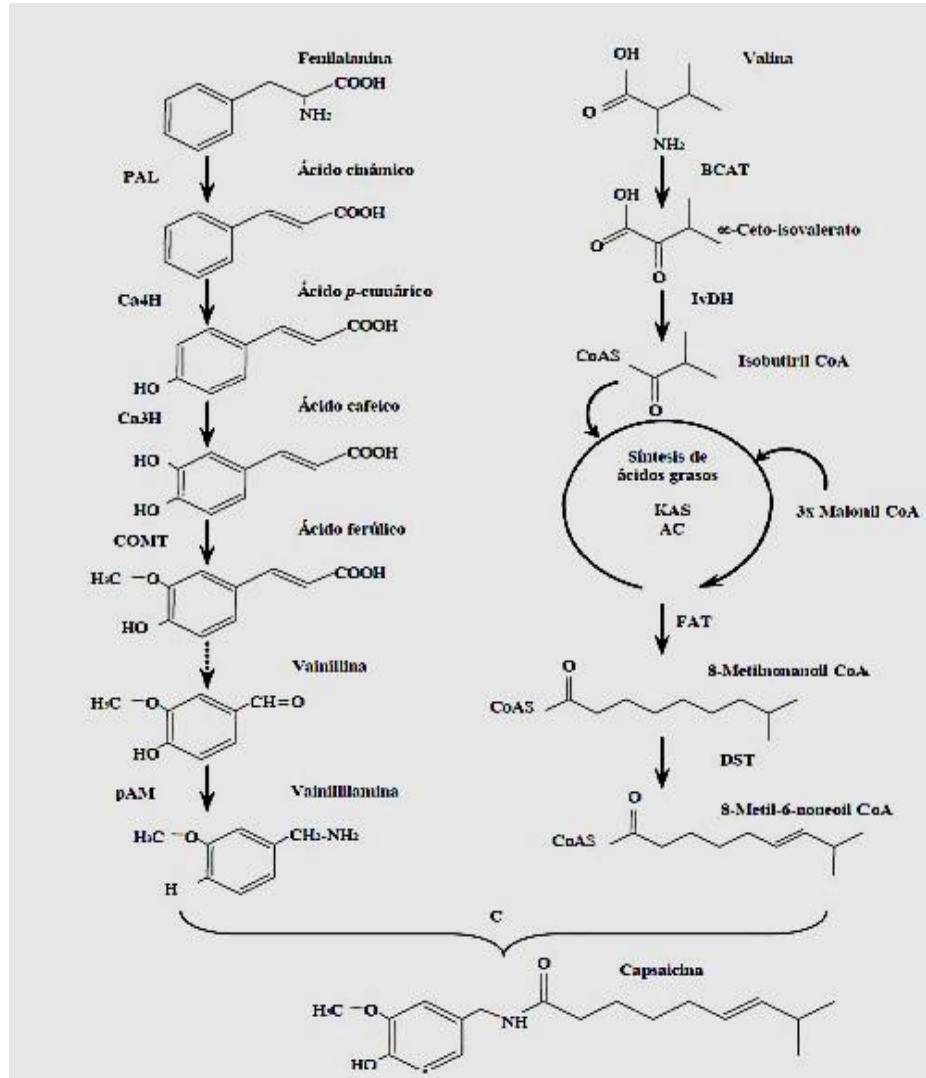


Figura 5.2. Ruta propuesta para la biosíntesis de los capsaicinodes en el género *Capsicum*. PAL, fenilalanina amonio liasa; Ca4H, ácido cinámico 4 hidroxilasa; Ca3H, cumarato 3 hidroxilasa; COMT, ácido cafeico *O*-metiltransferasa; pAMT, presunta aminotransferasa de la vainillina; BCAT, aminotransferasa de los aminoácidos ramificados, IvDH α -isovalerato deshidrogenasa; Kas β -cetoacil sintasa; ACL, proteína acarreadora de grupos acilo; FAT, tioesterasa; DST, desaturasa; CS capsaicinoide sintasa (Vázquez *et al.*, 2007).

Se conocen más de 20 diferentes capsaicinoides, su estructura química básica consiste en un núcleo fenólico unido mediante un enlace amida a un ácido graso. La porción fenólica es la vainillilamina, que se forma a partir de la fenilalanina por medio de la ruta de los fenilpropanoides.

El ácido graso se forma a partir de aminoácidos de cadena lateral ramificada, ya sea valina o leucina. Las diferencias en la estructura de los capsaicinoides residen precisamente en la naturaleza de la cadena lateral, la cual puede ser de 9 u 11 carbonos de largo, con un número variable de enlaces dobles colocados en diferentes posiciones tal como se muestra en la Figura 5.3 (Aza-González *et al.* 2011; Barbero *et al.*, 2014). La capsaicina y la dihidrocapsaicina representan más de 90 % del contenido total de los capsaicinoides presentes en los chiles.

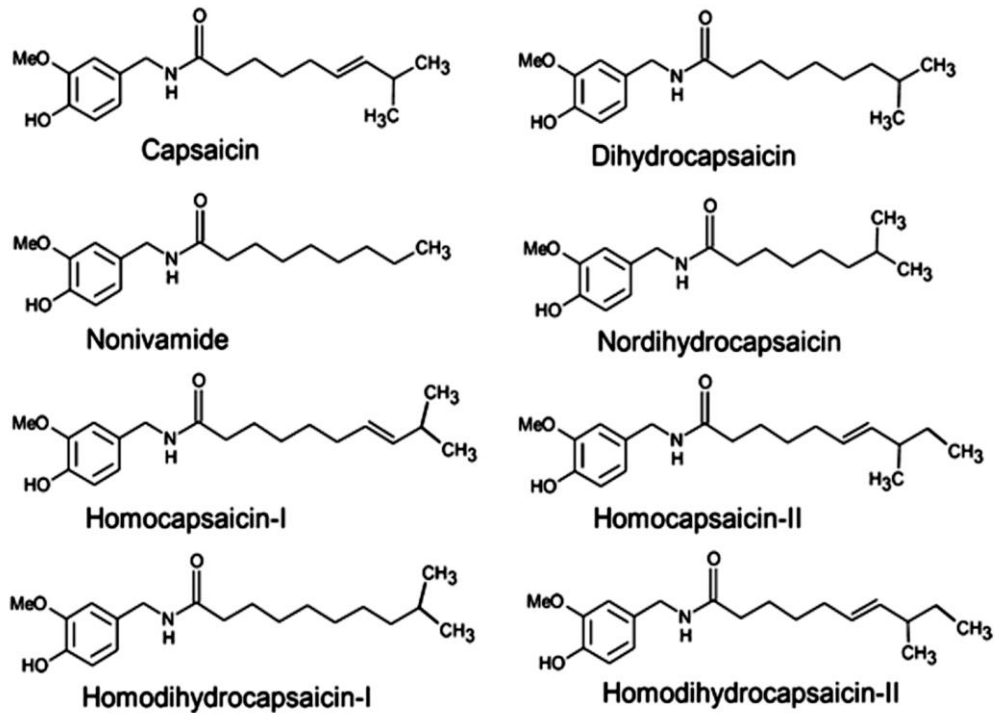


Figura 5.3. Estructura de los diferentes tipos de capsaicinoides. (Tomado de Aza-González *et al.* 2011).

Factores que determinan el picor

El control genético del carácter picante está determinado por el gen dominante *C*, localizado en el mapa de pimiento en el cromosoma 2 (Blum *et al.*, 2002) y co-localizado con el gen *Pun1/AT3*. Este gen codifica para una aciltransferasa, la cual ha sido propuesta para ser la *capsaicina sintetasa* (CS), responsable del último paso catalítico de la biosíntesis de los

capsaicinoides (Arce-Rodríguez y Ochoa-Alejo, 2015; Han *et al.*, 2013; Reddy *et al.*, 2014). Del gen *Pun1* se han identificado tres alelos mutantes que confieren ausencia de la característica no picante: *pun1¹*, *pun1²* y *pun1³*. El alelo *pun1¹* se ha identificado exclusivamente en *C. annuum* y es el utilizado habitualmente en los programas de mejora para seleccionar los genotipos sin picor (Stewart *et al.*, 2005). Los alelos *pun1²* y *pun1³* no llegan a traducirse a proteínas y se han encontrado en otras especies (Stewart *et al.*, 2007; Stellari *et al.*, 2010).

El contenido de capsaicinoides se hereda cuantitativamente (Zewdie y Bosland, 2000a, b). En un estudio llevado a cabo para comprender mejor el control genético de la biosíntesis de los capsaicinoides, se detectó el QTL mayor, *cap*, en el cromosoma 7 (Blum *et al.*, 2003), que posteriormente fue relacionado con el QTL *ndhc7a.1*, identificado por afectar al contenido de la nordihidrocapsaicina (Ben-Chaim *et al.*, 2006). En este mismo trabajo también se detectó el QTL *cap3.1*, que afecta a los contenidos de capsaicina y al total de capsaicinoides.

La cantidad de capsaicinoides está relacionada con la edad o estado fenológico del fruto. En los primeros días de floración solo hay trazas, pero 30 a 50 días después el contenido se incrementa y luego disminuye hasta antes de la cosecha. Algunos autores sugieren que el decremento se debe a la presencia de enzimas peroxidasas (Bernal *et al.*, 1993). La isoenzima 6- peroxidasa oxida compuestos fenólicos (ceféico y ferúlico) precursores de la biosíntesis de capsaicina. La posición del fruto en la planta, los cambios estacionales, la temperatura y tiempo de exposición a la luz, así como la competencia entre la biosíntesis de capsaicinoides y otros metabolitos fenilpropanoides, también son responsables de la acumulación de capsaicinoides en el fruto (Estrada *et al.*, 1999).

Los factores ambientales tienen un efecto importante sobre la acumulación de los CAP (Harvell y Bosland, 1997). Uno de los factores ambientales que mayor efecto tiene sobre el picor es la limitación de agua, aunque este efecto puede variar entre diferentes genotipos. El estado nutricional de la planta también tiene un efecto en la acumulación de los CAP. Las heridas en el fruto pueden reducir su picor, probablemente porque el contacto de los CAP con oxígeno promueve su oxidación (Kirschbaum-Titze *et al.*, 2002). El estado de desarrollo también tiene efectos importantes sobre la síntesis de CAPS. En función de los genotipos utilizados y de las

condiciones de cultivo, la síntesis de CAPS ocurre durante las etapas tempranas del desarrollo del fruto, entre los 20 y 50 días después de anthesis (Contreras-Padilla y Yahia, 1998). La posición del fruto en los tallos también determina el grado de picor (Zewdie y Bosland, 2000) En el cuadro (5.1) se muestra la escala de picor para diversas variedades de chile, la escala va desde cero para frutos dulces hasta 16 millones de SHU en la capsaicina pura (Gonzalez-Salan, 2004, modificado).

Cuadro 5.1. Escala de picor en diferentes variedades de chiles.

Unidad Scoville	Variedad/Chile
15,000.000-16,000.000	Capsaicina pura
2,480.000	Aliento de Dragón
850,000 – 1,000.000	Bhut Jolokia (India, Sri Lanka)
350 000 – 570 000	Red Savina Habanero (California, Usa)
100 000 – 350 000	Chile Habanero
100 000 – 325 000	Scotch Habanero
100 000 – 200 000	Chile Jamaicano
50 000 – 100 000	Chiltepe, Piquín, Chile Thai
30 000 – 50 000	Pimienta Cayanna, Chile Tabasco
10 000 – 30 000	Chile Serrano, Chile de Árbol
2 500 – 8 000	Chile Jalapeño
2 500 – 5 000	Salsa Tabasco
1 000 – 1 500	Chile Poblano
0	Chile dulce (Pimiento dulce, Morrón)

Modificado de González-Salán (2004).

En realidad, aún son pocos los estudios llevados a cabo para la determinación de capsaicinoides y grado de picor de chile Piquín en México, y éstos han sido efectuados solo en regiones específicas. Por ello es necesario efectuar análisis comparativos en muestras representativas de varios estados de la República Mexicana, para obtener un panorama más amplio de las características y comportamiento de esta variedad de chile.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción de capsaicinoides

Los frutos recolectados en campo y los frutos cosechados en invernadero, fueron lavados con agua destilada, y luego liofilizados en un equipo Labconco Mod. (USA), en el cual se dejaron durante 3 días. Las muestras deshidratadas se molieron con un molino Thomas Wiley con criba de 1 mm # 4 Philadelphia E.U. hasta obtener un polvo fino. La extracción se realizó con 0.5 g de muestra y 5 mL de acetonitrilo en tubos Falcon de 15 mL, los cuales fueron colocados a baño maría durante 5 horas a 60°C con agitación cada hora. Las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente y en oscuridad. Cada extracto resultante se filtró con acrodiscos de nylon (25 mm de diámetro, poro de 0.45 μm), y finalmente se inyectaron 20 μL en el cromatógrafo de líquidos Agilent® modelo HP-1100 equipado con detector UV.

Cuantificación de capsaicinoides

El contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina se determinaron en frutos completos de chile Piquín mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) en el aparato arriba descrito, con las siguientes condiciones de corrida: columna Hypersil ODS MR (25 cm, 4.6 mm, 5 μM), fase móvil de gradiente constituido por acetonitrilo-agua a razón 45:55, con un flujo de 1.5 mm min^{-1} y duración de corrida de 20 min. Antes del análisis se hicieron dos curvas de calibración ($R^2 = 0.99$) con estándares externos de capsaicina (8-methyl-n-vanillyl-6-nonenamide) y dihidrocapsaicina (8-methyl-n-vanillyl-nonanamide) (Natural Capsaicin®, Sigma). También se determinó el contenido de capsaicinoides en frutos de chile Piquín en diferentes estados de madurez (Figura 5.4).



Figura 5.4 Extractos de capsaicinoides de frutos de chile Piquín en tres estados de madurez.

Las áreas de los picos correspondientes se transformaron a unidades de picor Scoville (SHU) mediante las ecuaciones propuestas por el método oficial de la AOAC (1998):

$$C = (P_c/P_s) \times (C_s/W_t) \times (10/0.89) \times 16100$$

$$DH = (P_d/P_s) \times (C_s/W_t) \times (10/0.93) \times 16100$$

Donde: C = capsaicina (SHU); DH = dihidrocapsaicina (SHU); P_c y P_d = área del pico para capsaicina y dihidrocapsaicina, respectivamente; P_s = área del pico del estándar correspondiente; C_s = concentración de la solución estándar (mg mL⁻¹); W_t = peso de la muestra (g). En la conversión de unidades se consideró que 1 µg de capsaicinoides g⁻¹ de peso seco = 15 SHU (Wall y Bosland, 1998).

Los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina, así como y capsaicinoides totales se analizaron conforme a un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Para el análisis de los datos, se utilizó el programa estadístico Infostat versión 2008. Se llevó a cabo el análisis de varianza, así como comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 5.5 se muestra el contenido de capsaicinoides (CAPS) determinado en frutos recolectados y cosechados en campo e invernadero respectivamente. Los frutos de campo tuvieron un contenido de CAPS totales (capsaicina + dihidrocapsaicina) de 6,114 SHU, de los cuales 2,428 SHU correspondieron a capsaicina y 3,686 SHU a dihidrocapsaicina (DH). Por su parte el contenido de CAPS totales en frutos de invernadero fue de 29,485 SHU con un contenido de capsaicina de 16,820 SHU y 12,665 SHU de dihidrocapsaicina. Como puede observarse, en los frutos de invernadero el picor fue superior ($p < 0.05$) a los frutos recolectados en campo.

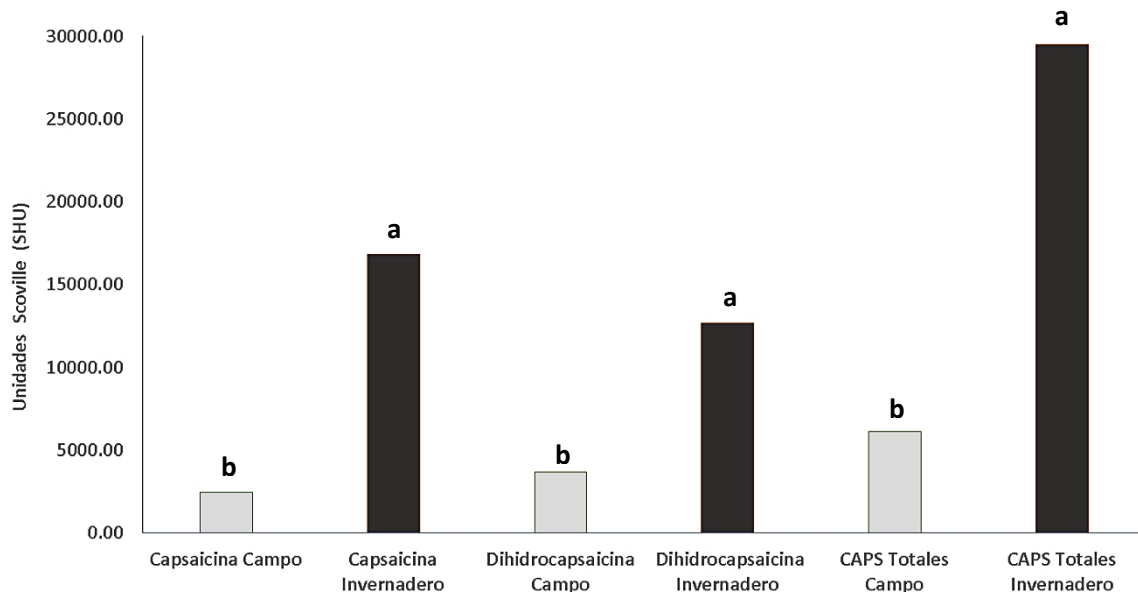


Figura 5.5 Contenido de capsaicinoides (CAPS) en frutos recolectados en campo y en frutos cosechados en invernadero. CAPS Totales = C+DH. Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Contenidos de CAPS en frutos recolectados en campo

El promedio de CAPS en los frutos recolectados en campo fue de $408 \mu\text{g mL}^{-1}$, de los cuales se observó un mayor contenido de D ($X = 246 \mu\text{g mL}^{-1}$) que de C ($X = 162$) en la mayoría de las accesiones, con excepción de Mich 02 y Oax 01 cuyo contenido de D fue mayor en ambos

casos (Cuadro 5.2). El comportamiento observado en estas accesiones puede deberse a factores como la interacción genotipo-ambiente asociada con la diversidad de las procedencias de las colectas (silvestre, parcelas de cultivo, huertos de traspatio, muestras de mercado). Sumado a lo anterior, el manejo postcosecha también tiene influencia en los resultados obtenidos, además es sabido que la cantidad de capsaicinoides cambia durante las fases de maduración, y decrece durante el almacenamiento.

De acuerdo con la escala de picor propuesta por González-Salán (2014), los materiales recolectados en campo tienen un picor de intermedio a bajo ($X = 6114$ SHU), similar al chile jalapeño o la salsa Tabasco, es decir resultan poco irritantes. Por lo que pueden ser consumidos y utilizados en la elaboración de platillos para personas que no consumen mucho picante.

En México, se han llevado a cabo estudios acerca del contenido de capsaicinoides en chile Piquín. En Yucatán se determinó el contenido de capsaicinoides en 19 poblaciones de nueve morfotipos de *C. annuum* provenientes de la región centro-oriente; el resultado mostró contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina de $3584 \mu\text{g g}^{-1}$ y $1707 \mu\text{g g}^{-1}$ con un picor de 70,374 SHU (Cazares-Sánchez *et al.*, 2005). En el otro extremo del país, en Hermosillo Sonora, se analizaron frutos de chiltepín silvestre, y se encontraron contenidos de 8,220 y 4240 $\mu\text{g g}^{-1}$, para C y D, respectivamente, con un picor de 160,000 SHU (Montoya-Ballesteros *et al.*, 2009).

Cuadro 5.2 Contenido de capsaicinoides en frutos de 31 accesiones de chile Piquín recolectadas en campo.

ACC.	C ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	DH ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	C+DH ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	SHU
Ags 01	117.7 cd \pm 43	132.1 cd \pm 42	249.9 cd \pm 85	3748 cd \pm 1273
Ags 02	228.5 a,d \pm 78	295.4 b,d \pm 170	524.0 b,d \pm 247	7860 b,d \pm 3711
Ags 03	265.5 a,d \pm 81	389.9 b,d \pm 170	655.5 b,d \pm 251	9832 b,d \pm 3760
Dur 01	164.9 b,d \pm 72	209.7 b,d \pm 77	374.7 cd \pm 144	5620 cd \pm 2163
Hgo 01	192.9 a,d \pm 05	489.9 bc \pm 07	682.9 b,d \pm 12	10,243 b,d \pm 176
Mich 01	186.2 a,d \pm 02	478.7 b,d \pm 03	664.9 b,d \pm 05	9973 b,d \pm 71
Mich 02	228.3 a,d \pm 08	191.6 cd \pm 17	419.9 b,d \pm 21	6299 b,d \pm 319
Nay 02	459.5 ab \pm 194	920.0 a \pm 163	1379.5 a \pm 95	20,693 a \pm 1425
Oax 01	108.0 cd \pm 08	93.5 cd \pm 08	201.5 cd \pm 16	3023 cd \pm 237
Oax 03	69.3 cd \pm 30	92.3 cd \pm 05	161.7 cd \pm 27	2425 cd \pm 399
Oax 05	133.7 cd \pm 20	179.6 cd \pm 164	313.4 cd \pm 175	4701 cd \pm 2630
Oax07	89.2 cd \pm 12	135.9 cd \pm 61	225.1 cd \pm 60	3376 cd \pm 893
Oax 10	82.2 cd \pm 25	120.4 cd \pm 18	202.6 cd \pm 20	3039 cd \pm 300
Pue 01	64.3 cd \pm 06	70.5 d \pm 13	134.9 d \pm 19	2023 d \pm 285
Pue 04	80.3 cd \pm 02	121.2 cd \pm 04	201.6 cd \pm 05	3025 cd \pm 72
Qro 02	165.0 b,d \pm 84	284.6 b,d \pm 94	449.7 b,d \pm 178	6746 b,d \pm 2671
Qro 04	470.1 a \pm 246	618.2 ab \pm 310	1088.3 ab \pm 556	16,325 ab \pm 8341
Qro 06	125.9 cd \pm 35	190.0 cd \pm 88	315.9 cd \pm 122	4739 cd \pm 1828
Qro 08	88.6 cd \pm 04	103.1 cd \pm 04	191.8 cd \pm 08	2877 cd \pm 122
Qro11	85.8 cd \pm 20	111.4 cd \pm 39	197.3 cd \pm 58	2959 cd \pm 877
Qro 01	75.9 cd \pm 00	111.0 cd \pm 01	186.9 cd \pm 02	2804 cd \pm 24
Qro 03	60.1 cd \pm 01	169.8 cd \pm 01	230.0 cd \pm 02	3450 cd \pm 24
Qro 09	52.7 cd \pm 03	87.3 cd \pm 11	140.1 cd \pm 09	2101 cd \pm 133
Sin 05	68.9 cd \pm 09	105.3 cd \pm 11	174.3 cd \pm 19	2614 cd \pm 289
Ver 04	333.8 a,c \pm 228	471.4 b,d \pm 361	805.2 a,c \pm 589	12,079 a,c \pm 8834
Ver 06	238.0 a,d \pm 176	415.2 b,d \pm 279	653.2 b,d \pm 455	9798 b,d \pm 6830
Ver 08	36.3 d \pm 00	107.7 cd \pm 02	144.0 cd \pm 02	2161 cd \pm 28
Ver 09	133.4 cd \pm 124	233.5 b,d \pm 213	366.9 cd \pm 337	5504 cd \pm 5052
Ver 11	95.5 cd \pm 75	174.5 cd \pm 115	270.1 cd \pm 190	4051 cd \pm 2847
Ver 12	237.0 a,d \pm 110	323.5 b,d \pm 126	560.5 b,d \pm 230	8408 b,d \pm 3445
Ver 01	278.8 a,d \pm 132	189.9 cd \pm 24	468.7 b,d \pm 156	7031 b,d \pm 2337
Promedio	162 \pm 134	246 \pm 217	408 \pm 337	6,114 \pm 5060
DMS	296.4	418.1	669.8	10046.9

Valores con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). DMS: Diferencia Mínima Significativa; C: Capsaicina; DH: Dihidrocapsaicina; SHU: Unidades Scoville.

Según Bernal *et al.* (1993), el decremento en el contenido de capsaicinoides en la madurez de los frutos está asociado a la presencia de enzimas peroxidasas, hipótesis que fue confirmada por Contreras-Padilla y Yahia (1998), quienes estudiaron los cambios en la concentración de capsaicinoides durante el desarrollo y maduración de frutas de tres tipos de chile, y así asociaron la presencia activa de una enzima específica peroxidasa; estos autores mencionan que la isoenzima 6-peroxidasa oxida los compuestos fenólicos (caféico y ferúlico) precursores de la biosíntesis de capsaicina.

Dentro de una misma especie el grado de picor del chile puede estar relacionado con las condiciones de estrés determinadas por el ambiente en el que se desarrolla cada planta (López *et al.*, 2015). Harvell y Boslan (1997) reportaron un estudio con la línea doble haploide “CaGC 87”, en la cual cinco grupos de plantas fueron distribuidos aleatoriamente en un campo de cultivo de chile de otra variedad. Al llegar a la época de cosecha, a cada grupo se le evaluó el contenido de picor en frutos rojos maduros. Las diferencias entre los cinco grupos fueron muy pronunciadas, con el siguiente orden decreciente: 498, 390, 363, 280 y 263 mg de capsaicinoides totales por kg de peso seco. De igual manera los autores hallaron diferencias entre plantas de un mismo grupo; por ejemplo, tres plantas del grupo 1 mostraron cantidades variables de 640, 459 y 392 mg de capsaicinoides totales por kg de PS.

Contenidos de CAPS en frutos cosechados en invernadero

Los chiles cosechados en invernadero tuvieron concentraciones de capsaicinoides (C + D) mucho más altas que los chiles recolectados en campo ($X = 1,966 \mu\text{g mL}^{-1}$). El contenido de C para estos materiales fue mayor que el contenido de DH, con $X = 1,121$ y $844 \mu\text{g mL}^{-1}$ respectivamente. La accesión con la mayor cantidad de CAP fue Ags 01 ($3718.7 \mu\text{g mL}^{-1}$) el cual fue obtenido del mercado, por lo que posiblemente ya llevaban cierto porcentaje de domesticación. Pue 01 y Qro 03 también tuvieron altos contenidos de CAP (2767.7 y $2693.1 \mu\text{g mL}^{-1}$). El picor de los materiales analizados se encuentra, de acuerdo a la escala de picor (González-Salán, 2014) entre los chiles picosos con valores que van desde los 20,000 a los 50,000 SHU, salvo dos accesiones Oax 07 y Oax 10 con 4784 y 4513 SHU (Cuadro 5.3). Debido a que los frutos crecieron bajo condiciones de invernadero, (es decir todas las accesiones tuvieron las mismas condiciones

de luz, agua, nutrición y temperatura), el factor ambiente se excluyó y las características de picor obtenidas en esta parte del experimento se atribuye principalmente al genotipo.

Las accesiones con mayor picor tienen un amplio mercado en nuestro país ya que la mayoría de la población mexicana consume alimentos picosos, incluso en Estados Unidos se tiene un amplio mercado entre la población hispana que gusta no solo del picor del fruto sino del sabor característico de los piquines en sus diversas presentaciones (salsas, encurtidos, secos, frescos, etc.)

Contreras-Padilla *et al.* (1998) estudiaron el comportamiento de la acumulación de capsaicina en frutos de *C. chinense* cultivados en invernadero y a cielo abierto. Los frutos de las plantas de invernadero superaron a los producidos a cielo abierto alcanzando cantidades de 195,380 y 113,040 mg kg⁻¹ PS de capsaicinoides totales, respectivamente.

Cuadro 5.3 Contenido de capsaicinoides en frutos de chile piquín cosechados en invernadero.

ACC.	Ca ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	DH ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	C+DH ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	SHU
Ags 01	1842.7 a \pm 27	1876.0 a \pm 89	3718.7 a \pm 101	55,781 a \pm 1511
Ags 02	946.4 i,l \pm 178	1097.9 b,d \pm 103	2044.3 b,e \pm 246	30,665 b,e \pm 3682
Ags 03	1733.3 ab \pm 57	418.5 e,i \pm 51	2151.9 b,e \pm 24	32,278 b,e \pm 361
Dur 01	1523.9 bc \pm 94	328.6 g,i \pm 23	1852.5 de \pm 83	27,788 de \pm 1240
Hgo 01	1272.4 c,g \pm 23	349.6 g,i \pm 64	1622.0 de \pm 69	24,331 de \pm 1034
Mich 01	1485.5 b,d \pm 78	401.1 f,i \pm 126	1886.6 de \pm 119	28,300 de \pm 1781
Mich 02	959.0 h,l \pm 181	522.1 d,h \pm 22	1481.1 de \pm 167	22,217 de \pm 2500
Nay 02	1202.4 d,i \pm 31	754.4 c,h \pm 24	1956.8 c,e \pm 55	29,352 c,e \pm 823
Oax 01	1206.0 d,i \pm 167	811.3 b,g \pm 686	2017.4 b,e \pm 840	30,261 b,e \pm 12,592
Oax 03	1349.8 c,f \pm 133	389.0 f,i \pm 149	1738.9 de \pm 275	26,083 de \pm 4128
Oax 05	1043.1 f,k \pm 237	1011.6 b,d \pm 319	2054.7 b,e \pm 554	30,821 b,e \pm 8312
Oax07	141.0 m \pm 06	177.9 hi \pm 11	318.9 f \pm 17	4784 f \pm 254
Oax 10	155.3 m \pm 04	145.5 i \pm 38	300.9 f \pm 34	4513 f \pm 509
Pue 01	1567.2 a,c \pm 150	1200.5 bc \pm 117	2767.7 b \pm 267	41,516 b \pm 4000
Pue 04	1129.9 e,j \pm 143	1016.7 b,d \pm 267	2146.6 b,e \pm 410	32,200 b,e \pm 6147
Qro 02	1275.0 c,g \pm 18	991.5 b,e \pm 72	2266.6 b,d \pm 89	33,999 b,d \pm 1340
Qro 04	1174.6 d,i \pm 04	1035.7 b,d \pm 08	2210.3 b,e \pm 11	33,155b,e \pm 170
Qro 06	1277.2 c,g \pm 06	1095.8 b,d \pm 03	2373.0 b,d \pm 09	35,595 b,d \pm 133
Qro 08	1044.2 e,k \pm 04	835.4 b,g \pm 04	1879.7 de \pm 08	28,196 de \pm 114
Qro11	1046.9 e,k \pm 33	1019.2 b,d \pm 152	2066.1 de \pm 120	30,992 b,e \pm 1801

Qro 01	1283.4 c,g ± 106	955.3 b,f ± 205	2238.8 b,e ± 311	33,582 b,e ± 4671
Qro 03	1357.2 c,e ± 116	1335.8 ab ± 217	2693.1 bc ± 101	40,396 bc ± 1516
Qro 09	1144.3 e,j ± 141	1047.3 b,d ± 14	2191.1 b,e ± 155	32,875 b,e ± 2321
Sin 05	729.5 i ± 34	1040.1 b,d ± 20	1769.8 de ± 52	26,547 de ± 784
Ver 04	1205.6 d,i ± 15	892.1 b,g ± 02	2097.8 b,e ± 17	31,467 b,e ± 251
Ver 06	767.7 kl ± 60	956.4 b,f ± 254	1724.2 de ± 314	25,863 de ± 4706
Ver 08	1037.1 f,l ± 03	835.7 b,g ± 01	1872.9 de ± 04	28,093 de ± 64
Ver 09	1002.4 g,l ± 31	787.9 b,g ± 284	1789.7 de ± 312	26,845 de ± 4674
Ver 11	918.3 i,l ± 05	796.6 b,g ± 06	1715.0 de ± 10	25,725 de ± 142
Ver 12	857.5 j,l ± 08	882.8 b,g ± 05	1740.3 de ± 07	26,105 de ± 97
Ver 01	1082.3 e,j ± 110	1165.3 bc ± 72	2247.7 b,e ± 178	33,715 b,e ± 2663
Promedio	1,121 ± 370	844 ± 393	1,966 ± 633	29,485 ± 9488
DMS	313.5	576.8	785.3	11779.7

Valores con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). DMS: Diferencia Mínima Significativa; C: Capsaicina; DH: Dihidrocapsaicina; SHU: Unidades Scoville.

Los factores ambientales tienen un efecto importante sobre la acumulación de los CAPS. En una población dihaploide de *C. annuum* se presentaron variaciones de hasta ocho veces en el contenido de CAP's cuando fueron cultivados simultáneamente en condiciones ambientales diferentes (Harvell y Bosland, 1997). El estado de desarrollo también tiene efectos importantes sobre la síntesis de CAPS. Dependiendo de los genotipos utilizados y de las condiciones de cultivo, la síntesis ocurre durante las etapas tempranas del desarrollo del fruto, esto es entre los 20 y 50 d después de anthesis (Contreras-Padilla y Yahia, 1998).

La posición del fruto en los tallos también determina el grado de picor en *C. annuum* 'Jalapeño', debido a la diferencia en la temporalidad de desarrollo, lo que puede relacionarse con variaciones en el suministro de algunos de los nutrimentos y fotoasimilados necesarios para el crecimiento y maduración de los frutos (Vázquez *et al.*, 2007; Zewdie y Bosland, 2000).

Determinación de capsaicinoides en tres estados de madurez

Se realizó la cuantificación de capsaicinoides de frutos de chile piquín crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres estados de madurez: verde, intermedio (morado) y rojo. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre estados de madurez y entre accesiones, tal como se muestra en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Picor en frutos de chile piquín producidos bajo condiciones de invernadero, en tres estados de madurez.

ACC	VERDE (SHU)	INTERMEDIO (SHU)	ROJO (SHU)
Ags 01	14894 g,k C ± 1061	23748 e,i B ± 3584.94	55,781 a A ± 1511
Ags 02	17161 f,i C ± 1175	21350 g,k B ± 912	30,665 b,e A ± 3682
Ags 03	22822 a,c C ± 3455	28896 c,e B ± 4490	32,278 b,e A ± 361
Dur 01	18749 d,g C ± 2375	23000 e,j B ± 2007.	27,788 de A ± 1240
Hgo 01	17169 f,i C ± 1307	28442 c,f B ± 357	24,331 de A ± 1034
Mich 01	10091 m,o C ± 1736	26825 d,g B ± 1030	28,300 de A ± 1781
Mich 02	7693 o C ± 1054	36646 ab B ± 1015	22,217 de A ± 2500
Nay 02	22217 b,d C ± 1957	25356 d,h B ± 622	29,352 c,e A ± 823
Oax 01	20078 c,f C ± 1698	30732 b,d B ± 2508	30,261 b,e A ± 12592
Oax 03	13314 i,m C ± 266.	33696 a,c B ± 1059	26,083 de A ± 4128
Oax 05	15923 g,j C ± 949	388672 a B ± 1806	30,821 b,e A ± 8312
Oax 07	13057 j,n C ± 189	22530 f,j B ± 2076	4784 f A ± 254
Oax 10	17816 e,h C ± 809	27144 d,g B ± 3836	4513 f A ± 509
Pue 01	7608 o C ± 1025	27976 c,f B ± 2633	41,516 b A ± 4000
Pue 04	14212 h,i C ± 517	25734 d,h B ± 2154	32,200 b,e A ± 6147
Qro 02	14603 h,k C ± 332	27513 c,g B ± 356	33,999 b,d A ± 1340
Qro 04	13185 i,m C ± 194	36662 ab B ± 605	33,155 b,e A ± 170
Qro 06	7073 o C ± 303	24772 d,h B ± 3506	35,595 b,d A ± 133
Qro 08	21511 c,e C ± 2429	22218 f,k B ± 1446	28,196 de A ± 114
Qro 11	14450 h,k C ± 955	25070 d,h B ± 99	30,992 b,e A ± 1801
Qro 01	15850 g,j C ± 457	24710 d,h B ± 117	33,582 b,e A ± 4671
Qro 03	20334 c,f C ± 1994	16055 kl B ± 86	40,396 bc A ± 1516
Qro 09	26107 ab C ± 706	25006 d,h B ± 157	32,875 b,e A ± 2321
Sin 05	11081 k,o C ± 103	26598 d,g B ± 397	26,547 de A ± 784
Ver 04	8861 o C ± 224	159811 kl B ± 894	31,467 b,e A ± 251
Ver 06	10236 o C ± 670	15990 kl B ± 620	25,863 de A ± 4706
Ver 08	8817 o C ± 186	20068 h,k B ± 1656	28,093 de A ± 64
Ver 09	9083 no C ± 78	18120 i,k B ± 1712	26,845 de A ± 4674
Ver 11	26714 a C ± 194	16782 j,l B ± 668	25,725 de A ± 142
Ver 12	8702 o C ± 501	11450 B ± 3618	26,105 de A ± 97
Ver 01	9786.86 m,o C ± 391	19819 h,k B ± 1157	33,715 b,e A ± 2663
Promedio	14813 ± 5584	24767 ± 6580	29,485 ± 9487
DMS	4026.1	6305.32	11779.7

Valores con diferente letra minúscula en cada columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Valores con diferente letra mayúscula en cada fila son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

De forma general, el picor de los frutos aumentó conforme el fruto fue madurando, con valores promedios de 14,813, 24,767 y 29,485 SHU al pasar de verde, a intermedio y a rojo, en promedio de las accesiones evaluadas. En la Figura 5.6 se resalta el comportamiento de tres accesiones contrastantes a través de los tres estados de madurez. Por ejemplo, la accesión Oax 10 que comenzó con un valor de picor en estado verde, que después aumentó al pasar al estado intermedio y al final bajó drásticamente al llegar al estado rojo. En el caso de Mich 02 su fruto comenzó con bajo picor en verde, que luego aumentó en el estado intermedio y en el estado rojo bajó su picor en 40 %. Por su parte Ags 01 mostró un comportamiento más parecido al promedio, ya que comenzó con picor bajo en estado verde, luego aumentó de picor al avanzar al estado intermedio y siguió aumentando al llegar al fruto rojo maduro.

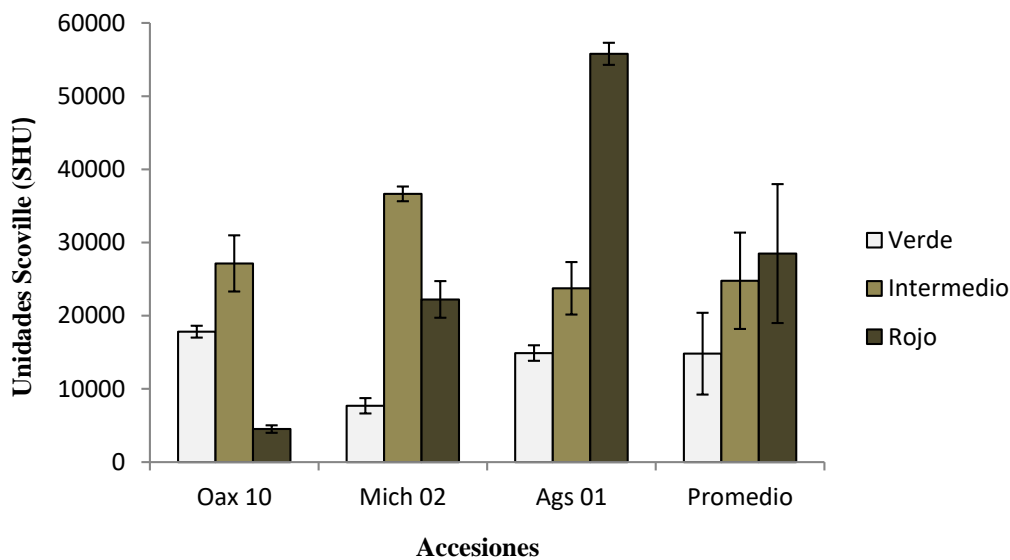


Figura 5.6 Comportamiento promedio del picor en accesiones contrastantes de chile Piquín en tres estados de madurez.

En un análisis realizado por Montoya-Ballesteros *et al.* (2010) en frutos silvestres de Chiltepín en estado verde los autores obtuvieron valores superiores a los encontrados en este estudio al reportar un picor de 70,000 SHU, lo cual pudo deberse al origen silvestre del fruto. Según Iwai *et al.* (1979), los cambios en la concentración de capsaicinoides durante el crecimiento y desarrollo del fruto indican que durante los primeros días después de la floración apenas existen trazas de este compuesto, que luego se incrementan en forma lineal en el periodo de 30 a 50 días,

y después ocurre un descenso hasta la cosecha. Cabe mencionar que estos frutos intermedios se encontraban en color morado, es decir que en ese momento de madurez habían acumulado antocianinas, compuestos que aquí no fueron cuantificados. En cambio, Díaz *et al.* (2004) reportó que los capsaicinoides comienzan a acumularse en las primeras etapas de desarrollo de los frutos y gradualmente aumentan hasta alcanzar una tasa máxima cuando el fruto se aproxima al final de la fase de maduración; tal incremento durante al llegar al estado de maduración rojo puede ser causado por un aumento en la velocidad de síntesis de CAPS y también por una disminución en los niveles de degradación porque hay una caída en la actividad de las isoenzimas implicadas en la oxidación, tal como lo establecen Estrada *et al.* (2000) quienes mostraron que el aumento en el contenido de capsaicinoides durante el desarrollo del fruto no sólo está relacionado con el cambio en la actividad de peroxidasas, sino que también es acompañado por cambios en las isoenzimas diferentes. De esta forma es que la disminución de peroxidasas podría estar relacionada con el aumento en el nivel de capsaicinoides antes de comenzar la senescencia del fruto.

4.6 CONCLUSIONES

De manera general, los frutos cosechados en invernadero tuvieron mayor contenido de capsaicinoides (capsaicina/dihidrocapsaicina) que los frutos recolectados en campo.

El contenido de capsaicina en frutos provenientes de campo fue menor que el de dihidrocapsaicina, mientras que en los frutos cosechados de las accesiones crecidas en invernadero la capsaicina superó a la dihidrocapsaicina.

Los frutos analizados en tres estados de madurez mostraron variación, que en 70 % de las accesiones implicó un aumento en el picor conforme el fruto fue avanzando en estado de madurez para alcanzar su mayor picor en el estado rojo maduro.

4.7 LITERATURA CITADA

- Antonious, G. F., T. S. Kochhar., R. L. Jarret., and J. C. Snyder. 2006. Antioxidants in hot pepper: Variation among accessions. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* 41:1237–1243. doi:10.1080/03601230600857114
- Arimboor, R., R. B. Natarajan., K. R. Menon., L. P. Chandrasekhar., and V. Moorkoth. 2015. Red pepper (*Capsicum annuum*) carotenoids as a source of natural food colors: Analysis and stability a review. *Journal of Food Science and Technology* 52: 1258-1271
- Aza-González, C., H. G. Núñez-Palenius., y N. Ochoa-Alejo. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.) *Plant Cell Reports* 30: 695-706
- Barchenger, D. W., and P. W. Bosland. 2016. Exogenous applications of capsaicin inhibits seed germination of *Capsicum annuum*. *Scientia Horticulturae* 203: 29–31. doi:10.1016/j.scienta.2016.03.009
- Bernal, A. M., A. Calderón A., A. Pedreño M., Muñoz R., R. Barceló A., y C. Merino F. 1993. Capsaicin oxidation by peroxidase from *Capsicum annuum* (var. *annuum*) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41:1041-1044.
- Ben-Chaim, A., Y. Borovsky, M. Falisse, M. Mazourek, B. C. Kang, I. Paran, and M. Jhan. 2006. QTL analysis for capsaicinoids content in *Capsicum*. *Theoretical and Applied Genetics* 113: 1481–1490.
- Bosland, P. W., D. Coon., and P. H. Cooke. 2015. Novel Formation of ectopic (nonplacental) capsaicinoid secreting vesicles on fruit walls explains the morphological mechanism for super-hot chile peppers. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 140(3):253–256. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.140.3.253>
- Blum, E. L., M. Mazourek., M. O'Connell., J. Curry., T. Thorup., K. Liu., M. Jhan., and I. Paran. 2003. Molecular mapping of capsaicinoids biosynthesis genes and quantitative trait loci analysis for capsaicinoids content in *Capsicum*. *Theoretical and Applied Genetics* 108: 79–86.
- Blum, E. L., M. Kede., E. Mazourek., E. Y. Young., M. Jahn., and I. Paran. 2002. Molecular mapping of the C locus for presence of pungency in *Capsicum*. *Genome* 45: 702–705.
- Cázares-Sánchez, E., M. T. Rodríguez-González., R. Soto-Hernández., J. L. Chávez-Servia., F. Castillo-González., y P. Ramírez-Vallejo. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39: 627-23.

- Clark R., and S. H. Lee. 2016. Anticancer properties of capsaicin against human cancer. *Anticancer Research* 36: 837-843.
- Contreras-Padilla, M., and E. M. Yahia. 1998. Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 2075-2079.
- Chung, M. K., and J. N. Campbell. 2016. Use of capsaicin to treat pain: Mechanistic and therapeutic considerations. *Pharmaceuticals (Basel)* 9: 66.
- Díaz, J., F. Pomar., A. Bernal., and F. Merino. 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews* 3: 141-157.
- Dias, G. B., M. Gomes V., M. Moraes T., P. Zottich U., R. Rabelo G., O. Carvalho A., M. Moulin., S. Gonçalves L., Rodrigues R., and M. Da Cunha. 2013. Characterization of *Capsicum* species using anatomical and molecular data. *Genetics and Molecular Research* 12(4): 6488-501. <http://dx.doi.org/10.4238/2013.February.28.29>
- El-Ghoraba, A. H., Javedb Q., F. M. Anjumb., S. F. Hamedc., and H. A. Shaabana. 2013. Pakistani bell pepper (*Capsicum annuum* L.): Chemical compositions and its antioxidant activity. *International Journal of Food Properties* 16(1):18-32.
- Estrada, B., F. Pomar., J. Díaz., F. Merino., and M. A. Bernal. 1999. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *Scientia. Horticulturae* 81: 385-396.
- Estrada, B., A. Bernal M., J. Díaz, F. Pomar, and F. Merino. 2000. Fruit development in *Capsicum annuum*: changes in capsaicin, lignin, free phenolics, and peroxidase patterns. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 6234-6239.
- González-Salán, M. 2004. El Género *Capsicum* al Servicio de la Sociedad Guatemalteca. Simposio y Seminario Taller del Género *Capsicum*: Chile. FACYT 012004.
- Harvell, K. P., and P. W. Bosland. 1997. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *HortScience* 32:1292.
- Iwai, K., T. Suzuki., and H. Fujiwake. 1979. Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Capsicum annuum* var. *annuum* cv. karayatsubusa at different growth stages after flowering. *Agricultural and Biological Chemistry* 43(12): 2493-2498.
- Kim, S., M. Park., S. I. Yeom., Y. M. Kim., J. M. Lee., H. A. Lee., ... and Choi D. 2014. Genome sequence of the hot pepper provides insights into the evolution of pungency in *Capsicum* species. *Nature Genetics* 46(3), 270-278. <https://doi.org/10.1038/ng.2877>
- Kirschbaum-Titze, P., C. Hiepler., E. Mueller-Seitz., and M. Petz. 2002. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*). 1. Decrease of capsaicinoid content following cellular disruption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(5):1260-1263.

- Mazourek, M., A. Pujar, Y. Borovsky, I. Paran, and M. M. Mueller. 2009. A dynamic interface for capsaicinoid systems biology. *Plant Physiology* 150: 1806–1821.
- Manikharda., T. Makoto, A. Mika, Y. Kaoru, H. Fumio, T. Kensaku, and W. Koji. 2018. Influence of fruit ripening on color, organic acid contents, capsaicinoids, aroma compounds, and antioxidant capacity of Shimatogarashi (*Capsicum frutescens*) Manikharda, *Journal of the Oleo Science Society* 67(1):113-123. doi: 10.5650/jos.ess17156J.
- Montoya-Ballesteros, L. C. 2009. Calidad y valor agregado en chiltepín. Memoria. Foro Comunitario de chiltepín Región Río Sonora “El picante Sonorense”. Organizado por CONAFOR 22 de abril de 2009.
- Montoya-Ballesteros, L. C., A. Gardea-Béja, G. M. Ayala-Chávez, Y.Y. Martínez-Núñez, y L. E. Robles-Ozuna. 2010. Capsaicinoides y Color en chiltepin (*Capsicum annuum* var.). Efecto del proceso sobre salsas y encurtidos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 9(2):197-207. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v9n2/v9n2a8.pdf>
- Morales-Soto, A., A. M. Gómez-Caravaca, P. García-Salas, A. Segura-Carretero, y A. Fernández-Gutiérrez. 2013. High-performance liquid chromatography coupled to diode array and electrospray time-of-flight mass spectrometry detectors for a comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in three pepper (*Capsicum annuum* L.) samples. *Food Research International* 51: 977-984.
- Nascimento, P. L., C. Nascimento T., S. Ramos N., R. Silva G., E. Gomes J., E. Falcão R., A. Moreira K., L. Porto A., and M. Silva T. 2014. Quantification, antioxidant and antimicrobial activity of phenolics isolated from different extracts of *Capsicum frutescens* (Pimenta Malagueta). *Molecules* 19: 5434-5447.
- Vázquez-Flota, F., Ma. L. Miranda-Ham., M. Monforte-González., G. Gutiérrez-Carbajal., C. Velázquez-García., y Y. Nieto-Pelayo. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 353–360.
- Stellari, G. M, M. Mazourek., and M. M. Jahn. 2010. Contrasting modes for loss of pungency between cultivated and wild species of *Capsicum*. *Heredity* 104: 460-471.
- Stewart, C., B. C. Kang, K. Liu, M. Mazourek, S. L. Moore, E. Y. Yoo, and M. M. Jahn. 2005. The Pun1 gene for pungency in pepper encodes a putative acyltransferase. *The Plant Journal* 42(5): 675-688.
- Stewart, Jr. C., M. Mazourek, G. M. Stellari, M. O'connell, and M. Jahn. 2007. Genetic control of pungency in *C. chinense* via the Pun1 locus. *Journal of Experimental Botany* 58(5): 979-991.
- Srinivasan, K. 2016. Biological activities of red pepper (*Capsicum annuum*) and its pungent principle capsaicin: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56: 1488-1500.

- Tundis, R., M. R. Loizzo, F. Menichini, M. Bonesi, F. Conforti, G. Statti, D. De Luca, B. de Cindio, and F. Menichini. 2011. Comparative study on the chemical composition, antioxidant properties and hypoglycaemic activities of two *Capsicum annuum* L. cultivars (Acuminatum small and Cerasiferum). *Plant Foods for Human Nutrition* 66: 261-269.
- Veloso, J., C. Prego, M. Varela, R. Carballeira, A. Bernal, F. Merino, and J. Díaz. 2014. Properties of capsaicinoids for the control of fungi and oomycetes pathogenic to pepper. *Plant Biology* 16(1): 177-185
- Wall, M. M., and P. W. Bosland. 1998 Analytical methods for color and pungency of chiles (*Capsicum*) pp: 347–373. In: G. Charalambous (ed.). *Instrumental methods in food and beverage analysis*. Elsevier Science Publishers Amsterdam, The Netherlands.
- Wall, M. M., C. A. Waddell, and P. W. Bosland. 2001. Variation in β -carotene and total carotenoid content in fruits of *Capsicum*. *HortScience* 36(4):746-749.
- Zewdie, Y., and P. W. Bosland. 2000. Pungency of chile (*Capsicum annuum* L.) fruit is affected by node position. *HortScience* 35(6): 1174-1174.
- Zewdie, Y., and P. W. Bosland. 2000b. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. *Euphytica* 111:185-190.

CONCLUSIONES GENERALES

Se logró hacer la colecta de frutos de chile Piquín procedentes de 12 estados de la República Mexicana, además de una accesión de Estados Unidos (Tucson, Arizona). Con ello se acopió una gran variedad de formas y características diversas. Del total de accesiones recolectadas en campo, se lograron germinar y crecer 31 accesiones bajo condiciones de invernadero y llevarlas hasta fructificación.

Los resultados de la prueba de viabilidad no fueron del todo concluyentes para determinar si las semillas eran viables o no. Sin embargo, en la prueba de germinación se obtuvieron altos porcentajes de semillas germinadas después de haber sido sometidas a un tratamiento con AG₃. La prueba de tolerancia al frío mostró que ciertas accesiones pueden resistir temperaturas bajas (3 °C) y que la aplicación de un pre-tratamiento (AG₃) podría ayudar a recuperar la caída de germinación causada por las bajas temperaturas, por lo que sería conveniente realizar más estudios al respecto.

Los frutos de Cag que crecieron bajo condiciones de invernadero tuvieron en la mayoría de accesiones un mayor crecimiento y mayor número de semillas, e incluso algunas accesiones modificaron su forma. Por su parte, los análisis bioquímicos revelaron que las accesiones procedentes de campo mantuvieron valores más altos de SST e IM y más bajos en porcentaje de acidez, con respecto a los frutos recién cosechados en las accesiones crecidas en invernadero. Tal diferencia entre ‘ambientes’ de procedencia, también parece estar asociada con diferencias en el estado de madurez en el que se encontraban, mucho más avanzado en los frutos provenientes de ‘campo’.

Según el análisis de componentes principales, las variables morfológicas, largo, diámetro y número de semillas, así como las variables bioquímicas IM, y acidez son las que aportaron mayor variación en frutos, tanto los colectados en ‘campo’ como los cosechados en invernadero.

El contenido de capsaicinoides en frutos colectados de ‘campo’ fue menor que el de frutos cosechados en invernadero, en parte debido al manejo de postcosecha de los frutos que es desconocido en los frutos recolectados al momento, mientras que los frutos obtenidos de invernadero eran recién cosechados y en su estado rojo pleno. En ambos casos, ‘campo’ e

invernadero, se encontró una amplia diversidad de picor entre las accesiones estudiadas. Los CAP cuantificados en frutos de invernadero en tres estados de madurez presentaron un aumento conforme el fruto fue madurando, en la mayoría de las accesiones.

Las accesiones evaluadas tuvieron muy buena adaptabilidad a las condiciones de invernadero, lo cual abre la posibilidad de establecer su cultivo mediante esta técnica moderna de alta productividad, e incluso se podría pensar en mejoramiento genético para buscar mejoras en rendimiento y en calidad de sabor y grados de picor, con tal variación que podría abastecer a diferentes necesidades y demandas del mercado. Ello contribuiría en gran medida a la conservación del germoplasma.

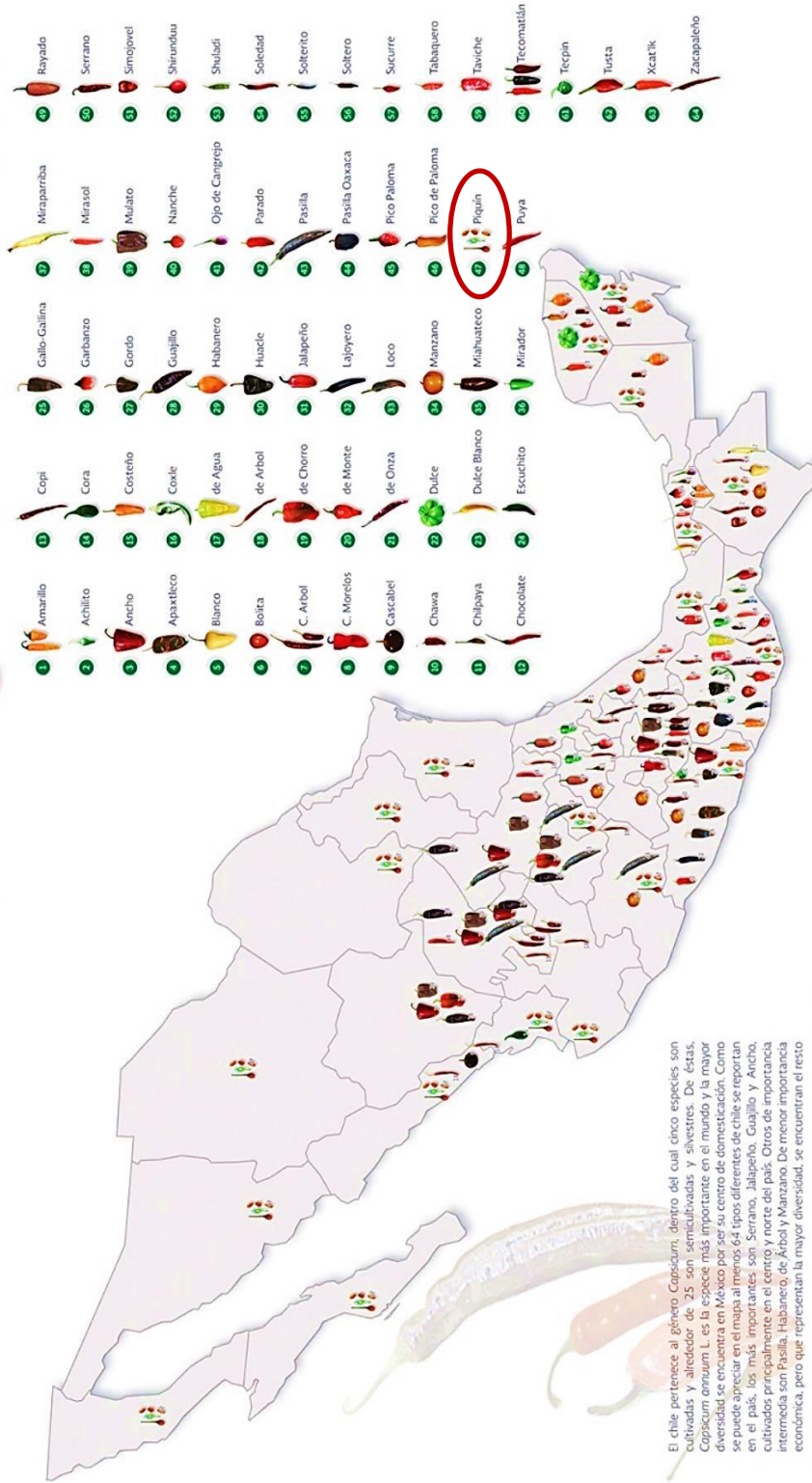
ANEXOS DE CAPÍTULOS



ANEXO CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN GENERAL

DIVERSIDAD DE CHILES EN MÉXICO

2ª edición



El chile pertenece al género *Capsicum*, dentro del cual cinco especies son cultivadas y alrededor de 25 son semicultivadas y silvestres. De éstas, *Capsicum annuum* L. es la especie más importante en el mundo y la mayor diversidad se encuentra en México por ser su centro de domesticación. Como se puede apreciar en el mapa al menos 64 tipos diferentes de chile se reportan en el país, los más importantes son Serrano, Jalapeño, Guajillo y Ancho, cultivados principalmente en el centro y norte del país. Otros de importancia intermedia son Pasilla, Habanero, de Arbol y Manzano. De menor importancia económica, pero que representan la mayor diversidad, se encuentran el resto

Autores:
 Dr. Victor Heber Aguilar Rincón, Dr. Tarsicio Corona Torres, M. en C. Porfirio López López, Dr. Luis Labraunier Moreno, M. en C. Moisés Ramírez Meraz, Dr. Horacio Villalón Mondolza, Dr. Juan Apolinar Aguilar Castillo, Dr. Higinio López Sánchez y Dra. Pamela Aguilar Arceñobal. Integrantes de la Red Chile

Figura 1.1 Distribución de *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*, en la República Mexicana (Aguilar-Rincón *et al.*, 2014)

ANEXO CAPÍTULO III
TOLERANCIA AL FRÍO EN SEMILLAS DE CHILE PIQUÍN

Anexo 3.1 Germinación (%) de semillas de chile Piquín, con 5 ciclos de frío con y sin tratamiento de AG₃.

Acc.	Testigo	Sin AG ₃					Con AG ₃				
		C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
Chi 01	77.3 ± 13.0	12.0 ± 3.8	3.3 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	34.0 ± 15.2	22.0 ± 11.7	21.3 ± 11.2	22.7 ± 13.0	16.7 ± 10.3
Oax 01	100.0 ± 4.5	83.3 ± 14.9	88.0 ± 18.0	84.7 ± 18.3	70.0 ± 24.7	73.3 ± 26.2	92.7 ± 5.5	97.3 ± 3.7	94.0 ± 4.3	86.0 ± 16.4	82.0 ± 16.1
Tuc 01	99.3 ± 1.5	89.3 ± 22.0	86.7 ± 26.1	86.0 ± 27.6	80.0 ± 41.0	78.7 ± 44.0	99.3 ± 1.5	96.0 ± 6.0	92.0 ± 16.1	95.3 ± 10.4	82.0 ± 33.3
Nay 01	100.0 ± 1.5	90.0 ± 0.0	86.0 ± 6.8	79.3 ± 5.5	36.7 ± 20.5	20.7 ± 11.6	92.0 ± 8.7	64.0 ± 19.1	76.0 ± 16.4	32.0 ± 6.9	54.7 ± 35.5
Qro 09	47.3 ± 13.9	54.0 ± 11.6	45.3 ± 7.3	44.7 ± 20.4	34.7 ± 22.3	18.0 ± 16.8	64.7 ± 13.9	56.7 ± 17.0	58.0 ± 7.3	45.3 ± 22.6	36.0 ± 8.9
Ver 03	70.7 ± 7.2	6.7 ± 4.1	6.0 ± 3.7	5.3 ± 4.5	4.0 ± 2.8	0.0 ± 0.0	77.3 ± 12.1	65.3 ± 9.9	64.7 ± 18.3	71.3 ± 20.1	46.0 ± 21.0
Hgo 02	87.3 ± 4.7	87.3 ± 3.7	78.7 ± 21.8	71.3 ± 17.6	75.3 ± 22.1	62.7 ± 15.9	78.7 ± 6.9	81.3 ± 10.2	70.7 ± 17.4	81.3 ± 11.9	55.3 ± 30.6
Dur 01	71.3 ± 4.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	15.3 ± 11.9	11.3 ± 9.3	21.3 ± 6.1	13.3 ± 9.1	19.3 ± 18.0
Pue 01	70.7 ± 8.6	68.7 ± 10.4	49.3 ± 16.9	41.3 ± 14.5	44.0 ± 19.6	42.7 ± 29.9	75.3 ± 5.1	70.7 ± 17.4	70.7 ± 21.7	60.0 ± 9.1	51.3 ± 19.2
Son 04	46.0 ± 7.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	24.0 ± 6.0	33.3 ± 4.1	29.3 ± 6.0	18.7 ± 7.3	7.3 ± 7.2
Sin 03	48.0 ± 10.4	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	18.7 ± 5.1	10.0 ± 6.7	19.3 ± 3.7	21.3 ± 8.4	9.3 ± 6.8
Ags 01	38.0 ± 13.6	7.3 ± 4.3	12.7 ± 8.0	12.0 ± 8.4	10.0 ± 6.2	2.7 ± 2.8	29.3 ± 3.7	23.3 ± 0.0	32.7 ± 3.7	36.0 ± 8.9	23.3 ± 10.0
Son 06	36.7 ± 9.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	30.7 ± 3.7	26.7 ± 6.7	18.7 ± 6.1	30.0 ± 15.5	10.0 ± 0.0

C = Ciclo, AG₃ = ácido giberélico.

ANEXOS CAPÍTULO IV

TAMAÑO Y CALIDAD DE FRUTOS DE CHILE PIQUÍN (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)

Anexo 4.1a Características morfológicas (largo y ancho) en frutos de chile Piquín recolectados en campo y cosechados en invernadero.

ACC.	Largo (mm)		Largo (mm)		Ancho (mm)		Ancho (mm)	
	Campo		Invernadero		Campo		Invernadero	
AGS 01	8.6 h,k	± 2.17	14.3 c,h	± 2.62	2.4 lm	± 0.76	6.7 bc	± 0.36
AGS 02	9.8 f,j	± 1.42	18.1b,d	± 4.45	1.8 m	± 0.61	10.6 bc	± 1.16
AGS 03	10.4 e,h	± 0.86	12.3f,j	± 2.95	6.6 b,e	± 0.48	11.2 bc	± 1.16
DUR 01	17.0 a	± 2.82	14.8c,g	± 2.57	5.3 g,i	± 1.34	6.1 bc	± 1.11
HGO 01	8.3 h,k	± 1.48	12.7e,j	± 2.33	1.5 m	± 0.44	4.1 bc	± 1.19
MICH 01	2.9 m	± 0.42	18.9 bc	± 1.45	4.0 jk	± 0.58	11.9 b	± 0.70
MICH 02	17.3a	± 1.78	21.6b	± 3.94	7.7 ab	± 1.00	11.0 bc	± 2.27
NAY 02	3.8 m	± 0.62	21.1 b	± 2.45	2.2 lm	± 0.11	7.1 bc	± 0.97
OAX 01	11.4 d,g	± 1.77	12.7 e,j	± 1.28	6.7 b,d	± 0.40	4.8 bc	± 0.28
OAX 03	7.8 i,k	± 1.82	11.0 g,k	± 1.09	2.3 lm	± 0.44	4.7 bc	± 0.68
OAX 05	7.2 j,l	± 0.96	13.2 e,j	± 1.82	5.7 d,h	± 1.19	4.7 bc	± 0.79
OAX 07	7.4i,k	± 1.01	13.1 e,j	± 2.98	3.2 kl	± 0.49	5.0 bc	± 0.66
OAX 10	15.9 a,b	± 1.51	37.0 a	± 4.10	8.4 a	± 1.08	23.2 a	± 31.15
PUE01	7.4 i,k	± 0.67	11.7 f,j	± 2.74	1.7 m	± 0.43	4.6 bc	± 0.58
PUE04	13.5 b,d	± 1.98	13.6 d,i	± 4.28	6.3 c,g	± 0.75	4.4 bc	± 0.91
QRO 01	8.9 g,k	± 1.20	9.9 i,k	± 1.39	5.3 g,i	± 0.72	5.3 bc	± 0.60
QRO 02	9.7 f,j	± 1.12	14.5 c,h	± 2.24	5.2 g,i	± 0.58	7.0 bc	± 1.20
QRO 03	4.8 lm	± 0.69	6.7 k	± 1.93	1.3 m	± 0.54	1.9 c	± 1.24

QRO 04	9.0 f,k	± 0.59	11.4 g,j	± 4.42	5.0 h,j	± 0.68	5.4 bc	± 2.53
QRO 06	7.1kl	± 1.25	8.8 jk	± 1.29	4.4 i,k	± 0.26	4.0 bc	± 0.62
QRO 07	11.5 d,f	± 1.62	15.6 c,g	± 1.47	5.2 g,i	± 0.63	6.2 bc	± 0.50
QRO 09	9.6 f,k	± 0.89	16.1 c,f	± 4.58	5.5 e,i	± 0.39	4.9 bc	± 0.69
QRO 10	8.0 h,k	± 0.90	9.6 i,k	± 1.53	5.0 h,j	± 0.58	4.3 bc	± 0.71
SIN 05	3.1 m	± 0.66	9.3 i,k	± 3.04	4.0 jk	± 0.55	7.6 bc	± 0.77
VER 01	14.1 b,c	± 2.40	17.0 b,e	± 1.47	7.4 a,c	± 0.75	7.6 bc	± 0.56
VER 04	9.9 f,i	± 1.01	12.3 f,j	± 2.69	5.2 g,j	± 0.29	5.3 bc	± 1.61
VER 06	14.2 b,c	± 2.31	12.6 e,j	± 4.23	5.6 d,h	± 0.62	4.1 bc	± 1.54
VER 08	9.6 f,k	± 2.30	13.9 d,i	± 2.01	5.5 e,i	± 0.47	6.0 bc	± 0.74
VER 09	12.7c,e	± 1.66	15.2 c,g	± 2.60	6.5 c,f	± 0.94	5.0 bc	± 0.78
VER 11	8.5h,k	± 1.50	15.4 c,g	± 1.22	2.3 lm	± 0.53	6.2 bc	± 4.41
VER 12	14.2b,c	± 1.99	13.5 d,j	± 1.74	5.4 f,i	± 1.04	5.7 bc	± 0.61

Anexo 4.1b. Características morfológicas (peso y número de semillas) en frutos de chile piquín recolectados en campo y cosechados en invernadero.

ACC.	Peso (g)		No. semillas					
	Campo	Invernadero	Campo	Invernadero				
AGS 01	0.15 b,e	± 0.18	0.20 d	± 0.09	15.6 e,l	± 5.40	15.4 c,g	± 6.74
AGS 02	0.11 c,e	± 0.02	0.26 cd	± 0.40	22.5 d, i	± 3.57	12.2 e,g	± 3.79
AGS 03	0.27 b	± 0.06	0.74 b	± 0.31	15.6 e,l	± 5.85	22.6 b,e	± 8.13
DUR 01	0.21 b,d	± 0.24	0.11 d	± 0.08	21.9 d,h	± 7.11	10.1 fg	± 7.06
HGO 01	0.06 e	± 0.01	0.08 d	± 0.03	18.7 d,k	± 4.11	7.4 g	± 4.53
MICH 01	0.09 de	± 0.04	1.12 a	± 0.18	17.2 e,k	± 2.49	50.6 a	± 3.63
MICH 02	0.54 a	± 0.11	1.22 a	± 0.64	49.2 a	± 9.94	13.6 d,g	± 9.61
NAY 02	0.08 de	± 0.01	0.66 b	± 0.19	38.7 b	± 9.21	13.2 d,g	± 4.57
OAX 01	0.12 c,e	± 0.03	0.18 d	± 0.03	21 d,i	± 3.13	8.9 fg	± 4.46



OAX 03	0.11 c,e	± 0.03	0.10 d	± 0.03	14.3 f,l	± 5.64	6.2 g	± 3.22
OAX 05	0.06 e	± 0.02	0.14 d	± 0.05	6.5 l	± 2.01	11.1 fg	± 6.05
OAX 07	0.08 de	± 0.02	0.17 d	± 0.04	16.7 e,k	± 6.45	9.7 fg	± 4.40
OAX 10	0.23 bc	± 0.03	0.51 bc	± 0.10	23.5 d,g	± 4.14	23.2 b,d	± 4.73
PUE01	0.05 e	± 0.02	0.07 d	± 0.03	17.9 d,k	± 6.14	9.4 fg	± 3.95
PUE04	0.09 de	± 0.02	0.07 d	± 0.02	23.9 d,f	± 6.95	16.5 c,g	± 4.67
QRO 01	0.15 b,e	± 0.18	0.08 d	± 0.03	15.3 e,l	± 3.40	6.9 g	± 3.38
QRO 02	0.07 e	± 0.02	0.18 d	± 0.08	15.6 e,l	± 3.44	23.3 b,d	± 9.24
QRO 03	0.06 e	± 0.01	0.04 d	± 0.03	9.9 j,l	± 3.38	6.3 g	± 3.86
QRO 04	0.06 e	± 0.02	0.17 d	± 0.24	11 i,l	± 6.00	7.2 g	± 3.08
QRO 06	0.04 e	± 0.01	0.06 d	± 0.03	9.1 j,l	± 2.42	7.1 g	± 2.69
QRO 07	0.08 de	± 0.02	0.20 d	± 0.16	9 k,l	± 5.42	25.1 c	± 6.03
QRO 09	0.08 de	± 0.02	0.09 d	± 0.06	16.7 e,k	± 4.47	6.1 g	± 5.24
QRO 10	0.06 e	± 0.01	0.05 d	± 0.02	13 h,l	± 2.91	7.8 fg	± 2.57
SIN 05	0.12 c,e	± 0.02	0.27 cd	± 0.10	19.2 d,j	± 3.99	15.7 c,g	± 10.55
VER 01	0.16 b,e	± 0.09	0.07 d	± 0.02	36.3 bc	± 16.07	32.8 b	± 10.74
VER 04	0.05 e	± 0.01	0.11 d	± 0.05	13.4 g,l	± 4.35	15.5 c,g	± 4.77
VER 06	0.10 c,e	± 0.03	0.06 d	± 0.03	21.4 d,h	± 7.88	9.3 fg	± 7.33
VER 08	0.07 e	± 0.01	0.07 d	± 0.03	15.5 e,l	± 2.07	18 c,f	± 7.27
VER 09	0.17 b,e	± 0.18	0.18 d	± 0.04	24.5de	± 6.80	12.2 e,g	± 3.68
VER 11	0.08 e	± 0.02	0.08 d	± 0.01	17.3e,k	± 6.15	28.9 b	± 12.03
VER 12	0.11 c,e	± 0.05	0.10 d	± 0.02	15 e,l	± 3.68	12.2 e,g	± 3.94

Anexo 4.1c ANOVAS de morfología en frutos de chile Piquín

Procedentes de campo

LARGO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LARGO	310	0.87	0.85	15.62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4247.40	30	141.58	60.55	<0.0001
LUGAR	4247.40	30	141.58	60.55	<0.0001
Error	652.35	279	2.34		
Total	4899.75	309			

Diámetro

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ANCHO	310	0.90	0.88	14.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1147.39	30	38.25	79.99	<0.0001
LUGAR	1147.39	30	38.25	79.99	<0.0001
Error	133.40	279	0.48		
Total	1280.79	309			

PESO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO	310	0.62	0.58	65.16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.77	30	0.09	15.05	<0.0001
LUGAR	2.77	30	0.09	15.05	<0.0001
Error	1.71	279	0.01		
Total	4.48	309			

NSEM

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NSEM	310	0.71	0.68	31.12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	24513.39	30	817.11	22.71	<0.0001
LUGAR	24513.39	30	817.11	22.71	<0.0001

Error	10038.30	279	35.98
Total	34551.69	309	

Procedentes de invernadero

LARGO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LARGO	310	0.80	0.78	19.19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8666.35	30	288.88	37.64	<0.0001
LUGAR	8666.35	30	288.88	37.64	<0.0001
Error	2141.28	279	7.67		
Total	10807.63	309			

ANCHO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ANCHO	310	0.32	0.25	86.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4425.99	30	147.53	4.47	<0.0001
LUGAR	4425.99	30	147.53	4.47	<0.0001
Error	9210.01	279	33.01		
Total	13636.00	309			

PESO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO	310	0.77	0.75	70.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26.87	30	0.90	31.23	<0.0001
LUGAR	26.87	30	0.90	31.23	<0.0001
Error	8.00	279	0.03		
Total	34.87	309			

SEMILLAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
# SEMILLAS	310	0.72	0.69	41.47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	28133.42	30	937.78	24.29	<0.0001
LUGAR	28133.42	30	937.78	24.29	<0.0001
Error	10773.50	279	38.61		
Total	38906.92	309			

Anexo 4.2a Determinación de porcentaje de acidez y pH en accesiones de chile Piquín procedentes de campo e invernadero.

ACC.	Campo A (%)	Invernadero A (%)	Campo pH	Invernadero pH
AGS 01	0.2 b ± 0.01	0.4 a ± 0.01	5.4 b,j ± 0.15	5.3 d,f ± 0.02
AGS 02	0.2 b ± 0.01	0.2 c ± 0.02	5.4 b,g ± 0.37	5.3 b,e ± 0.02
AGS 03	0.2 b ± 0.01	0.4 a ± 0.01	5.4 b,g ± 0.06	5.2 e,f ± 0.01
DUR 01	0.2 ab ± 0.02	0.3 b ± 0.02	5.0 e,g ± 0.03	5.2 e,f ± 0.01
HGO 01	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.7 b,e ± 0.28	5.2 e,f ± 0.03
MICH 01	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.02	5.1 c,g ± 0.05	5.5 a,c ± 0.08
MICH 02	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.2 c,g ± 0.18	5.5 a,b ± 0.03
NAY 02	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.1 c,g ± 0.03	5.1 e,f ± 0.02
OAX 01	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.02	5.5 b,g ± 0.14	5.3 d,f ± 0.02
OAX 03	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.5 b,f ± 0.15	5.3 d,f ± 0.02
OAX 05	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	6.1 ab ± 0.12	5.2 e,f ± 0.01
OAX 07	0.2 b ± 0.00	0.3 c ± 0.01	6.4 a ± 0.49	5.3 e,f ± 0.02
OAX 10	0.2 b ± 0.01	0.3 c ± 0.01	5.3 c,g ± 0.09	5.5 b,d ± 0.07
PUE01	0.2 b ± 0.02	0.3 b ± 0.02	4.8 g ± 0.67	5.2C,J ± 0.04
PUE04	0.2 ab ± 0.02	0.3 b ± 0.01	5.5 b,f ± 0.27	5.3 d,f ± 0.03
QRO 01	0.2 b ± 0.01	0.3 ± 0.01	5.5 b,f ± 0.09	5.3 e,f ± 0.01
QRO 02	0.2 ab ± 0.03	0.3 b ± 0.01	5.6 b,e ± 0.09	5.2 e,f ± 0.02
QRO 03	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.5 b,f ± 0.03	5.3 d,f ± 0.02

QRO 04	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.7 a,c ± 0.35	5.3 e,f ± 0.08
QRO 06	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.7 a,d ± 0.02	5.2 e,f ± 0.02
QRO 07	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.6 b,f ± 0.32	5.3 e,f ± 0.05
QRO 09	0.3 ab ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.6 b,e ± 0.08	5.2 e,f ± 0.03
QRO 10	0.3 ab ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.6 b,f ± 0.21	5.4b,e ± 0.03
SIN 05	0.3 a ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.0 e,g ± 0.03	5.5 b,d ± 0.02
VER 01	0.3 ab ± 0.02	0.3 b ± 0.01	5.1 c,g ± 0.01	5.4 b,e ± 0.06
VER 04	0.3 a ± 0.01	0.3 b ± 0.01	4.8 fg ± 0.25	5.1 e,f ± 0.04
VER 06	0.3 a ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.0 e,g ± 0.02	5.3 e,f ± 0.02
VER 08	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.01	4.9 e,g ± 0.02	5.7 a ± 0.04
VER 09	0.3 ab ± 0.01	0.3 b ± 0.01	5.1 c,g ± 0.02	5.3 c,f ± 0.04
VER 11	0.3 ab ± 0.01	0.2 c ± 0.02	5.2 c,g ± 0.17	5.2 e,f ± 0.03
VER 12	0.2 b ± 0.01	0.3 b ± 0.02	5.0 d,g ± 0.02	5.3 e,f ± 0.03

Anexo 4.2b Determinación de porcentaje de solidos solubles totales e índice de madurez en accesiones de chile Piquín procedentes de campo e invernadero.

ACC.	Campo SST (°Brix)	Invernadero SST (°Brix)	Campo IM	Invernadero IM
AGS 01	2.0 d,e ± 0.058	2.2 a ± 0.01	9.4 c,g ± 0.17	5.8 d,h ± 0.15
AGS 02	2.1 c,d ± 0.058	2.1 b ± 0.06	10.2 c,d ± 0.23	9.1 a ± 0.94
AGS 03	2.0 e ± 0.001	2.1 b ± 0.05	8.6 e,i ± 0.36	5.5 e,i ± 0.25
DUR 01	3.0 a ± 0.001	2.2 a ± 0.01	12.3 a ± 0.88	7.0 c ± 0.47
HGO 01	2.0 e ± 0.001	1.5 g ± 0.01	8.6 e,i ± 0.36	4.8 i,l ± 0.14
MICH 01	2.1 c ± 0.001	1.3 i ± 0.01	8.8 c,i ± 0.38	4.21 ± 0.25

MICH 02	2.0 e	± 0.001	1.4h	± 0.02	8.5 e,i	± 0.36	4.3 k,l	± 0.17
NAY 02	2.0 e	± 0.000	2.1 b	± 0.01	9.9 c,e	± 0.50	7.9 b	± 0.31
OAX 01	2.1 c	± 0.001	1.4 h	± 0.01	9.5 c,g	± 0.44	4.5 j,l	± 0.25
OAX 03	2.0 e	± 0.001	1.6 e,f	± 0.01	9.3 c,h	± 0.43	5.1 g,l	± 0.17
OAX 05	2.0 e	± 0.000	1.8 c,d	± 0.01	9.3 c,g	± 0.42	6.4 c,e	± 0.23
OAX 07	2.2 b	± 0.001	1.5 g	± 0.01	10.3 b,c	± 0.00	5.9 d,g	± 0.22
OAX 10	2.0 e	± 0.001	1.5 g	± 0.01	9.3 c,h	± 0.42	5.9 d,g	± 0.22
PUE01	2.1 c	± 0.001	2.1 b	± 0.06	9.4 c,g	± 0.73	6.4 c,d	± 0.36
PUE04	2.2 b	± 0.001	1.6 e,f	± 0.01	8.8 c,i	± 0.63	5.3 f,j	± 0.16
QRO 01	2.0 e	± 0.001	2.1 b	± 0.01	8.6 e,i	± 0.36	6.5 c,d	± 0.20
QRO 02	2.0 e	± 0.000	2.1 b	± 0.01	8.7 d,i	± 0.96	6.6 c,d	± 0.21
QRO 03	2.1 c	± 0.001	1.7F	± 0.01	9.0 c,i	± 0.38	5.4 f,j	± 0.18
QRO 04	2.2 b	± 0.001	1.4 h	± 0.01	9.7 c,f	± 0.45	4.7 i,l	± 0.16
QRO 06	2.0 e	± 0.001	1.8 c	± 0.01	8.6 d,i	± 0.36	6.0 d,f	± 0.21
QRO 07	2.0 e	± 0.001	1.6 e,f	± 0.01	8.4 e,i	± 0.36	5.1 g,k	± 0.19
QRO 09	2.1 c	± 0.001	1.5 g	± 0.01	8.4 e,i	± 0.33	4.7 i,l	± 0.17
QRO 10	3.0 a	± 0.001	1.5 g	± 0.01	11.7 a,b	± 0.47	4.9 h,l	± 0.15
SIN 05	2.1 c	± 0.000	1.4 h	± 0.01	6.8 j	± 0.23	5.2 f,j	± 0.20
VER 01	2.0 e	± 0.001	1.6 e,f	± 0.01	7.6 i,j	± 0.51	4.9 j,l	± 0.14
VER 04	2.1 c	± 0.001	1.5 f,g	± 0.01	7.5 i,j	± 0.29	5.3 f,j	± 0.17
VER 06	2.2 b	± 0.001	1.6 e	± 0.01	7.8 h,j	± 0.30	5.7 d,h	± 0.21
VER 08	2.0 e	± 0.001	1.5 g	± 0.01	8.4 e,i	± 0.37	4.5 j,l	± 0.13
VER 09	2.1 c	± 0.000	1.8 c,d	± 0.01	8.2 f,j	± 0.33	6.5 c,d	± 0.22
VER 11	2.1 c	± 0.001	1.6 e,f	± 0.02	8.1 g,j	± 0.32	6.4 c,d	± 0.47
VER 12	2.1 c	± 0.000	1.5 g	± 0.00	8.8 c,i	± 0.38	4.9 h,l	± 0.29

4.2c ANOVAS de variables bioquímicas determinadas en frutos de chile Piquín

Recolectados en campo

% Acidez

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Ácidez	93	0.66	0.50	13.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.10	30	3.5E-03	4.02	<0.0001
ACC	0.10	30	3.5E-03	4.02	<0.0001
Error	0.05	62	8.6E-04		
Total	0.16	92			

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ph	93	0.80	0.70	4.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12.48	30	0.42	8.10	<0.0001
ACC	12.48	30	0.42	8.10	<0.0001
Error	3.19	62	0.05		
Total	15.67	92			

SST (Brix)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BRIX	93	1.00	1.00	0.69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.32	30	0.18	825.33	<0.0001
ACC	5.32	30	0.18	825.33	<0.0001
Error	0.01	62	2.2E-04		
Total	5.34	92			

IM

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IM	93	0.90	0.85	5.06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo.	110.09	30	3.67	17.72	<0.0001
ACC	110.09	30	3.67	17.72	<0.0001
Error	12.84	62	0.21		
Total	122.93	92			

Cosechados en invernadero

% Acidez

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Acidez	93	0.87	0.80	6.05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.13	30	4.3E-03	13.33	<0.0001
ACC	0.13	30	4.3E-03	13.33	<0.0001
Error	0.02	62	3.2E-04		
Total	0.15	92			

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ph	93	0.86	0.79	1.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.18	30	0.04	12.24	<0.0001
ACC	1.18	30	0.04	12.24	<0.0001
Error	0.20	62	3.2E-03		
Total	1.38	92			

SST (BRIX)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BRIX	93	0.99	0.99	1.73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6.80	30	0.23	263.69	<0.0001
ACC	6.80	30	0.23	263.69	<0.0001
Error	0.05	62	8.6E-04		
Total	6.86	92			

IM

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IM	93	0.96	0.93	4.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo.	105.52	30	3.52	44.45	<0.0001
ACC	105.52	30	3.52	44.45	<0.0001
Error	4.91	62	0.08		
Total	110.43	92			

Anexo 4.3a Determinación del índice de redondez en frutos procedentes de campo e invernadero.

Acc.	Índice de redondez (L/A)				Acc.	Índice de redondez (L/A)			
	Campo		Invernadero			Campo		Invernadero	
AGS 01	3.8 b,f	± 1.4	2.1 c,i	± 0.4	QRO 02	1.9 e,g	± 0.3	2.1 c,i	± 0.4
AGS 02	6.7 a	± 5.4	1.7 f,i	± 0.6	QRO 03	5.2 a,c	± 5.0	3.9 a	± 1.1
AGS 03	1.6 e,g	± 0.1	1.1 i	± 0.2	QRO 04	1.8 e,g	± 0.3	2.1 c,i	± 0.2
DUR 01	3.4 c,f	± 1.2	2.5 b,h	± 0.8	QRO 06	1.6 e,g	± 0.2	2.2 c,i	± 0.3
HGO 01	6.0 ab	± 2.1	3.3 a,c	± 1.2	QRO 07	2.2 d,g	± 0.4	2.5 b,g	± 0.3
MICH 01	0.7 g	± 0.1	1.6 g,i	± 0.2	QRO 09	1.8 e,g	± 0.2	3.3 a,d	± 0.9
MICH 02	2.3 d,g	± 0.4	2.0 c,i	± 0.4	QRO 10	1.6 e,g	± 0.1	2.2 c,i	± 0.2
NAY 02	1.7 e,g	± 0.2	3.0 a,f	± 0.4	SIN 05	0.8 g	± 0.1	1.3 h,i	± 0.6
OAX 01	1.7 e,g	± 0.2	2.6 b,g	± 0.3	VER 01	1.9 e,g	± 0.2	2.2 c,i	± 0.1
OAX 03	3.5 c,f	± 0.8	2.4 b,h	± 0.4	VER 04	1.9 e,g	± 0.2	2.5 b,h	± 0.9
OAX 05	1.3 f,g	± 0.3	2.9 a,f	± 0.5	VER 06	2.6 d,g	± 0.7	3.2 a,d	± 1.0
OAX 07	2.3 d,g	± 0.5	2.7 b,k	± 1.1	VER 08	1.8 e,g	± 0.5	2.3 c,i	± 0.2
OAX 10	1.9 e,g	± 0.3	3.5 ab	± 1.7	VER 09	2.0 e,g	± 0.4	3.1 a,e	± 0.7
PUE01	4.7 a,d	± 1.1	2.5 b,g	± 0.4	VER 11	4.0 b,e	± 1.3	3.2 a,d	± 1.3
PUE04	2.2 e,g	± 0.4	3.1 a,d	± 0.8	VER 12	2.7 d,g	± 0.6	2.4 b,h	± 0.4
QRO 01	1.7 e,g	± 0.4	1.9 e,i	± 0.2					

Anexo 4.3b ANOVAS de índice de redondez en frutos de chile Piquín

Recolectados en campo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
L/A	310	0.51	0.45	57.90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	629.12	30	20.97	9.56	<0.0001
Campo	629.12	30	20.97	9.56	<0.0001
Error	611.96	279	2.19		
Total	1241.08	309			

Cosechados en invernadero

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
L/A	310	0.50	0.44	27.76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	133.14	31	4.29	8.90	<0.0001
Invernadero	133.14	31	4.29	8.90	<0.0001
Error	134.22	278	0.48		
Total	267.36	309			

Anexo 4.4a Determinación de color en frutos de chile Piquín recolectados en campo.

Acc.	L	a*	b*
Ags 01	24.21 ± 0.08	18.06 ± 0.19	13.35 ± 0.16
Ags 02	46.64 ± 3.00	18.90 ± 5.73	32.87 ± 5.11
Ags 03	20.06 ± 1.41	14.98 ± 1.88	11.98 ± 1.35
Dur 01	22.47 ± 1.51	18.14 ± 1.69	14.79 ± 0.99
Hgo 01	36.54 ± 2.19	10.99 ± 2.77	23.39 ± 3.70
Mich 01	33.63 ± 0.12	20.80 ± 0.09	16.68 ± 0.77
Mich 02	26.66 ± 4.28	19.12 ± 6.39	13.82 ± 0.74
Nay 02	26.7 ± 0.40	27.73 ± 0.42	28.37 ± 0.3
Oax 01	21.82 ± 0.58	20.61 ± 0.44	17.89 ± 0.28
Oax 03	28.15 ± 0.16	29.90 ± 1.98	21.83 ± 1.20
Oax 05	28.82 ± 2.10	13.01 ± 0.45	18.32 ± 1.33
Oax 07	32.51 ± 0.96	20.76 ± 1.67	27.07 ± 1.67
Oax 10	25.90 ± 1.31	27.90 ± 1.13	27.09 ± 0.57
Pue 01	31.97 ± 0.29	17.48 ± 0.50	23.89 ± 0.88
Pue 04	32.12 ± 2.33	16.80 ± 2.78	27.27 ± 1.48
Qro 01	24.73 ± 0.25	22.44 ± 0.84	20.53 ± 0.31

Qro 02	27.21	±	1.24	27.05	±	0.41	22.48	±	0.45
Qro 03	32.67	±	1.58	32.38	±	1.70	27.70	±	1.43
Qro 04	37.19	±	0.87	21.38	±	0.47	29.61	±	0.88
Qro 06	28.67	±	3.87	28.11	±	1.97	22.15	±	0.83
Qro 07	25.73	±	1.04	21.58	±	1.46	18.91	±	1.13
Qro 09	26.82	±	0.47	27.81	±	0.77	23.34	±	1.49
Qro 10	28.90	±	0.50	10.70	±	0.65	19.99	±	1.72
Sin 05	28.00	±	2.68	20.26	±	2.66	23.83	±	2.10
Ver 01	28.60	±	0.05	24.10	±	0.33	19.59	±	0.64
Ver 04	30.72	±	1.91	23.75	±	3.77	24.70	±	2.18
Ver 06	26.93	±	1.09	21.59	±	0.50	23.33	±	1.11
Ver 08	30.08	±	1.19	21.88	±	0.33	25.27	±	0.45
Ver 09	31.92	±	2.40	19.14	±	3.02	26.19	±	2.83
Ver 11	25.53	±	1.10	22.86	±	0.87	19.39	±	2.41
Ver 12	33.97	±	1.02	27.07	±	3.71	29.90	±	2.25

Anexo 4.4b Determinación de color en frutos de chile Piquín cosechados en invernadero.

Acc.	L			a*			b*		
Ags 01	20.5	±	0.4	19.1	±	0.1	11.8	±	0.1
Ags 02	23.4	±	0.6	18.8	±	0.1	12.6	±	0.0
Ags 03	22.8	±	0.4	18.3	±	0.7	11.5	±	0.4
Dur 01	30.9	±	0.8	36.4	±	0.5	27.5	±	0.3
Hgo 01	27.5	±	0.4	40.6	±	0.4	31.4	±	0.3
Mich 01	31.6	±	0.4	38.4	±	0.4	30.2	±	0.1
Mich 02	30.5	±	0.1	24.1	±	0.5	20.6	±	0.1
Nay 02	26.7	±	0.3	27.7	±	0.4	28.4	±	0.4
Oax 01	27.3	±	0.2	39.3	±	0.3	26.5	±	0.1
Oax 03	29.8	±	0.1	43.8	±	0.7	35.9	±	7.7
Oax 05	26.3	±	0.2	34.9	±	0.7	26.0	±	0.9
Oax 07	21.1	±	0.5	32.2	±	0.4	21.2	±	0.7
Oax 10	22.6	±	0.2	35.8	±	0.9	20.9	±	0.2
Pue 01	27.4	±	0.2	32.8	±	0.1	26.5	±	0.7
Pue 04	36.5	±	0.4	29.3	±	0.1	22.2	±	0.1
Qro 01	26.5	±	0.4	26.5	±	0.2	19.3	±	0.6
Qro 02	27.5	±	0.2	23.2	±	0.2	16.7	±	0.5
Qro 03	26.6	±	0.0	37.6	±	0.5	26.6	±	0.0
Qro 04	33.4	±	0.4	38.1	±	0.1	32.8	±	0.1
Qro 06	32.6	±	0.2	41.1	±	0.1	28.1	±	0.1
Qro 07	36.2	±	0.1	42.4	±	0.6	40.7	±	0.3
Qro 09	26.4	±	0.4	29.1	±	0.0	19.4	±	0.2
Qro 10	28.5	±	0.2	16.7	±	0.3	18.1	±	0.7
Sin 05	30.7	±	0.1	39.9	±	0.1	33.0	±	0.2
Ver 01	32.1	±	0.0	37.5	±	0.4	27.9	±	0.2
Ver 04	26.3	±	0.6	36.2	±	0.2	31.9	±	0.0
Ver 06	29.4	±	0.4	28.5	±	0.1	21.9	±	0.4

Ver 08	31.3	±	0.3	39.5	±	0.1	31.5	±	0.6
Ver 09	35.8	±	0.1	42.5	±	0.5	35.1	±	1.8
Ver 11	28.4	±	0.2	33.4	±	0.5	37.4	±	0.4
Ver 12	30.5	±	0.7	36.8	±	0.2	29.5	±	0.2

<https://nixsensor.com/free-color-converter/>

ANEXOS CAPÍTULO V

CUANTIFICACIÓN DE CAPSAICINOIDES

Anexo 5.1 ANOVAS de capsaicinoides en frutos de chile Piquín procedentes de campo e invernadero

Contenido CAP

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Contenido CAP	279	0.96	0.95	10.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	36300277.4	92	394568.23	53.09	<0.0001
ACCESION	7969534.92	30	265651.16	35.75	<0.0001
ACCESION>MD	28330742.4	62	456947.46	61.49	<0.0001
Error	1382308.46	186	7431.77		
Total	37682585.8	278			

Contenido DH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Contenido DH	279	0.92	0.89	16.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	31437510	92	341712.07	24.91	<0.0001
ACCESION	6291371.76	30	209712.39	15.29	<0.0001
ACCESION>MD	25146138.2	62	405582.87	29.57	<0.0001
Error	2551473.37	186	13717.6		
Total	33988983.4	278			

Contenido C + DH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
----------	---	----------------	-------------------	----



Capsa/DH	279	0.95	0.93	10.86	
----------	-----	------	------	-------	--

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	108483535	92	1179168.86	42.47	<0.0001
ACCESION	20574370.8	30	685812.36	24.7	<0.0001
ACCESION>MD	87909164.6	62	1417889.75	51.07	<0.0001
Error	5163800.93	186	27762.37		
Total	113647336	278			

ANEXO FOTOGRÁFICO



Frutos de chile Piquín recolectados en diferentes estados de la República Mexicana



Establecimiento de plantas de chile Piquín en invernadero



Diversidad de formas y colores en frutos de chile Piquín establecidas en invernadero