



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE
FRUTOS EN GERMOPLASMA DE CHILE HABANERO
CULTIVADO EN DIFERENTES AMBIENTES**

REPOSITORIO

Que presenta:

Olga Beatriz Sosa Estrella

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Luis Latournerie Moreno

Conkal, Yucatán, México
Marzo, 2023



TecNM



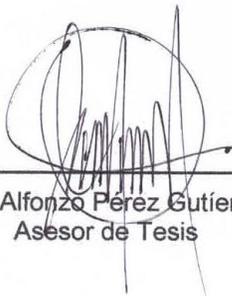
Conkal, Yucatán, México a 24 de Marzo de 2023.

El comité de tesis del candidato a grado: Olga Beatriz Sosa Estrella, constituido por los CC. Dr. Luis Latournerie Moreno, Dr. Enrique Sauri Duch, y M.C. Alfonso Pérez Gutiérrez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **“Evaluación de características de calidad de frutos en germoplasma de chile habanero cultivado en diferentes ambientes”** que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

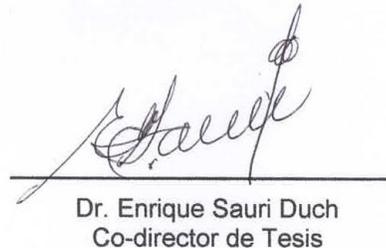
ATENTAMENTE



Dr. Luis Latournerie Moreno
Director de Tesis



M.C. Alfonso Pérez Gutiérrez
Asesor de Tesis



Dr. Enrique Sauri Duch
Co-director de Tesis



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal

División de Estudios de Posgrado e Investigación

Conkal, Yucatán, México a 24 de Marzo de 2023

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Olga Beatriz Sosa Estrella

Índice de Contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatorias	iv
Índice de Contenido.....	vi
Índice de cuadros e índice de figuras	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.2.1 Recursos Fitogenéticos, Biodiversidad y Ambiente	3
1.2.2 Centro de origen y diversidad del germoplasma del chile.....	4
1.2.3 Importancia y estudios del germoplasma de Chile habanero.....	5
1.2.4 Características fisicoquímicas del chile habanero.....	6
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo general.....	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4. Hipótesis	11
1.5 Procedimiento experimental	12
1.6 Literatura citada.....	13
CAPÍTULO 2. COMPORTAMIENTO DE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE CALIDAD EN CHILE HABANERO EN DIFERENTES AMBIENTES	19
2.1 Resumen	19
2.1 Abstract	20
2.2 Introducción.....	21
2.3 Materiales y métodos.....	23
2.3.1 Origen del material genético vegetal.....	23
2.3.2 Variables estudiadas.....	23
2.3.3 Color (°Hue o tono), Luminosidad y Pureza (saturación) del color	23
2.3.4 Contenido de capsaicina	24
2.3.5 Diseño estadístico del análisis experimental de los datos.....	24

2.4 Resultados y discusión	25
2.4.1 Color (°Hue o tono) 27	
2.4.2 Luminosidad	28
2.4.3 Pureza (saturación) de color	29
2.4.4 Contenido de capsaicina	32
2.5 Conclusiones	37
2.6 Agradecimientos	38
2.7 Literatura citada.	39

Índice de cuadros e índice de figuras

CAPÍTULO 2

Cuadro 1. Análisis de varianza general (combinado) , cuadrados medios de las características de calidad evaluadas en 55 poblaciones en frutos de germoplasma de chile habanero maduro en dos localidades del Estado de Yucatán, México. 26

Cuadro 2. Comparación de medias de las características físicas de calidad Color (°Hue o tono), luminosidad y Pureza (saturación) del color en las poblaciones de chile habanero maduro evaluadas en dos localidades del Estado de Yucatán, México...30

Cuadro 3. Comparación de medias de las características físico/químicas de calidad (capsaicina), en las poblaciones de chile habanero maduro evaluadas en dos localidades del Estado de Yucatán, México..... 34

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Color (°Hue o tono) de las 55 poblaciones de germoplasma de chile habanero maduro evaluadas en las localidades o ambientes Conkal, Tizimín en el Estado de Yucatán..... 42

Anexo 2. Cuadro 4. Análisis de varianza individual (Conkal, Tizimín), cuadrados medios de las características de calidad evaluadas en 55 poblaciones en frutos de germoplasma de chile habanero maduro en dos localidades del Estado de Yucatán, México..... 48

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

Los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA), son los cimientos para la producción de alimentos, y la base biológica para la seguridad alimentaria, así como los medios de vida y el desarrollo económico (FAO, 2011). Ramírez *et al.* (2013) define a los recursos fitogenéticos como el material genético de origen vegetal que tiene un valor real o potencial destinado a la alimentación y la agricultura. Estos recursos han sido conservados y desarrollados por los agricultores de forma tradicional, y son la base para desarrollar nuevas variedades y tecnologías de producción.

La diversidad biológica en México se caracteriza por estar compuesta de un gran número de especies endémicas, es decir que son exclusivas del país. No obstante, no existe mucha información sobre la diversidad genética. El número de especies estudiadas es muy pequeño (Sarukhán *et al.*, 2017). México es un país diverso, en el que ocupa el 4° lugar a nivel mundial en agrobiodiversidad de los recursos genéticos vegetales, con un 10 por ciento del total registrado en la actualidad. Miles de especies vegetales cultivadas y sus variedades silvestres conforman la diversidad genética de la que depende la producción de los alimentos (Lobo-Arias *et al.*, 2009).

México es centro de origen y de diversidad genética de los recursos fitogenéticos como el maíz, frijol, calabaza, cacao, vainilla, aguacate, chile, entre otros cultivos, los cuales se encuentran en diversificación y adaptación constante. Entre ellas hay 40 especies diferentes del género *Capsicum*, de las cuales cinco especies de chile se han domesticado (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens*, *C. baccatum*), de estas las primeras cuatro son cultivadas en el país (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015).

México posee una amplia diversidad de chiles que comprende diferentes tipos que varía desde los dulces hasta los altamente picosos. Al respecto Aguilar-Rincón *et al.* (2010) describen la diversidad genética y la distribución geográfica de 64 tipos o variantes de chiles que pertenecen a cuatro especies cultivadas (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens*) y el pariente silvestre de *C. annuum* var. *Glabriuculun*. En donde mas del 90%

de las variantes pertenecen a *C. annuum*, entre ellos están el chile ancho, mulato, miahuateco, chile de chorro o cristalino, huacle, gordo, pasilla de Oaxaca, dulce, de agua, jalapeño, rayado serrano, loco, chile criollo de Tecamatlán Rojo, Amarillo y Negro, coxle, criollo de Morelos, ya'ax ik, xcat ik, gallo, guajillo, de árbol, puya, copi, soledad, pasilla, chawa, etc, otros son característicos de regiones específicas. En este sentido Vera-Sanchez *et al.* (2016) mencionan que Oaxaca es el estado con mayor diversidad, con al menos 25 tipos, seguido por el estado de Guerrero con 12, Puebla con 10 y en Veracruz se identificaron 9. Pero en el norte del país, comprende los estados de Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Baja California, solamente se registraron diferentes variantes de chile Piquín o chiltepín (*C. annuum* var. *Glabriusculum*).

En La Península de Yucatán sobresale el chile habanero (*C. chinense*) que presenta amplia variabilidad, así como características particulares propias de la región como es sabor, aroma, consistencia, picor del fruto entre otros (López-Espinosa *et al.*, 2018; López-Gómez *et al.*, 2020). Por las características distintivas del chile habanero se le otorgó la Denominación de Origen como “Chile habanero de la Península de Yucatán” publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de Junio de 2010. Por lo que posterior a ello se desarrolló la modificación y actualización de método de prueba (análisis) y especificaciones en el año 2017 como Norma Oficial Mexicana NOM-189-SCFI-2017. Posteriormente, con la finalidad de impulsar el registro de variedades mejoradas se se elaboró las directrices para la descripción varietal del chile habanero (SAGARPA-SNICS, 2014), así como el manual gráfico para la descripción varietal del chile habanero (SAGARPA-SNICS, 2015).

En Yucatán el cultivo de chile habanero es considerado como una de las hortalizas más importantes económicamente, esta se consume como frutos frescos o deshidratados, como ingrediente principal o especia de la comida tradicional (González *et al.*, 2007). Los chiles, en general, contienen numerosos compuestos químicos, volátiles como son los flavonoides, polifenoles, carotenoides, aceites, ácidos grasos, capsaicinoides, vitaminas, proteínas, fibras y elementos traza como son los minerales (Krishna *et al.*, 2003). Los dos compuestos químicos más importantes de los frutos de los chiles son los carotenoides y capsaicinoides. Los carotenoides proporcionan un alto nivel nutricional y color; mientras que los capsaicinoides son alcaloides que confieren la característica de picor o pungencia

en los chiles (Pérez-Gálvez *et al.*, 2003).

Con la diversidad de chiles de la Península de Yucatán se han desarrollado diversos estudios, como caracterización agronómica (Latournerie *et al.*, 2015), fenológica y fisiológica (Meneses-Lazo *et al.*, 2018), descripción de la diversidad fenotípica (Aguilar *et al.*, 2010; Vera-Sánchez *et al.*, 2016), diversidad genética (López-Espinoza *et al.*, 2018), entre otros. Sin embargo, no se ha estudiado esta diversidad en particular del chile habanero en función de sus componentes fisicoquímicas de calidad del fruto y valor nutritivo. En este sentido se planteó el presente estudio con el objetivo de caracterizar la diversidad fisicoquímica en frutos del germoplasma de chile habanero y su relación con el ambiente.

1.2 Antecedentes.

1.2.1 Recursos Fitogenéticos, Biodiversidad y Ambiente

En la actualidad los temas ambientales globales de mayor importancia son la destrucción de la capa de ozono, el calentamiento climático global, la degradación de la calidad del agua, el suelo y el aire, así como la contaminación y la explotación inadecuada de los recursos, en este sentido un tema muy importante a nivel mundial es la pérdida de la biodiversidad (Mantika-Pringle *et al.*, 2015). Las causas básicas de estos hechos son, por un lado, los altos índices de crecimiento demográfico, cuya consecuencia ha sido la pobreza en muchos países en desarrollo, y por otro lado, los patrones de uso energético y de consumo en países industrializados (Correa *et al.*, 2009). Esta pérdida de la biodiversidad generalmente se considera un asunto ambiental, pero sus causas principales, son de carácter social, económico y político principalmente. Otro problema a la pérdida de la diversidad es la erosión genética que ocurre en los cultivos (Proenca *et al.*, 2015; Sacchelli *et al.*, 2016).

El cambio climático conlleva a que las plantas y los ecosistemas tengan que adaptarse a temperaturas más altas, a cambios en la precipitación, entre otros. En este sentido la variabilidad genética de las plantas puede ayudar a disminuir o revertir los efectos de la degradación ambiental (Ramírez *et al.*, 2010). Es por ello, que los recursos fitogenéticos tienen un papel de gran importancia en la degradación y rehabilitación de los suelos degradados. Existen muchas especies que se han adaptado a una amplia diversidad de condiciones climáticas, por lo que algunas de estas especies han sido el fruto de la

selección que han hecho los mismos agricultores durante varias generaciones (Altieri *et al.*, 2000). Al respecto Paruelo *et al.* (2005), agregan que hay varias razones para creer que las variedades tradicionales pueden adaptarse a los posibles cambios climáticos. En este sentido Clayton *et al.* (2019) describen al cambio climático como uno de los problemas a los que se enfrenta actualmente la sociedad, sin embargo más que un problema ambiental descrito, es mejor entenderlo como un problema humano. Por ello se ha dado la tarea de debatir este tema con tres diferentes áreas : el conocimiento sobre el cambio climático, los impactos del cambio climático y por último los cambios comportamentales en la respuesta al cambio climático.

1.2.2 Centro de origen y diversidad del germoplasma del chile

El chile pertenece al género *Capsicum* y a la familia de las *Solanáceas*, todas las especies de este género son originarias de América. El género *Capsicum* agrupa alrededor de 35 especies, de éstas cinco especies son cultivadas (*C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* L. y *C. pubescens* Ruiz & Pav. (Carrizo-García *et al.*, 2016). De las cuales, las cuatro primeras están presentes en México, en donde *C. annuum* es la de mayor importancia debido a que México es su centro de origen y domesticación (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015).

El chile habanero es característico de la Península de Yucatán, México. Este fue introducido por el Caribe, el cual se integró a la cultura y gastronomía de la región, de donde se dispersó por todo el país (López-Espinosa *et al.*, 2018). El chile habanero tiene características propias como aroma, color, sabor, consistencia, picor, entre otras; razón por la cual el 4 de junio de 2010 se otorgó la denominación de origen como “Chile habanero de la Península de Yucatán” (IMPI, 2010), posteriormente se desarrolló la Norma Oficial Mexicana NOM-189-SCFI-2017 de Chile habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.) Especificaciones y métodos de prueba.

1.2.3 Importancia y estudios del germoplasma de Chile habanero

En la Península de Yucatán, en el ciclo otoño-invierno del 2020 se sembraron en condiciones de riego 109.0 ha, con lo que se obtuvo una producción de 1064.00 t con rendimiento de 13.054 t. ha⁻¹ en promedio. En condiciones de temporal para el ciclo primavera-verano, se sembraron 99 ha, con una producción de 191.00 t con rendimiento promedio de 1.926 t. ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2020).

Los principales usos a las que se destina el chile habanero en el Estado de Yucatán, es como condimento, productos alimenticios como es la comida tradicional y típica del Estado y el 80% de la producción se comercializa como fruto fresco (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios, 2018), por otro lado tiene otros usos en la industria alimentaria, por los capsaicinoides, que son utilizados en la industria médica, farmacológica para el uso de cosméticos, como en la industria química (González *et al.*, 2007).

En chile habanero se han desarrollado diversos estudios, entre estos Latournerie *et al.* (2002) describieron la diversidad morfológica *in-situ* y se determinó la relación entre la clasificación de los chiles que cultivan los agricultores y la variabilidad morfológica fenotípica. En cuanto a enfermedades Cristóbal *et al.* (2006) trabajaron con *Alternaria solani* Jones & Grout como inductor de la mancha foliar del chile habanero. En aspectos de nutrición Huez-López *et al.* (2013) estudiaron el efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de chile habanero. Mientras que López-Gómez *et al.* (2017) evaluaron el efecto de diferentes regímenes nutrimentales en chile habanero cultivado en un sistema hidropónico.

Castillo-Aguilar *et al.* (2019) realizó un estudio sobre caracterización de chile habanero variedad Rosita, que es una variante cultivada en el estado de Campeche. De acuerdo a los resultados obtenidos, las características morfológicas distintivas de este chile se encontraron en plántula, planta flor, fruto y semilla.

En mejoramiento genético Ramírez-Meraz *et al.* (2018) generaron una variedad de chile habanero (Jaguar) con alto rendimiento y calidad de fruto para las regiones productoras de México en el 2009.

1.2.4 Características fisicoquímicas del chile habanero

La calidad del fruto del germoplasma del Chile habanero está en función de la apariencia, tamaño, forma y el peso unitario, así como la firmeza y el color entre otras características (Coop *et al.*, 2011). En los chiles existe un complejo de compuestos capsaicinoides ($C_{18}H_{27}NO_3$) que determinan el grado de picor. La concentración de capsaicinoides varía según la especie, condiciones de cultivo y las características de los compuestos. Aunque los más conocidos y de mayor proporción son la capsaicina y la dihidrocapsaicina (Sweat *et al.*, 2016). El grado de picor, es mayor cuando el fruto se encuentra en madurez fisiológica, este va disminuyendo conforme avanza el proceso de madurez. La disminución del grado de picor se debe a la enzima peroxidasa que degrada la capsaicina (Vázquez *et al.*, 2007). Lannes *et al.* (2007) reportaron en 49 colectas de chile habanero, que el tamaño del fruto está relacionado con el grosor del pericarpio, a mayor tamaño mayor grosor de pericarpio y esto también se relaciona con una mejor vida de anaquel de los frutos. En cuanto al color de fruto se observó que el 18% de las colectas sobresalieron al presentar valores superiores a 200 unidades de longitud de onda. Para el contenido total de Capsaicinoides se observó amplia variación entre las colectas y la etapa de maduración. El 27% de las colectas contenían $0.9 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ en peso seco de capsaicina. El 2.5% sobresalieron por tener mayor contenido de capsaicina que osciló entre 12 y $14 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco.

Cisneros-Pineda *et al.* (2007) realizaron un análisis cuantitativo mediante cromatografía de gases, del contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina en el pericarpio, la placenta y semillas de cuatro variedades, una de *Capsicum annuum L. var. annuum*, una variedad de *Capsicum annuum L. var. aviculare*, y dos variedades de *Capsicum chinense Jacq* (habanero anaranjado y blanco). Encontraron que la variedad de chile habanero anaranjada presentó mayor contenido de capsaicina con valores de $3914\pm 292 \mu\text{g/g}$ en pericarpio, en placenta de $62,886\pm 3497 \mu\text{g/g}$ y de $2,280 \pm 139 \mu\text{g/g}$ en semilla seca, mientras que la variedad de chile habanero blanco tuvieron menor concentración ($2592\pm 85 \mu\text{g/g}$ en pericarpio, $29,483\pm 1854 \mu\text{g/g}$ en placenta y $3,195\pm 170 \mu\text{g/g}$ en semilla seca). Las variedades pertenecientes a *C. annuum* presentaron valores inferiores. Un comportamiento diferente se observó para la dihidrocapsaicina, donde las variedades de *C. annuum*

superaron en concentración a las variedades de habanero con excepción del caso del chile Xcat'ik (*C. annuum*) que contiene cantidades muy bajas de este compuesto.

Brito-Vega *et al.* (2014) determinaron color (pigmentos totales), carotenoides totales y actividad antioxidante en frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), amashito (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) y chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Reportaron que el chile habanero y amashito se caracterizaron por presentar mayor cantidad de acumulación de color (0.043 unidades) con respecto al chile Jalapeño. Para el contenido total de carotenoides el amashito con $496.10 \pm 67.08 \mu\text{g/g}$ y habanero $445.91 \pm 24 \mu\text{g/g}$ tuvieron valores muy similares. En el caso de la actividad antioxidante total, el chile habanero presentó la mejor propiedad antioxidante. Por otro lado, Zavaleta-Avejar *et al.* (2008) encontraron que los frutos de chile habanero verdes y maduros, al someterlos al proceso de secado, incrementaron el nivel de pungencia o picor; en promedio, las muestras deshidratadas en la estufa presentaron mayor nivel de picor que las deshidratadas en secador solar.

Castro *et al.* (2012) determinaron antioxidantes (carotenoides, ascorbato y glutatión) en tres poblaciones de chile habanero en diferentes etapas de maduración. Concluyeron que el color de los frutos se debe a la acumulación de clorofilas y carotenoides, que pudieran funcionar tanto como antioxidantes como protectores de luz ultravioleta y visible.

Pino *et al.* (2006) estudiaron los cambios cualitativos de compuestos volátiles en dos poblaciones de chile habanero en dos etapas de maduración (verde y anaranjado), con el método analítico Cromatografía de Gases (GC) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS). Observaron que durante el proceso de maduración del chile habanero, la mayoría de los compuestos volátiles ((E)-2-hexenal, isopentanoato de hexilo, (Z)-3-hexenil isopentanoato, hexenil pentanoato, entre otros) disminuyeron e incluso desaparecieron. Por otro lado la intensidad de color de frutos verdes a frutos en estado de madurez “anaranjados” incrementó de 39.78 a 59.54, respectivamente. Este comportamiento también se observó en la concentración de capsaicina. De igual forma Pino *et al.* (2007) determinaron capsaicinoides totales, color, porcentaje de ceniza y compuestos volátiles en diez poblaciones chile habanero (cuatro de frutos rojos, cinco de frutos anaranjados y una de color de frutos marrón). Reportaron que el color del fruto influyó en la concentración de capsaicinoides y color o luminosidad. Los chiles de frutos color marrón

presentaron valores altos para capsaicinodes (65.8 mg.g^{-1} en peso seco) y bajos para luminosidad (28.1); mientras que poblaciones de frutos anaranjados presentaron valores similares para capsaicina, pero con valores altos para la luminosidad. Siendo las poblaciones de color de frutos rojos, los que presentan las concentraciones mas bajas. En general también se observó variación entre las poblaciones con frutos de igual color. Además la cantidad de compuestos volátiles es mayor en los cultivares de frutos color naranjados y marrón en comparación con los cultivares rojos. Concluyeron que las poblaciones con frutos color anaranjados y marrón son mejores en términos de su composición química que los cultivares de color rojo.

Wahyuni *et al.* (2011) analizaron color o luminosidad y contenido de capsaicinoides en 32 poblaciones de chile *Capsicum* spp. Concluyeron que la composición y el nivel de los metabolitos en los frutos variaron mucho entre las poblaciones, siendo independientes de las especies y la ubicación geográfica. Mientras que los niveles de capsaicinoides variaron desde 0.07 hasta 80 mg/100 g de fruto en peso en el pericarpio del fruto.

Por otra parte Zamljem-Zupanc *et al.* (2020) evaluaron en condiciones de invernadero cómo el riego influye sobre el rendimiento, crecimiento de las plantas, el efecto de la acumulación de los metabolitos primarios (azúcares, ácidos orgánicos, ácido ascórbico) y secundarios (contenido fenólico total, capsaicina y dihidrocapsaicina) en *C. annum L var. Chili-As Rot* y *C. chinense Jacq var. Naga Morich*. El efecto defecitario de riego afectó la cantidad de rendimiento, ya que ambas especies tuvieron menor rendimiento con riego defecitarios. Las concentraciones de azucares fueron las más bajas en ambas especies de plantas bajo riego defecitario. Las concentraciones de ácidos orgánicos en frutos de *Capsicum annum var. Chili-As Rot* como ácido cítrico, ácido oxálico, ácido fumárico, ácido quínico, fueron más altas con riego óptimo. Las concentraciones de ácido málico fueron similares en ambos tratamientos de riego. En los frutos de *C. chinense Jacq var. Naga Morich.*, la concentración de ácido cítrico y ácido ascórbico fue mayor con riego óptimo, en cambio las concentraciones de otros ácidos orgánicos fueron mayores en riego defecitario. En *C. annum var. Chili-As Rot* se tuvo una mayor concentración de ácido ascórbico y contenido fenólico total en riego óptimo y mayores concentraciones de capsaicina y dihidrocapsaicina en plantas estresadas. *C.*

chinense var. *Naga Morich* tuvo mayores concentraciones de capsaicina, dihidrocapsaicina y contenido fenólico total en riego óptimo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Caracterizar la diversidad fisicoquímica en frutos del germoplasma de chile habanero y su relación con el ambiente.

1.3.2 Objetivos específicos

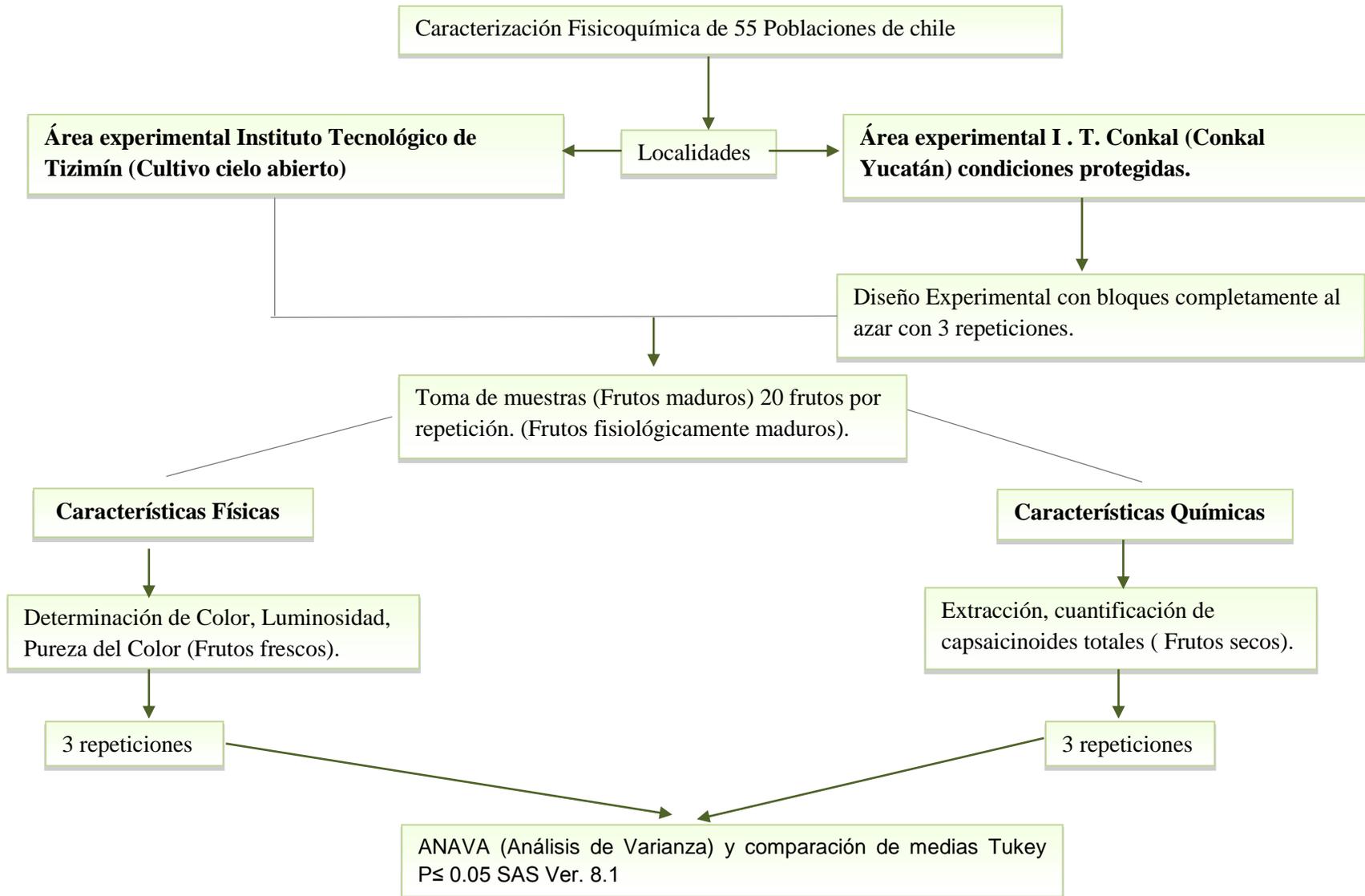
Conocer el comportamiento de los componentes fisicoquímicos en frutos en germoplasma de chile habanero.

Identificar poblaciones sobresalientes por su calidad de frutos a través de ambientes.

1.4 Hipótesis

Al menos una población de las evaluadas presentará características fisicoquímicas sobresalientes para calidad de fruto a través de ambientes.

1.5 Procedimiento Experimental



1.6 Literatura citada

Altieri, M. y C.I. Nicholls. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México.1- 235 pp.

Brito-Vega, H, A. R. Maturino, D.G. Mendoza, O.G. Juarez and C.C Duran. 2014. Antioxidant activity and total carotenoids of selected capsicum species from Tabasco, México. Vol. 15(2). Pp. 432-436.

Carrizo-García, C., Barfuss, M. H., Sehr, E. M., Barboza, G. E., Samuel, R., Moscone, E. A., y Ehrendorfer, F. 2016. Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). *Annals of botany*. 118(1): 35-51.

Castro, C.L., I.C. Chuc, and M de L.M. Ham. 2012. Determination of Antioxidants in Fruit Tissues from Three Accessions of Habanero Pepper (*Capsicum Chinense* Jacq). *Revista Sociedad Química de México*. 56 (1). 15-18 pp.

Castillo-Aguilar, Crescencio de. La C., López-Castilla, Lucero del C., Quej-Chi., Víctor H., Chiquini-Medina-, Ricardo A. 2019. Caracterización varietal del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) var. Rosita. *Agroproductividad*: Vol.12, Núm.4. Pp. 61-66.

Cisneros-Pineda, O., L.W. Torres-Tapia, L.C. Gutiérrez-Pacheco, F. Contreras-Martín, T. González- Estrada, S.R. Peraza-Sánchez. 2007. Capsaicinoids quantification in chilli peppers cultivated in the state of Yucatán, México. *Food Chemistry*. Vol.104. P.p.1755-1760.

Correa, E., A. Palazuelos, J. Déniz. 2009. América Latina y desarrollo económico. Estructura, inserción externa y sociedad. Ediciones Akal. Vol.22, 63-100 pp.

Clayton., S. 2019. Psicología y cambio climático. Vol. 40. Núm. 3. Pp. 167-175.

Cristóbal A, J., E. Zaletas M., J.M. Tun S., L. Latournerie M., E. Ruiz S. 2006. Control Químico y Epidemiología de la Mancha Foliar del Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Yucatán, México. *Fitosanidad* 10 (3). P.p. 217-220.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2010. Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Chile Habanero de la Península de Yucatán. Publicada el 4 junio del 2010. Consultada el 16 de Diciembre del 2021.

DOF NOM-189-SCFI -2017. (Norma Oficial Mexicana). Chile habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense Jacq*) especificaciones y métodos de prueba.

González T.E., L. Gutiérrez, F. Contreras. 2007. El chile habanero de Yucatán. Usos culinarios tradicionales del chile habanero. Ciencia y Desarrollo. El conocimiento a tu alcance. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. Vol. 15. 1- 5 pp.

Huez- López, MA., López, E.J., Jiménez-León, J., Rueda-Puente, E., Garza-Ortega, S., Huez-Martínez, J.A. (2013). Productividad de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq*), bajo condiciones de invernadero en la costa de Hermosillo. Pp. 282-286.

Krishna De, A. 2003. Capsicum: The Genus Capsicum. Medicinal and Aromatic Plants. Industrial Profiles .Taylor and Francis, London and New York. Vol. 33.P.p. 2-207.

Latournerie-Moreno, L; Chavez-Servia, J.L; Pérez-Pérez, M; Castañon-Najera, G; Rodríguez-Herrera, S. A; Arias-Reyes, L. M; Ramírez-Vallejo, P. Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum L. y Capsicum chinense jacq*) en Yaxcabá, Yucatán. 2002. Vol 25 (1). Pp. 25-33.

Latournerie-Moreno, L.; López-Vázquez, J. S.; Castañon-Nájera, G.; Mijangos-Cortes, J.O.; Espadas-Villamil, G.; Pérez-Gutiérrez, A.; Ruiz-Sánchez, E. 2015. Evaluación agronómica de germoplasma de chile habanero (*Capsicum Chinense Jacq*).Vol.8 (1). Pp. 24-29.

Lannes, S. D., F.L. Finger, A.R. Schuelter and V. W.D. Casali. 2007. Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. Scientia Horticulturae 112 Pp. 266-270.

López-Gómez, J.D; Sotelo-Nava, H; Villegas-Torres, O.G; Rodríguez A, M.2020. Rendimiento y calidad del chile habanero en respuesta a la poda de conducción y régimen nutricional. Vol. 11(2). Pp. 315-325.

López-Gómez, J.D., Villegas-Torres, O.G., Sotelo-Nava, H., Andrade-Rodríguez, M., Juárez-López, P., Martínez-Fernández, E. Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense Jacq*) por efecto de régimen nutrimental, (2017). Revista de Ciencias Agrícolas. Vol.8. Núm.8. Pp. 1747-1758.

López-Espinosa, T., Latournerie ML., Castañon-Nájera, G., Ruiz-Sánchez, E., Gómez-Leyva, J.F., Andueza-Noh, R.H., and Mijangos-Cortés, J.O. 2018. Diversidad genética de chile habanero (*capsicum chinense jacq*) mediante ISSR. Vol. 41 (3). Pp. 227 – 236.

Lobo Arias, Mario; Medina Cano, Clara Inés. 2009. Conservación de recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenibles Corpoica. Vol. 10. pp. 33- 42.

Mantika-Pringle, C.S., P. Visconti, D. M. Moreno, T.G. Martin, C. Rondinini and J. R. Rhodes. 2015. Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. Biological Conservation. Vol. 187. Pp. 103-111

Meneses-Lazo, RM., Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., Andrade-Torres, JL., Pérez-Gutiérrez, A. (2018). Caracterización Fenológica y Fisiológica de variedades experimentales de chila habanero con alto potencial agronómico. Rev. Fitotec. Méx. Vol. 41 (1). Pp.67-74.

Paruelo J. M., J.P. Guerschman y S.R. Verón. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Ciencia hoy.15 (87): 14-23.

Pérez Gálvez, A., H.D. Martin, H. Sies and W. Stahl. 2003. Incorporation of carotenoids from paprika oleoresin into human chylomicrons. British Journal of Nutrition Vol. 89: P.p. 787-793.

Pérez-Castañeda, L.M; Castañon-Nájera, G; Ramirez-Meraz, M; Mayek-Pérez, N. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum spp*. Vol.2 (4). Pp. 117-128.

Pino, J., E. Sauri-Duch y R. Marbot. 2006. Changes in volatile compounds of Habanero chile pepper (*Capsicum chinense* Jack. cv. Habanero) at two ripening stages. Food Chemistry 94: 394-398.

Pino J. M., L. González, A. Ceballos, R. Centurión-Yah, J. Trujillo-Aguirre, L. Latournerie-Moreno and E. Sauri Duch. 2007. Caracterización of total Capsaicinoids, color and volatile compounds of habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack) cultivars grown in Yucatán. Food Chemistry. Vol. 104(4). P.p.1682-1686.

Ramírez, M., Salcedo, J. 2013. Los recursos fitogenéticos y la importancia estratégica de su conservación en las Américas.

Proenca, V., H. M. Pereira. 2015. Ecosystem Changes, Biodiversity Loss and Human Well-Being. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. P.p. 10-21 .

Ramírez-Meraz, M., Arcos-Cavazos, G., Méndez-Aguilar, R. Jaguar: cultivar de chile habanero para México. (2018). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. vol.9 núm.2. Pp. 487-492.

Ramírez, D., J. L. Ordaz, J. Mora, A. Acosta y B. Serna. 2010. Efectos del cambio climático sobre la agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). Department International Development (DFID). Nicaragua. 1-68 pp.

Santamaría, F., Mirafuentes, F., Zavala, M. J., Vázquez, E. 2015. Calidad de frutos de materiales comerciales de papaya roja producidos en Yucatán, México. Vol. 39 (1). Pp. 161-167.

SAGARPA, SNICS .2015. Manual gráfico para la descripción varietal de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffer, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S., de la Maza, J., Pisanty, I., Urquiza-Haas, T., Ruiz-González, S., García-Méndez, G. (2017). Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de

sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. Disponible en https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Sintesis_CNM_2017.pdf

Sacchelli, S. 2016. Social, economic, and environmental impacts of biomass and biofuel supply chains. *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining*. P.p.191-213

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA-SIAP). (2020). Avance de siembras por cultivo.

URL:http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do

FAO. 2011. Segundo Plan de Acción Mundial para los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. P.p.108 .

Sweat, K.G., J. Broatch, C. Borrer, K. Hagan and T. M. Cahill. 2016. Variability in capsaicinoid content and Scoville heat ratings of commercially grown Jalapeño, Habanero and Bhut Jolokia peppers. *Food Chemistry*. Vol. 210. Pp. 606-612.

Vázquez-Flota, F., M. de L. Miranda-Ham, M. Monforte-González, G. Gutiérrez-Carbajal, C. Velázquez-García y Y. Nieto-Pelayo. 2007. Biosynthesis of Capsaicinoids, the Pungent Principle of Peppers. *Rev. Fitotec. Méx.* 30 (4). Pp. 353-360.

Vera-Sánchez, KS., Cadena-Iñiguez, J., Latournerie-Moreno, L., Santiaguillo-Hernández, J.F., Rodríguez-Contreras, A., Basurto-Pena, F.A., Castro-Lara, D., Rodríguez-Guzmán, E., López- López, P., Ríos-Santos, E. (2016). Conservación y utilización sostenible de las Hortalizas Nativas de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, México. Pp. 1-132.

Wahyuni, Y; Ballester, A, R; Sudarmonowati, E; Bino, R, J; Bovy, A, G. Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding. 2011. Vol. 72. Pp. 1358-1370.

Zamljen, T., Zupanc, V., Slatnar, A. 2020. Influence of irrigation on yield and primary and secondary metabolites in two chili species, *Capsicum annuum L.* and *Capsicum chinense Jacq.* Pp. 1-7.

Zavaleta-Avejar, L., J. P. Pérez-Orozco y F. Herrera-Rodríguez. 2008. Calidad del Chile Habanero (*Capsicum Chinense*, Jacq) cultivado en Yucatán, deshidratado en un secador solar. V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica XVI Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica VI Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular. Pp.1-15.

CAPÍTULO 2. COMPORTAMIENTO DE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE CALIDAD EN CHILE HABANERO EN DIFERENTES AMBIENTES

2.1 Resumen

Uno de los principales cultivos en la Península de Yucatán es el chile habanero (*Capsicum Chinense Jacq*), dada sus características distintivas y su adaptación a las condiciones de la Península, que conllevó a estar presente en la gastronomía local, regional y en los últimos años a nivel nacional e internacional. El objetivo de este estudio fue caracterizar la diversidad fisicoquímica en variables de calidad en poblaciones de chile habanero y su relación con el ambiente. Para el desarrollo experimental se tomaron muestras de 55 poblaciones establecidos en condiciones de campo en la localidad de Tizimín y en condiciones controladas en Conkal, Yucatán (2013). Estas se sembraron en un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Para la caracterización fisicoquímica de calidad, las muestras consistieron de un total de 20 frutos, que fueron cosechados en forma aleatoria, en etapa de inicio de madurez fisiológica por repetición. Se determinaron las variables: color (°Hue o tono), luminosidad, pureza (saturación) del color en fruto fresco y capsaicinoides totales. Se observó que el medio ambiente influyó significativamente en el comportamiento de las variables de calidad, siendo significativa la interacción entre el efecto de poblaciones con el ambiente de prueba (población x ambiente). De acuerdo a lo anterior se encontraron poblaciones sobresalientes para cada ambiente de pruebas y además algunas poblaciones que sobresalieron en ambos ambientes de pruebas, indicando su buena adaptación o estabilidad. Para la variable color (°Hue o tono), las poblaciones 294 y 466 (frutos de color amarillo) predominaron con un valor de 87.18, 86.34, 86.76 y 85.07, 87.88, 86.48 en Conkal, Tizimín y Combinado, respectivamente. Para capsaicina destacan por su alto contenido y por estabilidad las poblaciones 294 y 263 con 6.11 y 5.95 mg·g⁻¹ de chile seco en Conkal y para Tizimín con 5.14 y 5.52 mg·g⁻¹ de chile seco, respectivamente. El mejor contenido de capsaicina lo presentó la población 282 con 8.08 mg·g⁻¹ de chile seco en Conkal, pero en Tizimín disminuyó su concentración a 6.65 mg·g⁻¹ de chile seco, indicando la alta interacción con el ambiente de esta población. En general, también se observó que el color (°Hue o tono) de fruto, al parecer pudiera estar un poco relacionado con la calidad de este. En este sentido, las poblaciones que sobresalieron fueron de frutos color naranja y amarillo en la mayor parte de las variables evaluadas.

Palabras clave: Color (°Hue o tono), luminosidad, pureza (saturación) de color, contenido de capsaicina, genotipo.

CHAPTER 2. BEHAVIOR OF QUALITY PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS IN HABANERO CHILI IN DIFFERENT ENVIRONMENTS

2.1 Abstract

One of the main crops in the Yucatan Peninsula is the habanero pepper (*Capsicum Chinense Jacq*); given its distinctive characteristics and its adaptation to the conditions of the Peninsula, which led to its being present in local and regional gastronomy and in recent years at a national and international level. The objective of this study was to characterize the physicochemical diversity in quality variables in habanero pepper populations and their relationship with the environment. For the experimental development, samples were taken from 55 populations established under field conditions in the Tizimín locality and under controlled conditions in Conkal, Yucatán, (2013). These were planted in a completely randomized block experimental design with three replications. For the physicochemical characterization of quality, the samples consisted of a total of 20 fruits, which were harvested randomly, at the beginning of physiological maturity by repetition. The variables were determined: color ($^{\circ}$ Hue or tone), luminosity, purity (saturation) of color in fresh fruit and total capsaicinoids. It was observed that the environment had a significant influence on the behavior of the quality variables, with the interaction between the effect of the populations and the test environment being significant (population x environment). According to the above, outstanding populations were found for each test environment and also some populations that stood out in both test environments, indicating their good adaptation or stability. For the color variable ($^{\circ}$ Hue or tone), populations 294 and 466 (yellow colored fruits) prevailed with a value of 87.18, 86.34, 86.76 and 85.07, 87.88, 86.48 in Conkal and Tizimín, respectively. For capsaicin, populations 294 and 263 stand out for their high content and stability with 6.11 and 5.95 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ of dry chili in Conkal and for Tizimín with 5.14 and 5.52 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ of dry chili, respectively. The best content of capsaicin was presented by population 282 with 8.08 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ of dry chili in Conkal, but in Tizimín its concentration decreased to 6.65 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ of dry chili, indicating the high interaction with the environment of this population. In general, it was also observed that the color of the fruit could apparently be somewhat related to its quality. In this sense, the populations that stood out were orange and yellow fruits in most of the evaluated variables.

Key words: Color ($^{\circ}$ Hue or tone), brightness, color purity (saturation), capsaicin content, genotype.

Correo electrónico tesista: sosa09star@hotmail.com, sosa09star@yahoo.com.mx

Correo electrónico director de tesis: sayilhahil@yahoo.com.mx