

**Universidad Autónoma de Sinaloa  
Colegio en Ciencias Agropecuarias  
Facultad de Agronomía  
Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

**“Selección de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero, casa sombra y campo abierto en Baja California”**

**Que para obtener el grado de  
Doctora en Ciencias Agropecuarias**

**Presenta: Aurelia Mendoza Gómez**

**Directora de tesis: Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz**

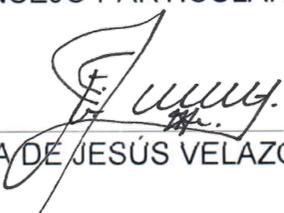
**Culiacán, Sinaloa, México; marzo de 2021**

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

**DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTORA

  
DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

ASESOR

DR. FELIPE AYALA TAFOYA

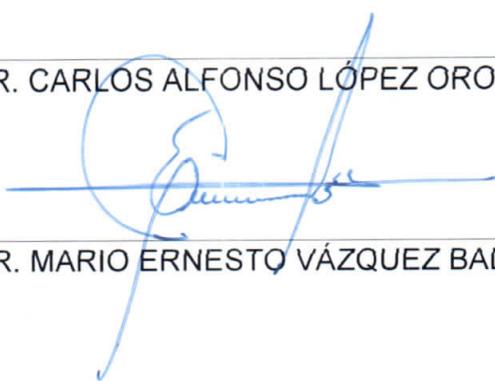
ASESOR

DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS

ASESOR

DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA

ASESOR

  
DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO

CULIACÁN, SINALOA, MÉXICO. MARZO DE 2021



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

## COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 16 de marzo del año 2021, la que suscribe Aurelia Mendoza Gómez, alumna del Programa del Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 16585518, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaráz y del Dr. Felipe Ayala Tafuya y cede los derechos del trabajo titulado “Selección de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecidos en invernadero, casa sombra y campo abierto en Baja California”, a la Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Aurelia Mendoza Gómez", enclosed within a blue oval scribble.

Aurelia Mendoza Gómez



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

## **A G R A D E C I M I E N T O**

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, por haberme brindado la oportunidad de continuar con mis estudios de postgrado en el Programa de Doctorado de Ciencias Agropecuarias.

A la Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, por todo el apoyo y facilidades otorgadas para poder concluir mis estudios de Doctorado.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campos Experimentales del Valle de Mexicali, Baja California y Las Huastecas, Tamaulipas, por su valiosa aportación con el material genético para el establecimiento e investigación del cultivo y desarrollar el proyecto.

A la Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz, por su guía, su apoyo, sus enseñanzas y sin duda alguna por ser parte importante de este proyecto, agradezco sus consejos, sus regaños cuando eran necesarios, es un ejemplo de mujer profesional y luchadora constante, líder en su área y sobre todo con un deseo incansable de enseñar, formar, guiar y apoyar a las nuevas generaciones. Dra. Tere siempre he dicho que aprendo de los mejores y usted es una de mis mejores mentoras. GRACIAS....

Al equipo de asesores que formaron parte importante durante el desarrollo de este proyecto: Dr. Felipe Ayala Tafuya, Dr. Carlos Alfonso López Orona, Dr. Tomás Díaz Valdés, Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba, por sus consejos, por compartir sus experiencias y sobre todo por las recomendaciones para mejorar este trabajo y lograr culminar con éxito este proyecto. Por su tiempo y por todas sus atenciones, siempre aprendiendo de los mejores. GRACIAS....

Al Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo, por ser una guía y un ejemplo a seguir, por apoyarme siempre desde mis estudios de licenciatura y continuar haciéndolo hasta el día de hoy. Muchas gracias por su confiar en mí, en mis capacidades, gracias por sus consejos, por sus llamadas de atención cuando son necesarias, por su tiempo y sus enseñanzas, pero sobre todo MUCHAS GRACIAS por su cariño y amistad. Gracias por aceptar formar parte del equipo de trabajo en este proyecto, por su valioso tiempo y sus aportaciones para mejorar el trabajo.

Al M.C. Isidro Bazante González, Director de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín por su incansable gestión con las autoridades correspondientes para apoyarme en mis estudios de doctorado, por su apoyo en el desarrollo del proyecto con sus recomendaciones y manejo agronómico del cultivo, por formar parte de los proyectos de investigación dentro del área laboral, por confiar en mí y sobre todo muchas gracias por su amistad.

Al Dr. Antonio Morales Maza, Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de Mexicali, por todo su valioso apoyo y colaboración en la ejecución del proyecto al establecer los materiales genéticos en casa sombra en Valle de Mexicali, por sus aportaciones y experiencia en el manejo agronómico y desarrollo general del cultivo, por sus recomendaciones y por formar parte importante de este proyecto, pero sobre todo MUCHAS GRACIAS por su cariño y amistad.

Al M.C. Moisés Ramírez Meráz, por su confianza para facilitar sus materiales genéticos en los avances generacionales de chile habanero para establecerlos y evaluarlos en Baja California, por sus aportaciones, su experiencia y sus recomendaciones para sacar adelante el proyecto. Por su valioso tiempo para visitar y darle seguimiento a los materiales evaluados en invernadero, casa sombra y campo abierto.

A Llarely Cazarez y Norma Zazueta, amigas y compañeras de estudio, por todo su apoyo durante los estudios de Doctorado, siempre se conocen amistades nuevas en el trayecto de la vida, agradezco haberlas encontrado y coincidir.

A mi compañera de trabajo y amiga Areli Aceves Blancarte y a mi amiga Juanita Alvizo, por todo su apoyo recibido durante mis estudios de Doctorado, por apoyarme en las cuestiones administrativas, por su tiempo, cariño y amistad siempre.

A todas aquellas personas que formaron parte importante en el desarrollo de este proyecto, muchas gracias por su valioso tiempo y aportaciones.

# DEDICATORIA

Un logro más en mi formación profesional, dedicado a mi Ángel en el **Cielot**, estoy segura que está festejando con nosotros este momento. A mi Hijo que ha sido mi motor de cada día y ha aguantado conmigo toda esta aventura profesional, por su paciencia y cariño.

A mi esposo que llegó a nuestras vidas para quedarse y cuidarnos siempre, por todo su amor, su cariño, su apoyo.... Gracias.

A mis padres, hermanos, sobrinos y amigos, por ser el cimiento fundamental en mi vida.

**GRACIAS A DIOS POR SIEMPRE GUIARME Y AYUDARME A SALIR ADELANTE**

## CONTENIDO

CUADROS.....	ix
FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
1.1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	18
1.2.1. Generalidades.....	18
1.2.2. Aspectos botánicos del chile habanero .....	19
1.2.3. Propiedades del chile habanero.....	21
1.2.4. Almacenamiento de chile habanero .....	21
1.2.5. Tasa de producción de etileno .....	23
1.2.6. Efectos de las atmósferas controladas .....	23
1.2.7. Centro de origen del chile habanero .....	24
1.2.7.1. Denominación de origen del chile habanero .....	25
1.2.8. Importancia del chile habanero .....	28
1.2.9. Producción mundial y nacional.....	28
1.2.10. Requerimientos climáticos del chile habanero .....	31
1.2.10.1. Temperatura y humedad relativa.....	31
1.2.11. Requerimientos edáficos.....	32
1.2.11.1. Suelos .....	32
1.2.11.2. Fertilización.....	32
1.2.11.3. Riego.....	33
1.2.12. Características del cultivo .....	35
1.2.12.1. Crecimiento.....	35
1.2.12.2. Fruto.....	36
1.2.13. Requerimientos nutricionales .....	37
1.2.13.1. Nutrientes Esenciales.....	37
1.2.13.2. Macronutrientes.....	38

1.2.13.2.1. Nitrógeno (N).....	39
1.2.13.2.2. Fósforo (P).....	40
1.2.13.2.3. Potasio (K).....	41
1.2.13.2.4. Elementos secundarios .....	42
1.2.13.2.5. Calcio (Ca).....	42
1.2.13.2.6. Magnesio (Mg) .....	43
1.2.13.3. Micronutrientes.....	43
1.2.13.3.1. Hierro (Fe).....	44
1.2.13.3.2. Cobre (Cu).....	45
1.2.13.3.3. Manganeso (Mn).....	46
1.2.13.3.4. Zinc (Zn).....	47
1.2.14. Selección genética.....	47
1.2.14.1. Mejoramiento genético.....	50
1.2.14.2. Generación de variedades e híbridos.....	51
1.2.14.3. Obtención de la variedad Jaguar.....	54
1.2.15. Sistemas de producción de chile habanero .....	58
1.2.15.1. Zonas agrícolas de Baja California .....	60
1.2.15.2. Producción en campo abierto .....	61
1.2.15.3. Producción en casa sombra.....	62
1.2.15.4. Producción en invernadero .....	64
CAPITULO 2. ANÁLISIS DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS DE DIFERENTES GENOTIPOS DE CHILE HABANERO ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) TRATADAS CON ÁCIDO GIBERÉLICO .....	68
2.1. INTRODUCCIÓN.....	68
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
CAPITULO 3. SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE CHILE HABANERO ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) EN INVERNADERO, CASA SOMBRA Y CAMPO ABIERTO .....	77
3.1 INTRODUCCIÓN.....	77
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	80
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	83

3.3.1. Peso promedio de fruto .....	83
3.3.2. Diámetro polar y ecuatorial del fruto.....	85
3.3.3. Número y peso de frutos por planta .....	87
3.3.4. Rendimiento .....	88
3.3.5. Días a primer corte.....	92
CAPITULO 4. DETERMINACIÓN DE CAPSAICINA, GRADOS BRIX Y VIDA DE ANAQUEL EN CULTIVARES DE CHILE HABANERO ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.).....	
4.1. INTRODUCCIÓN.....	94
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	96
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	98
4.3.1. Vida de anaquel.....	99
4.3.2. Grados brix .....	101
4.3.3. Contenido de capsaicina .....	102
CAPITULO 5. CONCLUSIONES .....	
	105
CAPITULO 6. LITERATURA CITADA.....	
	106

## CUADROS

No.	Titulo	Página
1	Clasificación taxonómica de la planta chile habanero.	19
2	Tasa de respiración en frutos de chile en poscosecha a diferentes temperaturas.	22
3	Requerimientos agroecológicos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) en México.	35
4	Esquema que representa el proceso de formación de la variedad Jaguar por parte del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	57
5	Porcentaje de nacencia de plántulas de un híbrido chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) con tratamiento de ácido giberélico. Marzo, 2015.	72
6	Porcentaje de nacencia de plántulas en genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), tratadas con ácido giberélico previo a la siembra, durante los ciclos 2017 y 2018. Baja Plants, San Quintín, Baja California.	76
7	Color de fruto y hábito de crecimiento de planta en los genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), establecidos en invernadero, campo abierto y casa sombra en San Quintín, San Vicente y Valle de Mexicali, Baja California, durante los ciclos 2017 y 2018.	82
8	Resultados de la comparación de medias para las variables: peso promedio de fruto, número de frutos por planta, peso por planta, diámetro polar y ecuatorial del fruto y rendimiento de 10 genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) establecidos en invernadero durante el ciclo 2017 en el valle de San Quintín, Ensenada, B.C.	85

9	Resultados de la comparación de medias para las variables de: peso promedio de fruto, número de frutos por planta, peso promedio por planta, diámetro polar y ecuatorial de fruto y rendimiento en diez genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), establecidos en campo abierto durante el ciclo 2017. San Vicente, Ensenada, B.C.	86
10	Resultados de la comparación de medias para las variables de: peso promedio de fruto, número de frutos por planta, peso promedio por planta, diámetro polar y ecuatorial de fruto y rendimiento de en siete genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), establecidos en malla sombra durante el ciclo 2018. Valle de Mexicali, Baja California.	88
11	Resultados de la comparación de medias mediante la prueba de Tukey $p \leq 0.05$ para las variables: días a primer y último corte, días en cosecha y número de cortes en los de genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), establecidos en invernadero y campo abierto durante el ciclo 2017 en las regiones de San Quintín y San Vicente, Ensenada, B.C.	93
12	Resultados de la comparación de medias para las variables: grados brix, vida de anaquel, contenido de capsaicina y unidades Scoville en 10 genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), establecidos bajo invernadero durante el ciclo 2017. San Quintín, Ensenada, B.C.	98
13	Resultados de la comparación de medias para las variables: grados brix, vida de anaquel, contenido de capsaicina y unidades Scoville en 10 genotipos de chile	100

habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), establecidos en campo abierto durante el ciclo 2017. San Vicente, Ensenada, B.C.

- 14      Resultados de la comparación de medias para las variables: grados brix, vida de anaquel, contenido de capsaicina y unidades Scoville en siete genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), establecidos en malla sombra durante el ciclo 2018. Valle de Mexicali, Baja California.      104

## FIGURAS

No.	Título	Página
1	Territorio de la denominación de origen del chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.).	27
2	Principales estados productores de variedades de chiles en México.	29
3	Escala de picor, en unidades Scoville, de diferentes tipos de chile.	52
4	Variedades (a) y características (b) de chile habanero registradas en México por el CICY (2016).	54
5	Porcentaje de germinación en siete genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), sembrados en el área de producción de plántula de la empresa agrícola Baja Plants y tratados con ácido giberélico previo a la siembra. San Quintín, Baja California. Febrero, 2018.	75
6	Rendimiento obtenido en genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), evaluados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Agosto, 2017 y 2018.	91
7	Diagrama de flujo para la determinación del contenido de capsaicina en frutos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) en laboratorio del Instituto de Ciencias Agrícolas. Diciembre, 2017.	97
8	Vida de anaquel en genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), evaluados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Noviembre, 2017 y 2018.	101
9	Contenido de azúcares en genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), evaluados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Octubre, 2017 y 2018.	102

10	Contenido de capsaicina por cada gramo de fruto en genotipos de chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.), evaluados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Diciembre, 2017 y 2018.	103
----	--	-----

## RESUMEN

“Selección de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero, casa sombra y campo abierto en Baja California”

*Aurelia Mendoza Gómez*

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) se ha posicionado como una hortaliza que ha cobrado importancia en México y el mundo, debido a los diferentes usos y propiedades que posee, tanto para su consumo en fresco, procesado, y su desarrollo en la industria. La investigación fue realizada durante el periodo 2017 y 2018 con el objetivo de evaluar la respuesta del cultivo de chile habanero en invernadero, campo abierto y casa sombra, bajo las condiciones semiáridas de Baja California. Se utilizaron genotipos experimentales y un testigo comercial en dos localidades. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con diez tratamientos y cuatro repeticiones. La siembra se hizo en enero y febrero, se utilizaron charolas de poliestireno con 130 cavidades, previo a la siembra se trató la semilla con ácido giberélico al 40% y se obtuvo un promedio de 97.24% de nacencia. El trasplante se realizó en marzo y abril y el manejo agronómico fue general y uniforme durante todo el desarrollo del cultivo. Los genotipos presentaron buena respuesta en crecimiento y rendimiento por planta en condiciones protegidas y en campo abierto, el rendimiento promedio por hectárea supera la media nacional reportada en las regiones productoras. En invernadero, casa sombra y campo abierto se obtuvo un promedio de 61, 24 y 18 toneladas por hectárea, respectivamente. Los materiales en evaluación se adaptan a los diferentes ambientes evaluados en las regiones agrícolas semiáridas de Baja California, y son prometedores para selección con fines comerciales.

**Palabras clave:** *Adaptabilidad, Capsicum chinense Jacq., cultivares, rendimiento.*

## ABSTRACT

“Selection of genotypes of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) in greenhouse, shadow house and open field in Baja California”

Aurelia Mendoza Gómez

The *Capsicum chinense* Jacq., has positioned itself as a vegetable that has gained importance in Mexico and the world, due to the different uses and properties it possesses, both for its consumption in fresh, processed, and its development in the industry. The research was conducted in 2017 and 2018 with the objective of evaluating the response of the cultivation of habanero in the greenhouse, open field and shade house, under the semi-arid conditions of Baja California, experimental genotypes and a commercial control were used. A randomized complete block design was established with ten treatments in four blocks, following the methodology of (Steel y Torrie, 1980). Sowing was done in January and February, polyethylene trays with 130 cavities were used, previous to sowing the seed was treated with 40% gibberellic acid and an average of 97.24% of germination. The transplant was performed in March and April, agronomic management was general and uniform throughout the crop development. The genotypes showed a good response in growth and yield per plant in protected conditions and in the open field, the average yield per hectare exceeds the national mean reported in the producing regions. In greenhouse, shade house and open field, the mean of 61, 24 and 18 tons per hectare respectively was obtained. The materials under evaluation are adapted to the different environments evaluated in the semi-arid agricultural regions of Baja California, and are promising for commercial selection.

**Key Words:** *Adaptability, Capsicum chinense Jacq., cultivars, yield.*

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1. INTRODUCCIÓN

México se ha caracterizado por el consumo de chile, Colón descubrió que existían diferentes especies de plantas, entre ellas el chile y lo nombro pimienta, los antiguos pobladores de América, seleccionaron y mejoraron esta planta, para dar origen a la gran variedad de chiles que existen actualmente, México cuenta con la mayor diversidad genética de chiles, se han descubierto alrededor de 64 variedades diferentes de chiles, entre ellas el habanero (Aguilar, 2014). Alrededor del 90% de chile que se consume a nivel mundial es de origen mexicano (SAGARPA, 2015). El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) pertenece a las solanáceas, su centro de origen se localiza en América Central, existen otras especies del género *Capsicum* denominadas ají (Long, 1998). En 2003, el CICY inició un programa de mejoramiento genético, tiene el mayor banco de germoplasma en Yucatán y la denominación de origen y se han registrado ocho variedades ante el SNICS. Malveira *et al.* (2008) realizaron una caracterización morfológica y genética sobre la diversidad de *Capsicum chinense* en Brasil, encontraron diversidad genética en 38 accesiones de genes, la mayoría de las variedades de habaneros tienen una caracterización morfológica similar, la diversificación existe en color de fruto. En Baja California, más del 80% de sus actividades son relacionadas con la agricultura, desde el 2013 se establecen siembras de chile habanero con un promedio de 13 ha (SIAP, 2014 y SEFOA-BC, 2014). López *et al.* (2018) realizaron un estudio sobre la diversidad genética de chile habanero mediante ISSR y encontraron que la diversidad es alta en las poblaciones colectadas en Yucatán y Tabasco. El chile habanero se adapta y desarrolla en suelos profundos y drenados con textura entre lo franco limoso y franco arcilloso, con un pH desde 6.5 a 7.0 (Pacheco, 2005). Las evaluaciones agronómicas en chile habanero permiten conocer el potencial productivo que presenta el cultivo; sin embargo, las evaluaciones fenológicas y fisiológicas son un reflejo de su productividad y permiten relacionar las respuestas de las plantas con el ambiente (Jaimez y Rada, 2016). La península de Yucatán cuenta con la denominación de origen del chile habanero; sin embargo, en los últimos años las compañías transnacionales de semillas han

introducido variedades comerciales (Ramírez *et al.*, 2012) que han ido desplazando a las variedades de la región; esto pone en riesgo la diversidad genética que aún existe (Trujillo *et al.*, 2004). Estudios previos han demostrado que existen variedades locales de chile habanero con alto potencial agronómico (Latournerie *et al.*, 2015), el uso de variedades ayudaría a conservar la diversidad genética del germoplasma regional de la península, para utilizarla en programas de mejoramiento genético. El cultivo de chile habanero no ha tenido un crecimiento en base al número de hectáreas sembradas en Baja California, toda vez que se desconocen los genotipos que se adaptan a las condiciones de la región, ya sea en agricultura protegida o campo abierto, con buen crecimiento, desarrollo y rendimiento en comparación a lo que expresan en las regiones productoras de México. Los genotipos evaluados, se adaptan a las condiciones edafoclimáticas de la región, expresan buen potencial de rendimiento para continuar con el programa de mejoramiento. El objetivo de esta investigación fue seleccionar genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo invernadero, campo abierto y casa sombra en Baja California.

## 1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.2.1. Generalidades

El género *Capsicum* pertenece a la familia de las *Solanáceas*, incluye un promedio de 25 especies y tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América, también es necesario destacar que existen otras especies del género cuyo fruto o producto también es denominado ají (Long, 1998).

Diversos estudios han definido como centro de origen del género *Capsicum* al área ubicada entre el sur de Brasil, el este de Bolivia, el oeste de Paraguay y el norte de Argentina; en esta región se observa la mayor distribución de especies silvestres en el mundo. Soria *et al.* (2002) mencionan que probablemente el *Capsicum chinense* era originario de América del Sur, de donde fue introducido a Cuba (Bosland, 1996), aunque hasta el año 2015 no se tenía registro de que en la isla se sembrara este cultivo, aunque en la actualidad en Cuba ya se tienen sembradíos de chile habanero para exportación, siendo el principal mercado Canadá y Europa. Se cree que el cultivo fue traído a la Península de Yucatán. Esta hipótesis se refuerza al comprobar que *Capsicum chinense* es el único chile que no tiene nombre maya, a diferencia de otros. El chile habanero proviene de las tierras bajas de la cuenca Amazónica y de ahí se dispersó a Perú durante la época prehispánica. La distribución también se dirigió hacia la cuenca del Orinoco (ubicada actualmente en territorios de Colombia y Venezuela), la Guyana Francesa y las Antillas del Caribe (Salaya, 2010).

El género *Capsicum* se conoce desde principios de la civilización en el hemisferio Occidental, formando parte de la dieta humana desde 7500 A.C.; los antepasados nativos de América ya cultivaban chile desde 5200 a 3400 A.C., en cuanto al género *Capsicum* fue domesticado en diferentes partes de sur y centro América. Las cinco especies domesticadas son *Capsicum annuum* L., *Capsicum baccatum* L., *Capsicum chinense* Jacq., *Capsicum frutescens* L. y *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. (Bosland & DeWitt, 1996). Indicios más recientes, según Kraft *et al.* (2013), indican que restos pre-cerámicos de chiles encontrados en el valle de Tehuacán, Puebla, evidencian su domesticación en México. El chile habanero posee grandes cualidades en forma, color, tamaño, sabor, su grado de picor y como sazónador en comidas, se puede apreciar

que cuenta con muchas expectativas que lo hacen indispensable en la vida cotidiana. De igual forma es un cultivo con una gran demanda en el mercado nacional e internacional. Existen investigaciones del chile habanero en otras regiones como Tabasco (Castañón *et al.*, 2008), descubriendo distintas tonalidades, tamaños y sabores, así como sus respectivas características morfológicas. En toda la península de Yucatán, es común la mezcla de plantas cultivadas de semillas criollas y variedades, provocando una variabilidad morfológica de estos chiles habaneros, por este motivo se hace difícil una identificación clara de los frutos.

### 1.2.2. Aspectos botánicos del chile habanero

El hábito de crecimiento de esta planta es determinado y se comporta como semi perenne, su ramificación es erecta, con tres o cinco ramas primarias y de nueve a trece secundarias; sus hojas son grandes, verde oscuro, de 10 a 15 cm de largo y ancho respectivamente, tiene raíz pivotante y un sistema radicular que varía de 1 a 2 m de acuerdo con el tipo de suelo. Sus frutos son bayas huecas con tres o cuatro lóbulos y la semilla se aloja en la placenta. Presentan un promedio de seis frutos por axila; estos tienen entre 2 y 6 cm, de color verde en estado inmaduro y amarillo, anaranjado y rojo en estado maduro (Navarrete *et al.*, 2002).

En el Cuadro 1 se presenta la clasificación del chile habanero según la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2009).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la planta chile habanero

Reino	<i>Plantae</i>
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Capsicum</i> L., 1753
Especie	<i>C. chinense</i> Jacq., 1776

Fuente: CONABIO (2009)

La planta de chile habanero posee una raíz principal de tipo pivotante, la cual profundiza de 0.20 a 0.60 m, con raíces secundarias extendidas que varían en longitud dependiendo del tipo del suelo, las hojas son de color verde oscuro brillante, de forma oval, dependiendo del manejo pueden alcanzar hasta 15 cm de largo por 10 cm de ancho; el margen normalmente ondulado es una característica distintiva de *Capsicum chinense* (González *et al.*, 2011).

Las flores son hermafroditas, regulares y están constituidas por cinco sépalos, cinco pétalos y cinco estambres. Su ovario es súpero y su fruto es una baya de tipo carnoso hueca y en forma de cápsula, en donde se encuentran las semillas (Waizel-Bucay *et al.*, 2011). Los frutos del *Capsicum chinense* tienden a tener diferentes colores y tonalidades (verde, naranja, rojo, amarillo y café), las plantas de la especie *Capsicum chinense* producen de dos a seis frutos por nudo. Los frutos de esta especie varían mucho en forma y tamaño, pudiendo ser del tamaño de los chiltepines hasta rugosos y alargados de aproximadamente 12.5 cm, los frutos son verdes en el estado inmaduro, pero usualmente maduran en color rojo, anaranjado o amarillo. Esporádicamente se han encontrado algunos frutos de color café. Todos los frutos de *Capsicum chinense* tienen el mismo olor característico, independientemente del color de maduración (González *et al.*, 2011).

El chile habanero es conocido por su sabor picante, pero también puede emplearse para elaborar cosméticos, pomadas, gas lacrimógeno, recubrimiento de sistemas de riego o eléctricos para protección contra roedores y, por su alta capacidad anticorrosiva, y como componente en pintura para barcos (Vizual, 2011). Por sus propiedades curativas, el chile habanero incrementa la producción de endorfinas, las cuales provocan una sensación placentera; puede ayudar a aliviar migrañas y dolores de cabeza; tiene propiedades antibacteriales que permiten prevenir y atacar la sinusitis; ayuda a elevar la actividad metabólica, contribuyendo al cuerpo a quemar grasas y calorías (Ebel, 2013). López (2009) indica que en la gastronomía yucateca el chile habanero es el principal ingrediente de una de las salsas típica de la región. En México, el chile representa una tradición e identidad cultural, ya que ha dado una caracterización especial a la cocina y cultura mexicana por los últimos ocho siglos. El

chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) constituye uno de los productos de importancia en la agricultura de México, generalmente, su fruto se comercializa en fresco para consumo directo o como materia prima para procesamiento industrial (FAOSTAT, 2005).

### **1.2.3. Propiedades del chile habanero**

De acuerdo con datos de la FAO (FAOSTAT, 2005), el chile habanero posee diferentes características cualitativas que lo hacen único en el mundo, tales como:

1. Es considerado uno de los chiles más picantes en el mundo (de 150 mil a 450 mil unidades Scoville).
2. Es una excelente fuente de vitamina A, contiene el doble de vitamina C que los cítricos y fortalece el sistema inmunológico.
3. Contiene una alta concentración de beta caroteno y flavonoides antioxidantes que desaceleran el envejecimiento.
4. La capsaicina combate la migraña y los dolores de cabeza.
5. Ayuda a aliviar la artritis.
6. La capsaicina contenida en chile habanero posee fuertes propiedades antibacteriales, que permiten prevenir y atacar las infecciones crónicas de los paranasales (sinusitis).
7. Es un potente antiinflamatorio que alivia dolores musculares y reumáticos.
8. Su consumo regula y disminuye el colesterol en la sangre.
9. Puede aliviar padecimientos intestinales crónicos y ayudar en el proceso de digestión, la capsaicina contenida previene algunos tipos de cáncer, como del intestino, colon y estómago.
10. La capsaicina es un agente termogénico, que ayuda a elevar la actividad metabólica, ayudando al cuerpo a quemar grasas y calorías.
11. El chile habanero estimula la producción de endorfinas, por lo que su consumo genera un estado placentero (Alberto, 2018).

### **1.2.4. Almacenamiento de chile habanero**

Cruz (2019) y Arroyo (2020) realizaron una investigación enfocada al manejo de la poscosecha de genotipos de chile habanero, en esa investigación encontraron que las

condiciones óptimas de almacenamiento de chile habanero son a una temperatura de 8 °C y una humedad relativa de 90%, con ello se garantiza una vida de anaquel de hasta 60 días después de la cosecha, dependiendo de la variedad. Los chiles se deben enfriar lo más rápido posible para reducir las pérdidas de agua. Si la temperatura de conservación es superior a 7.5 °C (45 °F) aumenta la pérdida de agua, arrugamiento, cambio de color y pudrición. La conservación a 7.5 °C (45 °F) se considera la mejor herramienta para mantener la vida de anaquel en un promedio de 6 a 10 semanas, y el producto se mantiene en condiciones óptimas de apariencia física y sin pérdida de valor nutricional, entregando al consumidor productos frescos, como si estuvieran recién cosechados. Los chiles en general se recomienda conservarlos a una temperatura mínima de 5 °C (41 °F) por 2 semanas sin síntomas visibles de daño por frío, esto reduce la pérdida de agua y la deshidratación, pero después de 2 a 3 semanas, se puede manifestar el daño por frío como un pardeamiento de las semillas como síntoma principal. Entre los síntomas de daño por frío están las depresiones de la piel, pudrición, pardeamiento anormal de las semillas y de la cavidad interna y el ablandamiento excesivo. Los chiles maduros o los que han desarrollado su color son menos sensibles al daño por frío que los chiles verde-maduros (Velásquez, 2008). La humedad relativa óptima recomendada es de 90% debido que la firmeza del producto se relaciona directamente con la pérdida de agua. Si la humedad relativa aumenta, se pueden presentar problemas de daños por patógenos que pueden causar pérdidas postcosecha y deterioro del producto.

Cuadro 2. Tasa de respiración en frutos de chiles en postcosecha a diferentes temperaturas.

Temperatura	$\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ de $\text{CO}_2$
10 °C (50 °F)	5 – 10
20 °C (68 °F)	20 – 30
27 °C (81 °F)	40 – 80

Fuente: (Nuez *et al.*, 1996)

La tasa respiratoria de los chiles varía dependiendo del tipo o cultivar, la transpiración, deshidratación o pérdida de agua de los frutos en postcosecha constituye el principal problema que demerita la calidad de consumo. Se ha observado que cuando los frutos pierden de 6 a 7% de su peso, la firmeza y la apariencia disminuyen y por consecuencia la calidad y vida de anaquel. La conservación del producto fresco puede prolongarse mediante su envasado en condiciones que permitan controlar la disponibilidad del O<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub> en el espacio en que se conserva, reduciendo el intercambio de O<sub>2</sub>, y aumentando el intercambio del CO<sub>2</sub> (Nuez *et al.*, 1996).

#### **1.2.5. Tasa de producción de etileno**

La tasa de producción de etileno en los chiles es muy baja: de 0.1 a 0.2  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  cuando se almacena a temperaturas entre 20 y 25 °C, cuando el almacenamiento es en una atmosfera controlada con humedad del 90% y temperatura de 8 °C, la producción de etileno es mucho más baja debido a que los frutos son fisiológicamente no-climatéricos, esto se refiere a que los frutos deben de cosecharse en madurez comercial listos para su consumo.

#### **1.2.6. Efectos de las atmósferas controladas**

Al conservar los chiles a la temperatura recomendada (5 a 8°C), se considera que las atmósferas controlados o modificadas de 3 a 5% de O<sub>2</sub> en combinación con 0 a 5% CO<sub>2</sub> proporcionan sólo un ligero beneficio, las atmósferas de bajas concentraciones de O<sub>2</sub> pueden retrasar el cambio de color. Las atmósferas con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (>5%) pueden dañar a los chiles verde-maduros (depresiones en la piel, pardeamiento interno, ablandamiento), mientras que los chiles en madurez comercial son más tolerantes del CO<sub>2</sub>. Hernández *et al.* (2010) mencionan que al comprar frutos de chile habanero, los almacenaron a una temperatura de 4°C hasta el momento de su uso, fueron realizando pruebas de secado del fruto cortados en rodajas y se logró determinar que a 50°C convectivo convencional, es decir es el proceso de transporte del fluido como electricidad o calor por lo cual los factores ambientales intervienen para poder llevar acabo los procesos de secado, de esta manera demostraron similitud con la temperatura de 31.7°C en secado solar natural, para poder deshidratar los frutos en

un menor tiempo. Por otra parte, Andueza *et al.* (2007), en un estudio realizado en el Instituto Tecnológico de Roque en Celaya, Guanajuato, indican que 10 y 26°C son temperaturas factibles para almacenar semillas por períodos cortos hasta seis meses de almacenamiento; sin embargo, a pesar de haberse reducido la calidad de la semilla almacenada en ambas temperaturas, 26°C conservó mejor la calidad de la semilla por mayor tiempo.

### **1.2.7. Centro de origen del chile habanero**

*Capsicum* es un género descrito por Carlos Linneo y que publicó en el año 1753 en su monumental obra *Species Plantarum*. Se cree que el nombre asignado deriva del griego *kapto*, que significa “picar” que es su principal característica (Waizel & Camacho, 2011).

Ebel (2013) menciona que el género *Capsicum* tuvo su posible centro de origen en la cuenca Amazónica y después se distribuyó ampliamente a Mesoamérica, donde la domesticación fue dando origen a una gran cantidad de variedades. Sin embargo, Ruiz *et al.* (2011) mencionan que diversos estudios han definido como centro de origen del género *Capsicum* al área ubicada entre el sur de Brasil, este de Bolivia, oeste de Paraguay y norte de Argentina. En esta región se observa la mayor distribución de especies silvestres en el mundo. La domesticación de *Capsicum annuum* podría haber ocurrido en una o ambas de las dos zonas de México: el noreste de México y el centro-este de México. La evidencia genética muestra un mayor apoyo a la ubicación más al norte, pero en forma conjunta las cuatro líneas de evidencia apoyan centro-este de México, donde macro-restos pre-cerámicos de chiles han sido recuperados en el Valle de Tehuacán. Para muchos cultivos, especialmente aquellos que no tienen un sólido historial arqueobotánico o patrón filogeográfico, es difícil identificar con precisión el lugar de su origen (Kraft *et al.*, 2013).

La especie *Capsicum chinense*, como todas las del género *Capsicum*, es originaria de América. Sin embargo, el taxónomo Nikolaus von Jacquin que acuñó erróneamente el nombre de la especie, colectó plantas en el caribe (Canul *et al.*, 2012). Según Long (2010), entre los años 1754 y 1759 el médico holandés Nikolaus Von Jacquin hizo una expedición al caribe con el fin de recolectar plantas para el emperador Francis I y

presentó una descripción del *Capsicum chinense* en su libro *Hortus botanicus vindobonensis*, publicado en 1776. Fue Jacquin quien le dio la nomenclatura taxonómica confusa de “*chinense* o *sinense*” a la especie, en su libro escribió que había tomado el nombre de la planta de su sitio de origen. La realidad es que Jacquin nunca estuvo en China en alguna excursión para recolectar plantas, mientras que su estancia y recolección de plantas en el caribe está bien documentada. La nomenclatura “*chinense*” ha resultado un enigma en la literatura botánica, ya que no hay una explicación viable de esta calificación. La ruta más viable por la que el chile habanero llegó a México, ya domesticado, parece ser por medio de grupos de inmigrantes que pasaron por el delta del Orinoco en Venezuela, y de allí a las islas del Caribe, a través de las islas de Trinidad y Tobago, localizadas cerca de la costa de América del Sur. Después de su llegada al Caribe, las semillas pudieron haber sido dispersadas entre las islas a través del comercio y la migración de los indios circuncaribeños, proceso que generó distintos tipos locales, adaptados al ambiente de cada isla, entre otras, Cuba. Es probable que el *Capsicum chinense* Jacq. fuera introducido a la península de Yucatán desde el caribe durante la segunda mitad del siglo XIX, con el calificativo de “habanero”, junto con otros productos como el ron y los puros, con el mismo apelativo (Long, 2010).

#### **1.2.7.1. Denominación de origen del chile habanero**

En el estado de Yucatán se concentra la mayor diversidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), por lo que se considera un centro de reserva genética de este fruto. Aunque también se produce en estados como Baja California Sur, San Luis Potosí, Sonora y Tabasco, las entidades que forman la península de Yucatán (Yucatán, Quintana Roo y Campeche) son las que poseen la denominación de origen desde 2010. Después del jitomate, el chile habanero es el más cultivado en toda la región; razón por la que más de 50% de la producción total proviene de este lugar. Es un producto utilizado en casi todos sus platillos en la gastronomía yucateca. En el 2010, se obtuvo la denominación de origen “chile habanero de la península de Yucatán”, y del 2011 a la fecha se han obtenido producciones arriba de 3,400 t, siendo el 80% producido en el estado de Yucatán (SAGARPA, 2011).

El chile habanero producido en la península de Yucatán logró la certificación de su denominación de origen, lo que permite que su producción y su industrialización sean exclusivamente de los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, contar con productos que tenga denominación de origen distingue de cualquier otro símil que tengan en el mundo y eso es un valor agregado. Con la acreditación se limitará la competencia, sólo podrá tener este nombre el cultivado en la región y los procesos de agroindustria en que se empleó como materia prima tendrá que ser procesado en los tres estados. Los principales factores que le dan identidad al chile habanero de la península de Yucatán son la temperatura, humedad, minerales del suelo, capacidad de retención de agua y su textura. Con las características de tamaño, color, sabor y olor, no se puede repetir esa denominación de origen la cual beneficia en tener costos y precios más justos en el mercado internacional. El picor de un chile se lo da la capsaicina y el chile habanero es uno de los más picantes del mundo por la calidad de ese ingrediente. Más de 300 años de historia en las manos de indígenas mayas han logrado una perfecta armonía de sabor, color y aroma del chile habanero. En los tres estados se producen alrededor de 9000 t al año, hay más de 4000 productores que siembran en 5000 ha. El 80% de la producción de chile habanero se comercializa como fruto fresco y el 20% restante se dirige a la elaboración de salsas, pastas y deshidratados. Se exporta principalmente a Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Italia y Alemania (SIAP, 2011).



## Chile habanero

DO: desde 2010

Territorio de origen: Península de Yucatán

Producción con DO: 153,187 toneladas

Porcentaje de producción con DO: 1.3%



Figura 1. Territorio de la denominación de origen del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), de acuerdo con SIAP (2011).

México sobresale en la generación de variedades de chile en el mundo, alrededor del 90% de chile que se consume a nivel mundial es de origen mexicano. Otros países productores son China, Indonesia, Turquía, España, Estados Unidos y Nigeria. El chile habanero, es una planta herbácea o arbusto, ramificados, que alcanzan un tamaño de hasta 2.5 m de alto. Los ejemplares inmaduros del chile habanero son de color verde, pero su color varía en la madurez. Los colores más comunes son anaranjados y rojos al madurar. Debido a sus distintas propiedades, el chile habanero es utilizado en rubros diferentes como la gastronomía y la medicina; la cual utiliza sus componentes para fabricar pomadas o ungüentos que alivian los severos dolores causados por la artritis y dolores de cabeza, ayuda a regular los niveles de insulina, por lo que puede ayudar a prevenir la diabetes. Dentro de la industria química se utiliza para realizar la base de algunas pinturas, así como para fabricar algunos gases lacrimógenos. El chile habanero es considerado uno de los más picantes del mundo, una sola porción de habaneros tiene 128 mg de potasio, es alto en vitamina C, tiene un alto contenido de capsaicina.

### **1.2.8. Importancia del chile habanero**

El chile (*Capsicum* spp.) en general, además de ser uno de los principales ingredientes de la gastronomía mexicana, es uno de los cultivos que genera más empleos y divisas en el país. Durante el 2016, se establecieron en México 151,314 ha<sup>-1</sup> de chile que representó 10.5% de la superficie sembrada en el mundo y se cosecharon alrededor de 2,080,568 kg, de los cuales el 73% fue aportado por los estados de Zacatecas, Chihuahua, Sinaloa, San Luis Potosí, Durango y Yucatán. Las principales variedades utilizadas fueron: serrano, jalapeño, chipotle, morrón y habanero (SAGARPA, 2017).

México es el país con la mayor diversidad genética de *Capsicum*, sin embargo, no es el productor más importante pues se ubica en el tercer lugar de producción mundial con 1.85 millones de toneladas, después de china (12.5 millones de toneladas) por una amplia diferencia productiva y Turquía, siendo luego seguido por España, Estados Unidos de América e Indonesia (SAGARPA, 2017).

### **1.2.9. Producción mundial y nacional**

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es originario de Sudamérica, aunque también es ampliamente conocido en el sureste mexicano donde forma parte de la gastronomía regional, es uno de los de mayor pungencia en el mundo, ya que su contenido de capsaicina fluctúa de 150,000 a 500,000 unidades Scoville (Bosland, 1996; Long, 1998; Ramírez *et al.*, 2005). Esa cantidad de capsaicina ha sido determinante en el incremento de la demanda de esta especie de chile en el mercado nacional e internacional. La capsaicina tiene amplia utilización en la medicina, cosméticos, pinturas, gases lacrimógenos y salsas (Soria *et al.*, 2002; Salazar *et al.*, 2004). En México, los estados que producen el chile habanero son Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Sonora, Veracruz, Chiapas y Baja California Sur. La mayor superficie cultivada se encuentra en el estado de Yucatán con 73% del total de la superficie sembrada (SIAP-SAGARPA, 2017).



Figura 2. Principales estados productores de variedades de chiles en México.

México es el mayor exportador de chile, a nivel mundial es conocido por este cultivo; es por ello por lo que se ha esforzado para llegar a obtener el primer lugar en la exportación de todas las variedades de chile (SAGARPA, 2017).

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, explica que México es el exportador número uno a escala mundial de chiles y pimientos; siendo 29.71% de su producción total lo que se destina al mercado internacional. Actualmente, el principal destino de estos productos es Estados Unidos; ya que las importaciones de chile para ese país son de 77.99% de productos mexicanos, seguidos de Canadá con 55.45% y Guatemala, cuyas importaciones de chile son de 52.25% (SAGARPA, 2017). El crecimiento anual promedio de la producción de chiles es de 4.82%, está previsto que para el periodo 2016-2030, el crecimiento acumulado en la producción potencial sea de 61.40%, mientras que para las exportaciones sea de 139.66%. En 2017 se exportaron a EEUU 1.05 millones de toneladas de chile y se comercializó a 13 destinos más; durante la última década las importaciones a escala mundial han aumentado

32.6; mientras se satisface el 100% de los requerimientos internos nacionales del producto. Durante el periodo 2012-2017 la producción de chile verde incrementó a una tasa anual promedio de 6.7%; siendo Chihuahua la entidad con mayor productividad, con un valor económico de 6246 millones de pesos por su venta; y 821,000 t en 2017, lo que representa 21.4% de la producción nacional del fruto. En ese mismo año Sinaloa alcanzó una producción de 18.4%, seguido de Zacatecas con 16.2%; pero es en la región del centro del país donde se presentan condiciones geográficas favorables para el cultivo de chile. En total durante 2017 se produjeron 3.3 millones de toneladas de chile verde en el país (SAGARPA, 2018).

La producción a escala nacional es 15.5% de agricultura protegida; mientras que al cultivo a cielo abierto le corresponde 84.5%. SAGARPA, (2018) indican que, hay disponibilidad del fruto en todo el año; pero es durante los últimos cuatro meses cuando se cosecha la mitad del volumen anual. Octubre es el mes con mayor producción de chile verde, registrando 13.4% del total anual, septiembre alcanza 12%; mientras que en noviembre y diciembre se produce 11.2 y 11.7%, respectivamente. La época menos productiva para el chile verde durante el año la abarcan los meses de abril, con un volumen de 4.7% del total anual; mayo con 4% y junio con apenas 3%. En la actualidad el chile fresco comercializado rebasa 3.2 millones de toneladas; mientras que el volumen negociado en seco es de 400,000 t. Además, el proceso de secado es primordial, ya que, de su valor, 23% se obtiene de chiles deshidratados; y es durante los meses de enero, febrero, marzo y diciembre que se obtiene una producción mayor del producto seco. En México el chile jalapeño es el de mayor producción, seguido del morrón y el poblano; además, el consumo per cápita del vegetal es de aproximadamente 18.1 kilogramos al año. Se estima que para 2030 la producción será de 4.49 millones de toneladas; y se registre una exportación de 2.11 millones, alcanzando un valor que ronde los 2.1 millones de pesos (SAGARPA, 2018).

En México, el 90% de la superficie sembrada de chile habanero se ubica en estados de la península de Yucatán en un área que fluctúa entre 750 y 900 ha (Trujillo y Pérez, 2004). De 1993 a 2014 el volumen de las importaciones se ha incrementado en 128%, mientras que su valor económico lo ha hecho en 196%. Las exportaciones

aumentaron, en ese mismo periodo, en 106%, mientras que su valor económico ascendió en 193% (Ramírez y Vásquez 2007).

En 2014, México se ubicó como el principal exportador de chile del mundo, con un volumen de 432,960 t, seguido de España y Holanda; juntos abarcaron más del 64% del volumen y 73% del valor económico de las exportaciones mundiales (Trujillo y Pérez, 2004). Según algunos datos relevantes, la superficie mundial sembrada de chile asciende a 1,696,891 ha, con una producción de 25,015,498 t y un rendimiento medio de 14.74 t ha<sup>-1</sup> (Ramírez y Vásquez 2007). México ocupa el segundo lugar en volumen de producción de chiles y el tercero en superficie cosechada, con 140,693 ha y 1,853,610 t, participando con 9% del área y 8% de la producción mundial.

La producción y comercialización del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) día a día va teniendo mayor importancia, el consumo de este producto es de 65% fresco y de un 35% industrializado en salsas picantes. El principal problema de comercialización estriba en la fluctuación de precios, calidades y tiempo de corte del producto. La utilidad que se le ha dado al chile o a sus derivados, podría extenderse, puesto que además de ser un ingrediente típico en la gastronomía, se considera como un agente colorante en la preparación de algunos embutidos, y en la industria avícola se mezcla con los alimentos balanceados para producir huevos con yema de color más rojizo, como ingrediente en la elaboración de cables y alambres conductores fluidos, para evitar el daño por roedores (Muñoz, 2005).

#### **1.2.10. Requerimientos climáticos del chile habanero**

El chile habanero muestra su mejor desarrollo en zonas templadas, subtropicales, con altitudes que oscilan entre 0 y 2700 msnm, se desarrolla en un rango de precipitación óptima de 600 a 1250 mm (FAO, 1994). Sin embargo, estos valores varían en base a la variedad que se vaya a cultivar y la adaptabilidad que ésta presenta (FAO, 1994; Aragón, 1995).

##### **1.2.10.1. Temperatura y humedad relativa**

El chile habanero es una hortaliza de clima tropical, los rangos de temperatura en que se desarrolla de forma normal son: mínima 15°C, máxima 35°C y óptima de 30°C. La temperatura menor de 15°C y mayor a 35°C limitan el desarrollo del cultivo (Ramírez

*et al.*, 2006). La temperatura para la germinación fluctúa entre los 18 y 35°C, siendo la óptima de 30°C, a nivel de productores se indica que este cultivo también produce en un rango de temperatura de 34 a 40°C, pero con menor eficiencia, con síntomas de estrés hídrico y marchitamiento del follaje en las horas de mayor calor; la literatura reporta que esta especie trabaja óptimamente con temperaturas de 26 a 30°C y una HR de 65% (Sánchez, 2008; Lightbourn, 2011).

La humedad relativa óptima debe oscilar entre el 50 y 70%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades y dificultan la fecundación, cuando la humedad y la temperatura son elevadas se produce una floración deficiente, caída de flores, frutos deformes y disminución del crecimiento, estos efectos similares también se producen cuando la humedad relativa es escasa (ECAO, 2002).

### **1.2.11. Requerimientos edáficos**

#### **1.2.11.1. Suelos**

El chile habanero se adapta y desarrolla en suelos profundos y bien drenados con textura entre lo franco limoso y franco arcilloso, con un pH desde 6.5 a 7.0, con un buen nivel de fertilidad y con una leve pendiente no menos de 8% para evitar áreas que se inundan o se estanque el agua después de una fuerte lluvia (Pacheco, 2005). Borges *et al.* (2008) mencionan que para predecir el nivel de disponibilidad de fósforo (P) en un análisis de suelo, es similar para cada cultivo al igual que en las condiciones donde se desarrolla; por tanto, debe basarse en la relación entre el fósforo extraído por la planta y el análisis de suelo realizado con una técnica apropiada.

#### **1.2.11.2. Fertilización**

En México el cultivo de chiles (*Capsicum spp.*) se destina al consumo interno y externo, buena parte de la producción se exporta, principalmente el que se produce en invernadero (SAGARPA-SIAP, 2017). En las regiones semiáridas es una opción debido al volumen de cosecha que se puede alcanzar por unidad de superficie tanto en invernadero como en campo abierto con el sistema de fertirriego. Es un cultivo que exige suelo de buena calidad y manejo correcto del agua, ya que es muy sensible a enfermedades por exceso de riego; requiere de abasto suficiente y balance adecuado

de nutrientes para obtener rendimientos rentables, se puede obtener hasta 80 t ha<sup>-1</sup> con el tratamiento de fertilización 320-240-300; suministrando 30% de N, 70% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 40% de K<sub>2</sub>O como fertilización de fondo y dosificando la cantidad del nutriente restante por etapas fenológicas; aunque la demanda puede variar dependiendo de la eficiencia de la fertilización y de la genética del cultivar. En las regiones áridas una de las principales limitantes para producir cosechas son la baja disponibilidad de agua, deficiencias en su manejo, en muchos casos se aplica con eficiencias de 40% o menos (Cardona y Carrillo, 1998), por lo que, es necesario el uso de agrosistemas más eficientes para conservar el recurso y no contaminar el suelo por uso excesivo de fertilizantes (Cadahia, 1998) y acumulación de sales provenientes del agua. La cantidad de fertilizante que se tiene que incorporar al cultivo, depende de la disponibilidad de nutrientes que se encuentren en el suelo y de la curva de nutrición de la planta (Prado, 2006). Para recomendar una dosis de fertilización para el cultivo de chile habanero es necesario conocer en qué condiciones de fertilidad se encuentra el suelo. En términos generales el cultivo de chile habanero, es exigente en potasio (K), nitrógeno (N), calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P) (Prado, 2006). El requerimiento por hectárea del cultivo es de 250 kilogramos de nitrógeno, 100 kilogramos de fósforo, 300 kilogramos de potasio, 200 kilogramos de calcio y 100 kilogramos de magnesio, en todo el ciclo de producción (Prado, 2006).

### **1.2.11.3. Riego**

Quintal *et al.* (2012) realizaron un estudio para determinar el uso del agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), en el cual se evaluó el efecto de cinco niveles de humedad aprovechable (HA) (60, 50, 40, 30 y 20%) aplicada tres veces por semana en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecido en condiciones protegidas. Se analizó el potencial hídrico de la hoja, crecimiento, producción y distribución de biomasa, rendimiento y tamaño del fruto, índice de cosecha e índice de productividad del agua. Se encontró que al regar con una lámina de 60% de la HA se obtuvo la mejor condición hídrica de la planta, 55% más de área foliar, 44% más de biomasa total y 84% más de rendimiento de fruto, que

con 20% de HA. Con 60% de HA se logró una producción de 5.6 g de biomasa seca por cada litro de agua aplicado.

El cultivo de chile habanero requiere una lámina de riego de 750 a 1000 mm para obtener altos rendimientos. Una lámina de riego menor a 30 mm mensuales afecta el rendimiento (Ramírez *et al.*, 2006).

De acuerdo con Ramírez y Lozano (2018), existen condiciones agroecológicas óptimas para producir chile habanero de riego y mejorar su productividad en la península de Yucatán. Las zonas más apropiadas para chile habanero de riego se localizan en el oriente y sur del estado de Yucatán; el centro y norte de los estados de Quintana Roo y Campeche. Las zonas productoras de riego por lo general se ubican en las zonas de bajo y mediano potencial, por lo que se sugiere fomentar su cultivo hacia las zonas de alto potencial para hacer al cultivo más competitivo con mejores rendimientos y reducir costos de producción con la mecanización o semi-mecanización de su cultivo. Los rendimientos en riego son factibles de mejorar si se ubican las zonas productivas en las regiones de mediano y alto potencial, y se orientan los recursos financieros y humanos hacia estas regiones. Las áreas potenciales para riego son más de 300,000 ha y se concentran en los municipios del sur y oriente del estado de Yucatán, centro y norte de los estados de Campeche y Quintana Roo. En lo que respecta a las áreas de potencial sub-óptimo, la mayor parte se concentra en el norte del estado de Yucatán, sur y norte de Campeche y centro y norte de Quintana Roo con una superficie superior a las 600,000 ha.

Cuadro 3. Requerimientos agroecológicos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en México.

Criterio	Óptima	Sub-óptima	No apta
Temperatura media anual (°C)	21 - 27	15 - 20	< 15
		28 - 32	> 32
Altitud (m)	0 - 500	501 - 1000	> 1000
Latitud (grados)	20 - 25	25 - 30	> 30
Tipo de suelo	Fluvisoles	Cambisoles	Gleysoles
	Luvisoles	Rendzinas	Vertisoles
	Nitisoles	Regosoles	Arenosoles
			Solonchaks
Drenaje	Bueno	Medio	Deficiente
pH	6.0 - 7.0	5.3 – 5.9	< 5.3
Salinidad (dS m <sup>-1</sup> )	< 2.0	2.1 a 3.9	> 4.0
Topografía (% desnivel)	0 - 5	6 - 10	> 10

Fuente: Ramírez y Lozano (2018)

## 1.2.12. Características del cultivo

### 1.2.12.1. Crecimiento

El crecimiento y la capacidad productiva de un cultivo es el resultado del genotipo, del ambiente que lo rodea y de su interacción (Rincón *et al.*, 2007). El genotipo es relativamente constante si se compara con la variabilidad del ambiente; sin embargo, la expresión fenotípica es ampliamente influenciada por los cambios ambientales y cualquier variable que produzca efectos sobre el medio va a verse reflejada en el crecimiento y productividad del cultivo (Marín, 1986).

El crecimiento de las plantas cultivadas es afectado por el genotipo, ambiente y las interacciones entre estos dos componentes (Gardner *et al.*, 1985). Los efectos de los factores ambientales sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos, como la radiación solar incidente en el cultivo, humedad edáfica, nutrientes disponibles, temperatura, plagas y enfermedades (De Souza *et al.*, 1997). La interacción del genotipo y el

ambiente son los dos factores más importantes que controlan la respuesta a una condición ambiental sobre el cultivo: la distancia de dicha condición con la condición óptima (grado de estrés) y la etapa fenológica del cultivo de sorgo en la cual se presenta la condición ambiental adversa (Saeed *et al.*, 1986). Por otra parte, la competencia interplanta, provocada por la densidad de población de un cultivo involucra a un importante porcentaje de factores ambientales limitantes del rendimiento, como la radiación solar, humedad y nutrientes del suelo (Modarres *et al.*, 1998). Se considera que el análisis de crecimiento representa el primer paso en el análisis de la productividad primaria, siendo un enlace entre el registro de la producción vegetal y su investigación por métodos fisiológicos, pudiendo ubicarse consecuentemente dentro del ámbito de los estudios ecofisiológicos. Su ventaja radica en la facilidad de obtención de los datos en los cuales se basa, como son el peso seco de plantas completas o de sus partes (hojas, tallos, vástagos) y las dimensiones del aparato asimilatorio (área foliar, área de tallos y contenido de clorofila) (Marín, 1989; Kvet *et al.*, 1971).

Para describir el crecimiento y desarrollo de los cultivos, es necesario determinar las funciones o tasas de diferentes procesos; éstos incluyen la identificación de fases y etapas distintivas del desarrollo, así como la predicción de la duración de éstas para determinados regímenes de temperatura (Wurr *et al.*, 2002; Soto-Ortiz *et al.*, 2006).

#### **1.2.12.2. Fruto**

El fruto de chile habanero se presenta entre los 120 y 140 días después del trasplante cuya forma es tipo acampanado con tres o cuatro lóculos en promedio (Trujillo, 2004); los frutos también son considerados una baya (López *et al.*, 2009), con forma de un trompo redondo, que varía de 2 a 6 cm de largo por 2 a 4 cm de ancho. Los frutos son de color verde en estado inmaduro, pero al madurar se tornan a color rojo, anaranjado o amarillo, dependiendo de la variedad. Esporádicamente se han encontrado algunos frutos de color café (Ochoa, 2001). La calidad es determinada por la apariencia del fruto, tamaño, peso unitario, firmeza y color (Soria *et al.*, 2000).

### **1.2.13. Requerimientos nutricionales**

A cada nutriente corresponde un requerimiento específico y una función fisiológica dentro de la planta; si el nutriente está presente por debajo del mínimo requerimiento, la deficiencia resultante causa efectos adversos en el crecimiento y desarrollo de la planta, con excepción del hierro; las deficiencias en micronutrientes no se encuentran tan frecuentemente porque en general dichos nutrientes se encuentran en el suelo en las cantidades requeridas para los procesos fisiológicos de las plantas. Los cinco nutrientes que afectan considerablemente a la planta y que pueden ser observados a simple vista, son: nitrógeno, potasio, fósforo, azufre y hierro. El nitrógeno tiene el más diverso rango de funciones en términos de afectar a la planta, cada uno de los cinco nutrientes tiene un nivel básico mínimo a partir del cual se producen las respuestas en la planta. A medida que se incrementa el nivel del nutriente la respuesta se hace más positiva, con excepción del nitrógeno. A niveles altos, el nitrógeno produce efectos positivos en términos del crecimiento de brotes o macollos, densidad de éstos y sus colores; pero produce efectos negativos en términos del crecimiento de raíces, reservas de hidratos de carbono, potencial de recuperación, resistencia al frío y al calor, resistencia a la sequía, tolerancia al desgaste y susceptibilidad a las enfermedades. El fósforo se encuentra asociado a la transformación de energía en forma de adenosintrifosfato (ATP), como constituyente del material genético en el núcleo celular, y en las transformaciones de los hidratos de carbono. La mayoría de los macronutrientes son constituyentes claves de los compuestos orgánicos dentro de la planta, con excepción del potasio. Este último nunca se encuentra formando parte de compuestos orgánicos dentro del tejido de la planta; ya que al ser un nutriente muy móvil se traslada desde los tejidos viejos hacia los tejidos jóvenes de la planta.

#### **1.2.13.1. Nutrientes Esenciales**

El cultivo de chile habanero como cualquier otro cultivo, demanda fuentes principales de nutrientes principales para su desarrollo; de acuerdo con Arnon y Stout (1939), para que un nutrimento sea considerado como esencial para la planta debe cumplir con tres requisitos principales:

- 1.- Las plantas deben ser incapaces de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral.
- 2.- Las funciones del elemento no podrán ser sustituidas por otro elemento.
- 3.- El elemento debe estar directamente involucrado en el metabolismo de las plantas.

Los principales minerales esenciales para la planta son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), zinc (Zn), y molibdeno (Mo), aunque también se ha demostrado que varios otros minerales como el sodio (Na), silicio (Si), aluminio (Al), cobalto (Co), níquel (Ni) y selenio (Se), sin ser esenciales, pueden estimular el crecimiento de las plantas (FAO, 2016).

#### **1.2.13.2. Macronutrientes**

Los macronutrientes en las plantas son elementos necesarios y relativamente abundantes para asegurar el crecimiento, desarrollo y supervivencia de las plantas (Seoáñez *et al.*, 1999). La presencia de una cantidad suficiente de elementos nutritivos en el suelo no garantiza la correcta nutrición de las plantas, ya que estos elementos no se encuentran en formas moleculares que permitan su asimilabilidad por la planta, una cantidad suficiente y una adecuada disponibilidad de estos nutrientes en el suelo son fundamentales para el correcto desarrollo de la planta. Es importante la existencia en los suelos con suficientes nutrientes en formas inalteradas, formando parte de los minerales de la roca madre, como incorporados a moléculas orgánicas complejas, que constituyen una reserva a largo plazo (Duchaufour, 1987). Dentro del grupo de los macronutrientes, se distinguen los elementos primarios: nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K) y elementos secundarios: calcio, magnesio y azufre (Ca, Mg, S) (Schachtschabel *et al.*, 1992; Plaster, 2000).

Estos seis nutrientes se encuentran en los tejidos de las plantas en menores cantidades que el carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), y en cantidades mucho mayores que el grupo de los micronutrientes. En la mayoría de los cultivos, las necesidades de las plantas son superiores a las reservas existentes en forma asimilable de los elementos en el suelo, por lo que es necesario realizar aportes mediante el uso de fertilizantes. Cada uno de los nutrientes tiene una función

específica en la planta para su completo desarrollo. Los roles del nitrógeno y del fósforo en el metabolismo de las plantas son los más diversos a los otros macronutrientes. El nitrógeno forma parte de estructuras orgánicas tales como: ácidos nucleicos, los cuales son importantes en la transferencia hereditaria de las características de las plantas, aminoácidos y proteínas que componen gran parte del protoplasma o la porción viviente de células individuales, molécula de clorofila, que constituye el punto focal en el proceso de fotosíntesis, enzimas y vitaminas, las que son importantes en las reacciones metabólicas dentro de la planta (Schachtschabel *et al.*, 1992; Plaster, 2000).

#### **1.2.13.2.1. Nitrógeno (N)**

Es considerado como el cuarto elemento más abundante en los vegetales después del carbono, hidrogeno y oxígeno (C, H, O) (Barceló, 2001). La forma en como lo absorben las plantas es Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Forma parte del contenido de todas las proteínas en animales y vegetales, es fundamental para el crecimiento vegetativo, da el color verde intenso a las plantas, activa el rápido crecimiento, aumenta la producción de hojas, mejora la calidad de las hortalizas, constituyente de la clorofila que permite la fotosíntesis, es un componente de ARN y ADN. Su deficiencia provoca bajos rendimientos, débil macollamiento en cereales, madurez prematura, hojas de color verde claro o amarillento. Un exceso de este elemento se traduce en menor resistencia frente a las plagas y enfermedades, vuelco de las plantas, hojas de color verde azulado y retardo en la maduración. Es el macronutriente que se suministra con mayor frecuencia como fertilizante, ya que las plantas lo requieren en grandes cantidades. Los procesos de combinación del nitrógeno con otro elemento reciben el nombre de fijación del nitrógeno y se realizan, gracias a la acción de ciertos microorganismos y a las descargas eléctricas que tienen lugar en la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno fijado suele ser pequeña en comparación con la que las plantas podrían utilizar. Cerca de 99% del nitrógeno combinado en el suelo, se encuentra contenido en la materia orgánica. El nitrógeno orgánico, incluido en moléculas grandes y complejas, sería inaccesible a los vegetales superiores si no fuera previamente liberado por los microorganismos. La actividad microbiana descompone

gradualmente los materiales orgánicos complejos en iones inorgánicos simples que pueden ser utilizados por las plantas. La cantidad de nitrógeno disponible en el suelo suele ser muy pequeña (Thompson y Troeh, 1982).

#### **1.2.13.2.2. Fósforo (P)**

Las formas absorbidas del fósforo son:  $\text{HPO}_4^{2-}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Es fundamental en la división celular, aporta energía durante la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos, facilita la formación rápida y crecimiento de las raíces, estimula la formación de semillas, da vigor a los cultivos para defenderse condiciones climáticas adversas, es un regulador principal de todos los ciclos vitales de las plantas. A diferencia del nitrógeno, que puede incorporarse a los suelos por medio de la fijación bioquímica por microorganismos, el fósforo no posee ayuda microbiana, procede únicamente de la descomposición de la roca madre que tiene lugar durante el proceso de meteorización, y representa alrededor del 0.10% de la corteza terrestre. Su contenido, bajo en las rocas primitivas (0.03-0.08%), es más elevado en las rocas volcánicas (0.10-0.30%), que constituyen la fuente original del fósforo (Navarro García y Navarro Blaya, 2000).

Schachtschabel *et al.* (1992) destacan que el contenido medio de fósforo en la corteza terrestre es de 0.05%. La cantidad de fósforo total del suelo, expresada como  $\text{P}_2\text{O}_5$ , en raras ocasiones sobrepasa el valor de 0.50% y puede clasificarse, en general, como inorgánico y orgánico (Tan, 1994). El fósforo inorgánico es predominante, excepto en los suelos donde la materia orgánica se encuentra en una gran proporción. El fósforo orgánico suele ser mayor en las capas superficiales que en el subsuelo, debido a la acumulación de materia orgánica, en cuanto al contenido total, que generalmente suele ser más alto en los suelos jóvenes vírgenes y en las áreas donde las lluvias no son excesivas. En los suelos cultivados tiende a acumularse en las capas superficiales debido a que parte de este elemento se pierde por lixiviación y a que las eliminaciones por las cosechas son generalmente pequeñas. La proporción de fósforo que procede del material originario oscila, entre 40 y 80% del fósforo total siendo el resto de origen orgánico (Duchaufour, 1987). El fósforo orgánico es de gran importancia en la fertilidad debido a que determinados compuestos orgánicos son una fuente indirecta de formas solubles (Bray y Kurtz, 1945). El humus y otros tipos de

materia orgánica no humificada son la principal fuente de fósforo orgánico en el suelo. El fosforo inorgánico puede formar parte de la cadena de silicatos donde sustituye al silicio, o encontrarse en minerales (Schachtschabel *et al.*, 1992; Tan, 1994; Navarro y Navarro, 2000). Su carencia se manifiesta por retraso en la floración y baja producción de frutos y semillas, su exceso puede provocar la fijación de elementos como el zinc en el suelo.

### **1.2.13.2.3. Potasio (K)**

La forma de absorción del potasio por las plantas es  $K^+$ , es el nutriente de mayor importancia cuantitativa y cualitativa en la producción vegetal, interviene activamente en el proceso de división celular regulando las disponibilidades de azúcares, ayuda en los procesos de absorción de Ca, N y Na, da vigor y resistencia contra las enfermedades y bajas temperaturas, ayuda a la producción de proteínas y se encarga del transporte de azúcares desde las hojas hasta el fruto. El potasio es el elemento mineral que se encuentra en mayor proporción en las plantas, independientemente del potasio que se añade como componente de diversos fertilizantes, el potasio presente en los suelos procede de la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos. Se encuentra también en el suelo bajo la forma de otros minerales como vermiculita y clorita (Navarro y Navarro, 2000). A diferencia del fósforo, el potasio lo podemos encontrar en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes, en general, su contenido como  $K_2O$  oscila entre 0.20-3.30% y depende de la textura. En suelos sódicos el contenido varía entre 2.50-6.70% (Schachtschabel *et al.*, 1992). Los suelos arcillosos y limo-arcillosos son más ricos en potasio que los limo-arenosos y arenosos, teniendo en cuenta también que la variación en el contenido de potasio está influenciada por la intensidad de las pérdidas debidas a extracción por los cultivos, lixiviación y erosión (Navarro y Navarro, 2000).

La falta de potasio en las plantas se manifiesta en forma de necrosis en los márgenes y puntas de las hojas más viejas, bajo rendimiento y poca estabilidad de la planta, mala calidad y alta pérdida del producto cosechado. Cuando tenemos exceso de potasio en la planta, se bloquea la fijación de magnesio y calcio (INTAGRI, 2017).

#### **1.2.13.2.4. Elementos secundarios**

Las cantidades de estos elementos presentes en el suelo suelen cubrir las necesidades de los cultivos, por lo que no es preciso realizar aportes de ningún tipo al suelo. Este grupo de elementos comprende Ca, Mg y S (Thompson y Troeh, 1982).

#### **1.2.13.2.5. Calcio (Ca)**

La forma de absorción del calcio por las plantas es  $\text{Ca}^{2+}$ , nutriente esencial en las paredes de las células como pectato cálcico; mantiene la integridad de la membrana y forma parte de la enzima  $\alpha$ -amilasa, muy importante en la regulación del pH, fortalece las raíces, regula la absorción de nutrientes, elemento de baja movilidad en el xilema y menor aún vía floema. Además de ser un nutriente esencial en las plantas, ningún otro elemento a excepción del hidrógeno y potasio ha recibido tanta atención desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, el estudio del Calcio ha demostrado su papel fundamental, no sólo en la estructura del suelo, sino también en la mecánica y química del complejo adsorbente, y su influencia sobre la capacidad de asimilación de otros elementos considerados esenciales para la planta. El calcio presente en el suelo procede de las rocas y de los minerales del suelo, y su contenido total puede variar ampliamente. En los suelos considerados no calizos oscila entre 0.10 y 0.20%, mientras que en los calizos puede alcanzar hasta 25% (Navarro y Navarro, 2000). Las concentraciones más bajas de calcio aparecen en suelos muy lavados, con capacidades de intercambio catiónico bajas, como sucede en algunos suelos tropicales (Thompson y Troeh, 1982).

La característica esencial del calcio es su ausencia de movilidad en la planta a tal punto que, en el mismo vegetal, es posible observar simultáneamente hojas viejas que han acumulado concentraciones elevadas en calcio y hojas jóvenes que presentan signos de deficiencia. La falta de calcio en la planta se manifiesta en los órganos jóvenes principalmente hojas; en los frutos, una mala nutrición cálcica es la causa de enfermedades fisiológicas como la necrosis apical de las solanáceas. Cuando tenemos exceso de calcio, se produce una toxicidad y provoca deficiencia de magnesio o potasio.

#### **1.2.13.2.6. Magnesio (Mg)**

La forma de absorción del magnesio por las plantas es mediante  $Mg^{2+}$ , es el núcleo central de la molécula de clorofila, que es donde se producen los azúcares que permiten a la planta crecer y producir frutos, la clorofila da el color verde a las plantas:  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ , juega un papel predominante en la actividad de las enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos, también forma parte de la estructura del ribosoma. El magnesio es un elemento químicamente muy activo pero que no aparece por sí solo como elemento libre en la naturaleza, sino que se encuentra ampliamente distribuido en forma mineral. Según diversas estimaciones su contenido medio en la corteza terrestre puede situarse en 2.30% (Navarro y Navarro, 2000), mientras que en el suelo se aproxima a un 0.50% (Tan, 1994). En las rocas el Mg se encuentra estrechamente asociado a numerosos minerales, como silicatos, y a otros minerales de arcilla, como clorita y vermiculita (Schachtschabel *et al.*, 1992). La arcilla retiene el magnesio de forma menos resistente que el calcio, por lo que es lixiviado más fácilmente del suelo, los suelos con bajo contenido de magnesio son más comunes que los suelos con bajo contenido de calcio.

#### **1.2.13.3. Micronutrientes**

Los micronutrientes son elementos que los cultivos requieren en bajas cantidades, y su clasificación en cuanto a su esencialidad, pueden variar en función del cultivo, un elemento es esencial cuando su deficiencia origina la disminución de una función fisiológica hasta condiciones subóptimas, revirtiéndose esta situación cuando el nutriente es suministrado en cantidades adecuadas (Mertz, 1981). La carencia del elemento esencial produce alteraciones estructurales y fisiológicas similares en las diferentes especies vegetales; es decir, que las alteraciones producidas por la deficiencia son independientes de la especie vegetal (Markert *et al.*, 2000). Los nutrientes esenciales para la planta en el grupo de los micronutrientes son: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl). Estos micronutrientes son usualmente necesarios en concentraciones menores a 2 ppm. Aunque las cantidades de micronutrientes requeridas para el crecimiento y desarrollo de las plantas son pequeñas, son tan importantes como las cantidades de

macronutrientes. Cada micronutriente esencial contribuye a una función diferente, y no necesariamente con el mismo impacto en cada cultivo. Es importante destacar que tanto la carencia como el exceso de un micronutriente determinado, podrían significar la pérdida parcial o total del cultivo. Por ello, es importante realizar análisis de suelo, agua y tejido para evaluar, no sólo las necesidades iniciales, sino una posible acumulación que revertiría efectos no deseados. El contenido total de micronutrientes en el suelo es función del material de partida y de los procesos edafológicos (White y Zasoski, 1999). Aquellos elementos cuya concentración total en el suelo es inferior a  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  son llamados elementos traza. Dentro de este grupo podemos incluir a Cu, Mn y Zn, imprescindibles para las plantas en baja concentración, pero que pueden volverse tóxicos al alcanzar determinados niveles. La excepción dentro de ellos está en el Fe, que es un micronutriente, pero no un elemento traza (White, 2000).

#### **1.2.13.3.1. Hierro (Fe)**

A pesar de su abundancia en suelos y rocas, es uno de los micronutrientes más deficiente en las plantas (Thompson y Troeh, 1982). El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza continental después del oxígeno, silicio y aluminio, constituyendo alrededor del 15% en peso de la corteza terrestre (Kabata, 2001). Es el microelemento más abundante en los suelos, ya sea como constituyente mineral o bien bajo la forma de óxidos e hidróxidos (Schachtschabel *et al.*, 1992; White y Zasoski, 1999). No obstante, en suelos con horizontes enriquecidos en materia orgánica, el Fe aparece en forma de quelatos (Kabata, 2001). Su contenido en los suelos templados suele variar entre el 1 y 5%. Valores inferiores al 1% pueden encontrarse en suelos ácidos de textura gruesa (Moreno *et al.*, 2000). La cantidad total de hierro en los suelos no es indicador de su disponibilidad para las plantas. Las deficiencias de este elemento, cuya razón aparente es su insuficiente cantidad en el suelo, son en realidad debidas a su tendencia a formar compuestos insolubles del ión férrico  $\text{Fe}^{3+}$  (Moreno *et al.*, 2000). Los restos fósiles de algunos suelos antiguos contienen tanto hierro que se explotan como mineral férrico (Thompson y Troeh, 1982). La mayor parte del Fe se encuentra en las estructuras de las rocas ígneas, al igual que en minerales

secundarios, siendo un elemento esencial en un amplio grupo de minerales de arcilla (Bataglia, 1991).

#### **1.2.13.3.2. Cobre (Cu)**

El cobre es uno de los elementos esenciales más importantes tanto para las plantas como para los animales; sin embargo, cantidades excesivas de éste pueden producir efectos tóxicos (Schachtschabel *et al.*, 1992).

En las plantas, el cobre activa ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina y es esencial para diversos sistemas enzimáticos. También es necesario en el proceso de la fotosíntesis, esencial para la respiración de las plantas y coadyuvante de éstas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas. Además, ayuda a intensificar el sabor y color en las hortalizas y en las flores. El cobre es inmóvil, los síntomas de su deficiencia se presentan en las hojas nuevas y varían dependiendo de cada cultivo, normalmente comienzan por enrollamiento y una leve clorosis, sea en toda la hoja o bien entre las venas de las hojas nuevas, dentro de las zonas cloróticas de las hojas pueden formarse pequeños puntos necróticos, particularmente en los bordes de éstas, a medida que los síntomas progresan, las hojas nuevas son más pequeñas, pierden su brillo y en algunos casos pueden marchitarse, los meristemos apicales pueden necrosarse y morir, impidiendo así el desarrollo de ramas laterales, la apariencia de las plantas es compacta y los tallos entre las hojas se acortan; mientras que en las flores, el color suele ser más claro de lo normal. El exceso de potasio y fósforo puede provocar, indirectamente, deficiencia de cobre. Esta deficiencia también puede ser provocada por un pH alto en el sustrato, pues su disponibilidad será menor para la planta. El cobre prevalece en los basaltos, y es más abundante en las rocas sedimentarias (Seoáñez *et al.*, 1999). Su abundancia en rocas basálticas es más alta que en las graníticas, y muy baja en rocas carbonatadas (Kabata, 2001). El origen del cobre en el suelo ha sido ampliamente discutido. Según Cox (1979) el rango de Cu en la corteza terrestre se encuentra entre los 24 y 55 mg kg<sup>-1</sup>. Brun *et al.* (1998) y Mortvedt (2000), aseguran que la capa arable del suelo presenta cantidades de este elemento que oscilan entre 5 y 30 mg kg<sup>-1</sup>. Para Schachtschabel *et al.* (1992), el contenido medio de Cu en la corteza es de 35 mg kg<sup>-1</sup>, oscilando entre 4 y 90 mg kg<sup>-1</sup>, en tanto que en

suelos naturales sus niveles fluctúan generalmente entre 2 y 20 mg kg<sup>-1</sup>. Graña *et al.* (1991) obtuvieron concentraciones de cobre total entre 16 y 93 mg kg<sup>-1</sup> para muestras superficiales de suelo. Como componente de los minerales de la corteza terrestre, el cobre se encuentra fundamentalmente en forma de sulfuros de naturaleza simple, o junto a otros metales, formando sulfuros complejos (Seoáñez *et al.*, 1999). Los más comunes son sulfuro cuproso (CuS<sub>2</sub>), sulfuro-férrico-cuproso (CuFeS<sub>2</sub>) y sulfuro cúprico (CuS). Otras formas menos estables son óxido cuproso (Cu<sub>2</sub>O) y óxido cúprico (CuO). Aparece también como parte de determinados carbonatos y silicatos hidratados sustituyendo isomórficamente al Mg<sup>2+</sup> y Fe<sup>2+</sup> (Navarro y Navarro, 2000). Como en la mayoría de los Microelementos, el contenido de cobre que presenta el suelo es directamente proporcional a su abundancia en la roca madre (Seoáñez *et al.*, 1999). En su forma natural el cobre se presenta con dos valencias, Cu<sup>2+</sup> o Cu<sup>+</sup>. La primera de ellas es la más frecuente, ya sea en forma de catión divalente o formando compuestos estables. La segunda forma, el ión cuproso Cu<sup>+</sup>, es inestable a altas concentraciones en condiciones de temperatura normal (Seoáñez *et al.*, 1999).

#### **1.2.13.3.3. Manganese (Mn)**

La función del manganeso en las plantas es que es uno de los elementos que más contribuye al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno. También interviene en la germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico, el alargamiento celular en la raíz y la resistencia a patógenos de la misma. Los síntomas de deficiencia de manganeso se asemejan a los de la deficiencia de hierro: clorosis intervenal (hojas amarillas con venas verdes) en las hojas jóvenes y manchas bronceadas hundidas en las áreas cloróticas intervenales, el crecimiento de las plantas puede verse disminuido y retrasado. La deficiencia de manganeso puede presentarse cuando el pH del sustrato de cultivo es superior a 6.5, ya que es fijado y pierde disponibilidad para su absorción, la deficiencia puede presentarse debido a bajos índices de aplicación de fertilizante, al empleo de fertilizantes para usos múltiples, a la lixiviación excesiva o a demasiadas aplicaciones de quelato de hierro. El manganeso presente en los suelos es originado principalmente por la descomposición de las rocas ferromagnéticas (Navarro y Navarro, 2000). Es un

microelemento similar al Fe, tanto en su química como en su geología y muy abundante en la litosfera, presentando una concentración media de 80 mg kg<sup>-1</sup>, con un intervalo de 10 a 1600 mg kg<sup>-1</sup>. El contenido en el suelo muestra variaciones considerables, pero normalmente fluctúa entre 20 y 800 mg kg<sup>-1</sup>. El Mn en el suelo está asociado a óxidos (MnO<sub>2</sub>, Mn (OH)), silicatos (SiO<sub>3</sub>Mn) y carbonatos (MnCO<sub>3</sub>) (Seoáñez *et al.*, 1999). De forma natural, el manganeso aparece con tres valencias dependiendo directamente de las condiciones de óxido-reducción del suelo: Mn<sup>2+</sup>, Mn<sup>3+</sup> y Mn<sup>4+</sup>, lo que le permite formar compuestos de distinta estabilidad, siendo más estables, en condiciones reductoras, los compuestos con la forma Mn<sup>2+</sup> y en condiciones oxidantes los que presentan Mn<sup>4+</sup>. El divalente es la forma principal de Mn en el suelo y agua, y normalmente se encuentra adsorbido por las cargas negativas de la superficie de las arcillas (Tan, 1994).

#### **1.2.13.3.4. Zinc (Zn)**

El zinc es un elemento ampliamente distribuido que se encuentra en cantidades pequeñas, pero suficientes, en la mayoría de los suelos y plantas, es un elemento de poca movilidad dentro de la planta, pero con numerosas funciones críticas, en los procesos de maduración y producción de semillas, favorece la formación y fertilidad del polen, por ello la deficiencia en la planta tiene mayor efecto en el rendimiento del grano que en el desarrollo vegetativo. Las deficiencias de zinc ocurren en áreas ampliamente dispersas (Thompson y Troeh, 1982). Su concentración en la litosfera, así como en el suelo ha sido estudiada por varios autores. Souza y Ferreira (1991) afirman que la corteza terrestre contiene entre 65 y 80 mg kg<sup>-1</sup> de este elemento, siendo de 40 mg kg<sup>-1</sup> en el granito, 130 mg kg<sup>-1</sup> en el basalto y muy variado en las rocas sedimentarias (20 mg kg<sup>-1</sup> en las calcáreas, 16 mg kg<sup>-1</sup> en las areniscas y 95 mg kg<sup>-1</sup> en esquistos).

#### **1.2.14. Selección genética**

La planta de chile habanero, aunque es reconocida como una especie autógena, bajo determinadas condiciones puede comportarse como alógama facultativa, pudiendo ocurrir hasta 40% de polinización cruzada. Este comportamiento de la

especie debe ser tomado en cuenta tanto en la estrategia de mejoramiento como en la de producción de semilla que se utilice para el cultivo (Santana *et al.*, 2018). En *Capsicum*, como en otras especies hortícolas, la obtención de variedades se ha realizado a través de la selección de fenotipos promisorios dentro de las poblaciones, o bien siguiendo los esquemas de la mejora genética clásica, es decir, hibridación seguida de la selección. Dentro de los métodos más empleados se encuentran: la selección masal, la genealógica y las retrocruzas. El método que se utiliza para el esquema de mejora genética en chile habanero es el de selección masal. Este método consiste en seleccionar dentro de la población un número de plantas que estará determinado por la presión de selección que se aplique en cada ciclo. Las plantas seleccionadas deberán tener o acercarse mucho a las características ideotipo buscado. Las semillas de estas plantas son cosechadas para establecer la parcela del siguiente ciclo de selección, al que solo pasan las plantas que conservan el ideotipo deseado. Por tanto, la selección masal es fundamentalmente fenotípica, ya que se selecciona un conjunto de individuos con el mismo fenotipo y se descarta la variación existente en el material de partida mediante el empleo de los criterios de selección determinados al inicio del proceso de selección (Santana *et al.*, 2018).

El hombre ha seleccionado y modificado a las plantas desde hace más de 10,000 años, ha fomentado el avance de la ciencia y tecnología mediante la selección artificial “cross the best with the best and hope for the best” y de la ingeniería genética reduciendo costos e incrementando rendimiento. Entre los factores que favorecen la diversidad genética y la interacción de estos genotipos con el ambiente, son las mutaciones. Mutaciones naturales o espontáneas, son las que se producen en condiciones normales del desarrollo y del ambiente. Evolución que son mutaciones inducidas provocadas por un agente exógeno: físico, químico y biológico (Montiel, 2014). Las plantas que hoy se cultivan son distintas de sus antepasados silvestres, ya que el hombre ha modificado y seleccionado sus propiedades a lo largo de más de diez mil años en función de sus necesidades. La civilización moderna basa su agricultura en agroecosistemas, ecosistemas fuertemente alterados por las actividades humanas con el objetivo de la producción agrícola, en los que la

biodiversidad se ha reducido para maximizar los rendimientos multiplicando la producción de alimentos para satisfacer necesidades humanas. Muchas especies vegetales que predominan en estos sistemas resultan de la selección artificial vinculada al manejo agrícola. Un agro-ecosistema es controlado con el objetivo definido de producir alimentos, y a diferencia de un ecosistema natural, es de naturaleza artificial y se encuentra en constante evolución y mejoramiento de las prácticas agrícolas. La gran mayoría de los cultivos que utiliza el agricultor en la actualidad han sido generados por el hombre mediante diversos métodos. Hoy, la ingeniería genética se suma a las prácticas convencionales como una herramienta más para mejorar o modificar los cultivos vegetales. Existe gran diversidad de fenotipos en las plantas, en sus características y en sus funciones, determinada por la variabilidad genética y la interacción de estos genotipos con el ambiente. Existen diferentes factores que favorecen la diversidad genética y la variedad de características entre individuos de una misma especie o de diferentes especies. El objetivo de los genetistas modernos es el mismo que el de los primeros agricultores: producir cultivos. El mejoramiento genético convencional, basado en la aplicación de los principios genéticos clásicos relativos al fenotipo o características físicas del organismo en cuestión, ha logrado introducir en cultivares características procedentes de variedades domesticadas o silvestres afines o de mutantes. En un cruzamiento convencional, en el que cada progenitor hereda a los descendientes la mitad de su estructura genética, se pueden transmitir características no deseadas junto con las deseadas, y puede que esas características no deseadas hayan de ser eliminadas a través de sucesivas generaciones de mejoramiento. En cada generación, los descendientes deben ser sometidos a pruebas para determinar tanto sus rasgos de crecimiento como sus características. Todos estos mecanismos se incluyen en lo que se denominan técnicas tradicionales de mejoramiento vegetal, donde el resultado final es un organismo que nunca existió en la naturaleza. El hombre selecciona las plantas que le ofrecen más ventajas (mejores frutos, mayor crecimiento, mayor resistencia a enfermedades.), y realiza cruzamientos selectivos entre esas variedades para obtener descendencia con mejores rendimientos (Montiel, 2014).

### 1.2.14.1. Mejoramiento genético

De acuerdo con Wall (1994) el éxito en el cultivo de chile de alta calidad aumenta con la selección de variedades apropiadas y el uso de semilla certificada; así mismo se requiere de un buen manejo de cultivo. Por su parte Mendoza (1991), indica que es importante la combinación de genotipos de alto rendimiento con prácticas agrícolas que favorezcan desde el punto de vista económico, social o ambiental la expresión fenotípica de tales genotipos. En *Capsicum* se han encontrado accesiones tolerantes al ataque de *Frankliniella occidentalis*. No obstante, esta tolerancia no está basada en mecanismos de rechazo del vector hacia la planta o de antibiosis por parte de la planta (Fery y Schalk, 1991), por lo tanto, el chile puede resultar interesante para contrarrestar los ataques de trips, y para la lucha contra la propagación del virus del bronceado del tomate (TSWV) transmitidos por ese mismo insecto. De acuerdo a Boiteux *et al.* (1993), han encontrado resistencia en campo del virus TSWV en dos líneas de *Capsicum baccatum* var. *pendulum* y afirman que esta resistencia está basada en un mecanismo de no preferencia del vector por la planta, ya que esta misma línea cuando se inocula artificialmente es muy susceptible al virus por lo que resultaría interesante asociarla con las otras resistencias encontradas. Mediante ingeniería genética se ha conseguido obtener plantas transgénicas de tabaco que codifican elevadas cantidades de la proteína de nucleocápsida (N) del virus TSWV, de modo que cuando estas plantas son infectadas por ciertos aislados del virus se produce un aborto de la infección. El mecanismo por el cual se produce este aborto no es bien conocido, aunque se piensa que puede deberse a que el proceso de transcripción viral queda bloqueado. Debido a que la elevada cantidad de proteína (N) en el citoplasma celular provocaría el paso de la polimerasa viral del modo de actuación transcritiva al replicativo (Pang *et al.*, 1993). No parece fácil incorporar este tipo de resistencia en *Capsicum*; porque es muy difícil regenerar plantas enteras a partir de cultivos celulares (Roselló *et al.*, 1994).

Se ha determinado que a nivel de campo pueden ocurrir cruzamientos naturales que van de 7 a 32% según Leslie y Pollard (1954). Durante la producción de semilla se deben aislar los cultivares por lo menos unos 400 m de distancia entre ellos para

evitar el cruzamiento. La cosecha debe hacerse cuando los frutos están bien maduros para poder extraerles la semilla. El rendimiento de semillas es de aproximadamente 39 a 56 kg ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la especie. Desde el año 2002, en el CICY se desarrolla un programa de mejoramiento genético en chile habanero a partir de la diversidad de la especie en la región, se estableció un banco de germoplasma donde se conservan alrededor de 200 accesiones de la especie. A partir de estos recursos genéticos se han venido seleccionando y evaluando materiales genéticos sobresalientes. Actualmente se cuenta con nueve variedades de chile habanero registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) del SNICS. Estas variedades fueron seleccionadas no solo por ser genuinas portadoras de los atributos que distinguen al chile habanero de la península de Yucatán (sabor, aroma y picor) del cultivado en cualquier otra parte del mundo, sino también por la forma del fruto, su tamaño, por su color, por el peso de fruto, por su productividad y su adaptabilidad a las condiciones del ambiente (Santana *et al.*, 2018).

#### **1.2.14.2. Generación de variedades e híbridos**

El mejoramiento genético del chile juega un papel importante; al conjugar por la vía sexual el patrimonio genómico de dos o más padres. Esto es posible mediante cruzamientos, con el propósito de combinar en la progenie los alelos no comunes en los progenitores, ampliar la variabilidad y mejorar la posibilidad de seleccionar plantas sobresalientes durante el proceso de endocria y selección (Pozo y Ramírez, 1994). El mejoramiento genético de chile consiste, tradicionalmente, en hacer cruza entre líneas élite o variedades comerciales, siguiendo el esquema de hibridación endocrina y selección (Pozo y Ramírez, 1994), conocido como selección genealógica o métodos de pedigrí (Márquez, 1991). El chile es una especie autógama, monoica, de flores completas y perfectas cuya estructura floral facilita el trabajo básico de emasculación y polinización en un programa de mejoramiento genético. Sin embargo, es común una baja eficiencia en el proceso de cruzamiento, debido a la corta vida del polen, vulnerabilidad del estigma y estilo al manejo durante la polinización entre otros factores (Nuez *et al.*, 1996). El porcentaje de obtención de los frutos varía según la técnica utilizada. Ramiro (1986) obtuvo de 32 a 54.6% de frutos con emasculación y

sin polinización artificial de 10.5 a 15%; y con emasculación y polinización artificial obtuvo de 23 a 55.6% de frutos. El polen germina tres horas después de la polinización, y requiere de 8 a 10 horas para alcanzar el saco embrionario. Se puede preservar de 8 a 10 días a temperaturas de 20 a 22°C y HR de 50 a 55%, aunque su calidad baja cuando se almacena por más de 8 días. Los mejores resultados para la polinización se obtienen cuando el polen se colecta el mismo día que abre la flor y cuando la polinización se realiza antes de la antésis (Veliz y Montás, 1981; Nuez *et al.*, 1996).

Cada variedad generada dentro de los programas de mejoramiento genético tiene un propósito agronómico y económico, es imposible poder pensar en obtener una variedad de chile habanero que tenga todas las características deseadas por los diferentes consumidores; debido a que el uso que se plantea para cada variedad es específico, ya sea como alimento o materia prima para la industria farmacéutica o química. En definitiva, la búsqueda de la variedad ideal es la principal tarea que tienen los mejoradores en cada una de las instituciones de investigación.



Figura 3. Escala de picor, en unidades Scoville, de diferentes tipos de chile (SIAP, 2016).

La obtención de variedades es realizada por instituciones públicas y empresas privadas, entre las instituciones públicas, podemos destacar al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) como las que han impulsado programas de mejoramiento genético en el chile habanero, con la intención de proporcionar variedades que resistan enfermedades, principalmente causadas por hongos o virus y con características que sean de interés para las distintas industrias. El mejoramiento de chile habanero, ya sea por selección o cruzamiento, permite que se conserven las características de los materiales criollos o endémicos, pero incorporando características de interés agronómico o económico, como puede ser la tolerancia a enfermedades o al estrés, así como el contenido de capsaicinoides, oleorresinas, entre otros compuestos. Contar con un gran acervo de material genético es el primer paso para obtener las variedades que exigen los productores y el mercado. Investigadores de INIFAP han logrado obtener variedades aceptadas en el mercado como “Jaguar”, “Mayapán” y “Calakmul”. Desde hace aproximadamente 20 años, el CICY ha trabajado para establecer un banco de germoplasma de esta especie, único en México. La generación de nuevas variedades es una labor compleja, por ello el banco de germoplasma es fundamental para conservar el material genético de chile habanero y generar nuevas variedades e híbridos F1. El CICY ha obtenido variedades de chile habanero, las cuales conservan los atributos del chile habanero de la península de Yucatán y llenan las expectativas del mercado. Los resultados logrados en la investigación del CICY dieron el soporte para obtener la denominación de origen del “Chile habanero de la Península de Yucatán”. Algunas empresas privadas dedicadas al sector de semillas hortícolas también han realizado investigación propia que les ha permitido la obtención de variedades e híbridos de chile habanero con propiedades interesantes. El trabajo tanto del sector público como privado en la obtención de nuevos materiales vegetales de chile habanero ha abierto un abanico diverso de variedades para que el cultivo se intensifique en los principales estados

productores y se pueda establecer en otros, sin disminuir la calidad y características requeridas por el mercado actual (INTAGRI, 2019).

Las características de las variedades de chile habanero desarrolladas por el CICY, están pensadas para distintos usos comerciales, de acuerdo con sus características, pueden usarse para consumo en fresco, en la industria alimentaria y farmacológica, para la elaboración de cosméticos, e incluso para la industria militar.



Figura 4. Variedades (a) y características (b) de chile habanero registradas en México por el CICY (2016).

### 1.2.14.3. Obtención de la variedad Jaguar

A finales de 1995, el INIFAP emprendió una de las acciones de mayor relevancia al recuperar la semilla de los diferentes materiales de chile habanero, mediante programas de colectas y conservación de germoplasma en la península de Yucatán (Ramírez *et al.*, 2014). En la agricultura regional, los cultivos o sistemas productos prioritarios se determinan considerando su desarrollo y potencial, sustentabilidad de la economía en la región, su importancia social y alimentaria, ya sea por su consumo o aporte nutrimental. En la península de Yucatán, el habanero no es un ingrediente más de la comida, es un símbolo de identidad regional, en donde cualquier comida debe ser acompañada por este condimento. Lo cual ha generado que cuando se habla de la península de Yucatán se ubica al chile habanero, uno de los chiles más picantes de México, y del mundo. Considerando su importancia en la región, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP, mediante sus

campos experimentales Mococho y Uxmal, han considerado como estratégicos los trabajos experimentales en los diferentes componentes del cultivo, realizando investigación aplicada para incrementar su rendimiento y resolver la problemática detectada con el productor regional y que pudieran evitar la obtención de los mejores resultados. Así pues, desde entonces se ha contribuido con el desarrollo del paquete tecnológico, con énfasis en lograr un cultivo productivo, competitivo y sustentable en beneficio de la sociedad en general. El INIFAP inició su programa de mejoramiento de chile habanero a finales de 1998, habiendo registrado a la fecha, tres variedades nuevas de chile habanero ante el SNICS. La variedad Jaguar, desarrollada en Tamaulipas, y adaptada para las condiciones de este estado, el Golfo de México, incluso la península de Yucatán; la variedad Mayapán, material que presenta buen comportamiento para las condiciones de la península, tiene fruto demandado por los productores y consumidores, considerándose el típico fruto de habanero, es de color verde brillante antes de maduración sazón y naranja al madurar, con buenas características para mercado en fresco e industria, y la variedad Calakmul, de fruto verde antes de madurar y rojo al madurar, buenas características para consumo en fresco y posible uso industrial. Actualmente se cuenta con el banco de germoplasma y con materiales avanzados para generar otras variedades o híbridos con mayor tolerancia a enfermedades u otras características que pueden favorecer al productor. Ramírez *et al.* (2012) describen el proceso de cómo se generó la variedad Jaguar, la cual fue liberada en ese mismo año por parte del INIFAP, el desarrollo de las variedades inició mediante la colección de chile habanero del banco de germoplasma de chile del Campo Experimental Las Huastecas, el cual contiene materiales originarios de las zonas productoras de Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Veracruz, colectados en la década de 1980 y 1990. En una primera fase se evaluó la colección y en base a su adaptación se inició el proceso de selección. El método genotécnico utilizado para la obtención de la variedad fue el de Pedigrí (Brim, 1966; Márquez, 1988; Ramírez *et al.*, 2009), tomando como base de selección las características de planta y fruto, ciclo de producción y tolerancia a factores bióticos (mancha bacteriana, pudriciones de la raíz, enfermedades virales y minador de la hoja)

y ambiente extremo. El material seleccionado paso a ensayos de rendimiento y calidad en las zonas productoras de Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, hasta su validación comercial. En la etapa final del desarrollo de la variedad, se realizaron estudios de las características de calidad de fruto y vida de anaquel. Después de ocho ciclos de selección, sobresalieron las líneas avanzadas HQR-5, HVr-3, HYc-11, HSE 1-1 y HUX-19; de éstas, después del proceso de validación comercial destacó la línea HQR-5, la cual se decidió liberar como nueva variedad, misma que obtuvo su registro definitivo en 2009 en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) y en 2011 se obtuvo el título de obtentor. En el Cuadro 4 se presenta el esquema del proceso del proceso de formación de la variedad Jaguar, desde el inicio de la selección en 1999 hasta el 2011 cuando se obtuvo el título de obtentor. La variedad Jaguar presenta plantas que crecen a una altura de 80 a 90 cm en campo abierto y hasta 1.80 metros en sistemas de agricultura protegida (macro túneles e invernadero) con tutoreo, Jaguar tiene buena cobertura de follaje, la ramificación es de tipo basal escalonada, con cinco a siete ramas primarias, buena capacidad para producir frutos. Inicia su floración entre los 70 y 85 días después de la siembra y su cosecha a los 115 a 120 días, presenta floración continua, el periodo de cosecha puede durar de tres a siete meses. La variedad jaguar tiene flores de color blanco verdoso, con estigma inserto o abajo del nivel de las anteras, por lo que presenta un bajo nivel de cruzamiento. La variedad presenta buen rendimiento, alcanza hasta 15 t ha<sup>-1</sup> en las regiones productoras con buen temporal (Ramírez *et al.*, 2012). La selección masal, de acuerdo con Márquez (1992), consiste en la selección visual de plantas individuales por sus características deseables, y las semillas que se cosechan de las plantas seleccionadas se mezclan para hacer crecer la siguiente generación, sin ninguna forma de evaluación de la progenie. La selección masal es un proceso continuo en favor de un carácter específico que posee una alta heredabilidad y puede evaluarse visiblemente; entre ellos la floración temprana o precoz, altura de planta y mazorca (Poehlman y Allen, 2003). La selección masal estratificada es el método de mejoramiento genético propuesto por Gardner en 1961, que consiste en llevar a cabo la selección individual de plantas dentro de pequeños sublotes de un lote

general para minimizar la interacción genotipo-ambiente, consiste en dos aspectos o niveles básicos en la selección que tienden a la eliminación de la influencia de la heterogeneidad del suelo en el lote de selección, nivel del lote y de plantas. Esta selección surge por la necesidad de disminuir los efectos de la ineficiencia de la selección masal (Márquez, 1992).

Cuadro 4. Esquema que representa el proceso de formación de la variedad Jaguar por parte del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

<i>Año</i>	<i>Gen.</i>	<i>Actividades Realizadas</i>	<i>Método</i>
1999	P <sub>1</sub>	Establecimiento de poblaciones con amplia base genética provenientes del Banco de Germoplasma del CEHUAS; selección masal (SM) de plantas superiores y conformación de un compuesto balanceado (CB), 5 frutos por planta seleccionada.	SM y CB
2000	F <sub>1</sub>	Establecimiento de poblaciones superiores, selección masal estratificada (SME)	SME
2001	F <sub>2</sub>	Selección por pedigrí (SP), selección entre y dentro de familias (presión de selección del 20%), selección de plantas sobresalientes por características de producción y calidad en las poblaciones de amplia base genética.	SP
2002 a 2004	F <sub>3</sub> - F <sub>5</sub>	Selección entre y dentro de familias, selección de plantas sobresalientes por características de producción y calidad, pruebas preliminares de rendimiento (PPR) y ensayos de rendimiento (ER).	SP, PPR y ER's

2005	F <sub>6</sub> -	Continúa el proceso de selección entre y	SP, ER's y PAVAL
a	F <sub>7</sub>	dentro de familias y se establecen ensayos	
2006		de evaluación considerando características de producción y respuesta a factores adversos. Parcelas de validación (PAVAL). Estudios de calidad de fruto y vida de anaquel.	
2007	F <sub>8</sub>	Etapa final de evaluación, formación y validación comercial de la variedad.	ER's y PAVAL
2008		Parcelas demostrativas (PADEM) y caracterización.	PADEM y Caracterización.
2009		Registro de la variedad en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV).	Registro CNVV y SNICS.
2010		Producción de semilla en diferentes categorías.	Seguimiento a producción de semilla en coordinación con el SNICS.
2011		Producción de semilla comercial, obtención del título de Obtentor, con vigencia al 9 de junio del 2026	Título de obtentor.

Fuente: Ramírez *et al.* (2012)

### 1.2.15. Sistemas de producción de chile habanero

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es un cultivo tropical, pero tiene la capacidad de adaptarse a diferentes áreas geográficas del país, en Baja California, un estado en donde más del 70% de su actividad económica se basa en la agricultura, cuenta con tres regiones agrícolas importantes, el valle de Mexicali, la zona costa de Ensenada y valle de San Quintín, regiones en las cuales se establece agricultura bajo diferentes ambientes, campo abierto, malla sombra e invernadero, dependiendo del cultivo.

Mendoza *et al.* (2018) realizaron una investigación sobre la adaptabilidad de chile habanero en Baja California y encontraron que en las tres regiones agrícolas se recomienda establecer el cultivo bajo diferentes ambientes, para el valle de San Quintín, debido al tipo de clima mediterráneo que predomina en la región, donde se presentan varios microclimas, el cultivo de chile habanero se adapta bajo condiciones de invernadero y el ciclo de producción es de enero a noviembre. Para la región de zona costa de Ensenada, la cual comprende las regiones de (San Vicente, Santo Tomás, San Jacinto y Maneadero) el cultivo de chile habanero se siembra en campo abierto, con alrededor de 12 hectáreas sembradas por año y el ciclo de producción es de noviembre a septiembre (Agencia Informativa Conacyt, 2018). Para el caso del valle de Mexicali, se establecen anualmente alrededor de 4 hectáreas bajo malla sombra y el ciclo de producción es de noviembre a agosto.

De acuerdo con la FAO (2019), los sistemas de producción se definen como conjuntos de explotaciones agrícolas individuales o colectivas con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas. La clasificación de los sistemas de producción agrícola de las regiones en desarrollo se ha fundado en los siguientes criterios: 1. Recursos naturales básicos disponibles, comprendidos el agua, las tierras, las zonas de pastoreo y de bosques; el clima, el paisaje, comprendida la pendiente; la dimensión de la finca, el régimen y la organización de la tenencia de la tierra. 2. La pauta dominante de las actividades agrícolas y de los medios de sustento de las familias, comprendidos los cultivos, el ganado, los árboles, la acuicultura, la cacería y la recolección, la elaboración y las actividades externas a la finca agrícola; y también las principales tecnologías empleadas, que determinan la intensidad de la producción y la integración de los cultivos, el ganado y otras actividades.

Medellín *et al.* (2009) realizaron una investigación en el estado de Baja California, con la finalidad de encontrar un modelo calibrado de demanda de agua para uso agrícola en tres regiones en el norte de Baja California, ellos mencionan que la agricultura de riego es la actividad que más agua usa en muchas regiones, y la

eficiencia y consumo del uso agrícola del agua ha sido estudiada por varios autores. Este estudio provee un marco conceptual y la aplicación de la valoración económica del agua para uso agrícola en tres regiones del norte de Baja California, México, a saber, los valles de Guadalupe, Maneadero y Mexicali. El marco de referencia usado para esta estimación fue la programación matemática positiva (PMP), una técnica de valoración deductiva usando datos del suministro de agua reportados por la Comisión Nacional del Agua en Mexicali, costos de producción y área cultivada, uso de factores de producción de la Secretaría de Agricultura (SAGARPA), y otros datos de estudios anteriores. El análisis de los resultados muestra que el valor económico marginal del agua en Mexicali es al menos 2.6 veces el precio del agua que pagan los agricultores. Los valles de Guadalupe y Maneadero, que tienen un mayor valor de producción agrícola, tienen valores económicos marginales del agua mayor que Mexicali. Pequeños déficits de agua aumentan este valor económico para los agricultores. El precio del agua estimado para irrigación de cada resultado es inelástico para todas las regiones y dentro del rango de la mayoría de los estudios previos. Se recomiendan las políticas dirigidas a reducir el consumo de agua al disminuir los subsidios actuales para la extracción.

#### **1.2.15.1. Zonas agrícolas de Baja California**

Baja California tiene una superficie de 7, 011,300 ha, de las cuales solamente el 4.1% se dedica a la agricultura, cuenta con tres zonas agrícolas, la primera identificada como el valle de Mexicali, la segunda corresponde a la costa del Pacífico donde están contenidos los valles de San Quintín, San Vicente y Maneadero; y hay una tercera llamada zona central, que comprende al valle de la Trinidad, Ojos Negros y valle de Guadalupe, Sin embargo las instituciones oficiales las clasifican como una sola zona a la cual denominan zona costa de Ensenada. Los valles que tienen mayor relevancia como productores agrícolas son el valle de Mexicali y el valle de San Quintín, sin embargo, en los últimos años, van creciendo los valles de Maneadero, San Vicente y Ojos Negros.

### 1.2.15.2. Producción en campo abierto

La producción de chile habanero en las regiones productoras que abarca la península de Yucatán, la mayor producción se establece en campo abierto mediante agricultura de temporal y su producción es durante todo el año, en ocasiones los pequeños productores optan por una producción bianual, en la que obtienen rendimientos entre 11 t ha<sup>-1</sup> utilizando variedades nativas de la región (SIAP, 2013).

Borges *et al.* (2014) realizaron una investigación sobre el uso de los suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán, en la cual reportan que las características del chile habanero son sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel debido a las condiciones de clima, suelo y ubicación de la región. Las características de los suelos del estado de Yucatán no se conocen bien y es un factor que confiere distintivos al chile habanero, por lo cual el objetivo del presente estudio fue analizar física y químicamente estos suelos. Veintiocho pruebas de laboratorio fueron realizadas en muestras de 24 suelos y los datos fueron analizados por estadística descriptiva (tendencia central y dispersión). Los suelos del estado de Yucatán donde se cultiva chile habanero tienen una alta heterogeneidad como lo muestran los valores altos de desviación estándar y coeficiente de variación de las características físicas y químicas evaluadas. Estos suelos son de textura franco limosa, densidad aparente baja, porosidad alta que facilita la aireación y el drenaje, pH de neutro a medianamente alcalino, muy ligeramente salino, con contenido alto de MO, elevada CIC, concentraciones altas de N, P, K y Ca, contenidos de medio a alto de Mg, niveles adecuados de Cu y Mn, pero deficientes en Fe y Zn, alrededor del 80% de la producción de chile habanero que se cultiva en la península de Yucatán es sembrado a cielo abierto.

El cultivo de chile habanero, bajo condiciones de campo, no se lleva a cabo en forma comercial en las regiones áridas del norte de México. Esto debido a que la alta temperatura e incidencia solar presentes hacen que la planta tenga un desarrollo raquíptico y una baja producción lo cual lo hace incosteable. Sin embargo, el chile habanero es un cultivo atractivo ya que su precio en el mercado nacional supera a la de cualquier otro tipo de chile. En Baja California, por ejemplo, se vende entre \$200 y

230 por kilo de fruto fresco; además el chile habanero es un producto que tiene demanda a nivel nacional e internacional por sus múltiples usos (Robledo y Martín, 1988; Jensen y Malter, 1995).

Arroyo *et al.* (2018) realizaron una investigación sobre la evaluación de genotipos de chile habanero en campo abierto en la zona de San Vicente, Ensenada, Baja California, ellos encontraron que bajo condiciones de cielo abierto, las fechas de siembra y trasplante de chile habanero son en enero y abril, respectivamente; para iniciar la cosecha en julio y finalizarla en septiembre, al evaluar los datos de rendimiento en los diez genotipos evaluados, se obtuvo un promedio de rendimiento de 1.5 kg por planta y una media de 33 t ha<sup>-1</sup> en campo abierto, los materiales se comportaron de manera uniforme y estadísticamente no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

### **1.2.15.3. Producción en casa sombra**

De acuerdo con SENASICA (2016), la agricultura protegida es aquella que se realiza bajo condiciones en las que el agricultor puede controlar algunos factores del medio ambiente, con lo cual, minimiza el impacto que los cambios de clima ocasionan a los cultivos, las estructuras más utilizadas de la agricultura protegida son los invernaderos, malla sombra, túneles altos y bajos. Estas instalaciones pueden ser muy diversas, ya que deben considerar la mayor o menor capacidad de control ambiental.

- Microtúnel: se trata de una hilera de arcos entre los cuales se tiende una malla que protegerá los cultivos.
- Macrotúnel: son túneles altos, generalmente contruidos con arcos de bambú, tubos de PVC o hierro galvanizado y cubiertos con una o más capas de plástico de tipo invernadero.
- Malla sombra: mallas anti insectos, mallas anti pájaros, entre otras protecciones, con el objetivo de disminuir la incidencia de los rayos solares y moderar la temperatura en noches frías.
- Invernaderos: son estructuras herméticamente cerradas con materiales transparentes, con suficiente capacidad de altura y ancho para permitir cultivo de especies de altura diversa, incluso árboles frutales, bajo este sistema

especializado los productores logran productos de excelente calidad, en cualquier época del año, sin daños por factores climáticos y mucho menos por plagas y enfermedades.

En las diferentes regiones agrícolas de México, fuera de la zona de producción de chile habanero, se han buscado diferentes alternativas para la producción de chile habanero, en los estados de Sonora, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur, se ha optado por utilizar la agricultura protegida para este cultivo. En 2014, en el sur de Sinaloa, la fundación Produce dio a conocer la tecnología de producción de chile habanero en casa sombra. Santoyo y Martínez (2014) realizaron un trabajo de validación sobre la tecnología de producción de chile habanero en casa sombra en el sur de Sinaloa, validaron la variedad Jaguar, los híbridos Chichén Itzá y Kukulcán, en esta validación se determinó el ciclo de cultivo en 128 días, contando desde el momento del trasplante hasta la primera cosecha, el rendimiento obtenido fue de 18.7 t ha<sup>-1</sup> de la variedad Kukulcán, 17 t ha<sup>-1</sup> de la variedad Chichén Itzá, y 16.3 t ha<sup>-1</sup> de la variedad Jaguar, las plagas de importancia económica que se presentaron dentro de la casa sombra fueron: gusano peludo (*Estigmene acrea*), ácaro blanco (*Steneotarsonemus latus*) y araña roja (*Tetranychus urticae*). La más recurrente fue araña roja, la cual se presentó en dos ocasiones, obligando a realizar aplicaciones para su control; sin embargo, no se observaron daños económicos dentro de la casa sombra, el control de este tipo de plaga debe realizarse con productos específicos (Confidor y Agrimec 1.8 C.E.), para evitar causar daño a la fauna benéfica.

Torres *et al.* (2017) realizaron una investigación en el valle de Mexicali, mediante la utilización del acolchado plástico y aplicación de hierro foliar en chile habanero cultivado en malla sombra infectado con virus, ellos mencionan que la infección del cultivo chile habanero por efecto de los virus es uno de los principales limitantes en su sistema de producción, el objetivo fue evaluar la reducción de sintomatología visual viral (clorosis) el crecimiento y el rendimiento, por la aplicación de hierro foliar y acolchado plástico en chile habanero establecido en malla sombra, se utilizaron dos concentraciones de hierro foliar, dos variedades una infectada y otra no infectada con virus, y cuatro colores de acolchado plástico. Los resultados mostraron que el

acolchado plástico modificó significativamente el índice SPAD (soil plant analysis development) al inicio y al final del estudio, la aplicación de hierro foliar afectó negativamente la concentración de nitratos, el crecimiento resultó modificado por el acolchado plástico y por la variedad de chile habanero utilizada, el efecto de la variedad con virus no condicionó el rendimiento del cultivo. Se concluyó que utilizar acolchado plástico plateado en malla sombra incrementa el rendimiento en el cultivo de chile habanero debido al aumento en número frutos.

Mendoza *et al.* (2018) realizaron una investigación sobre la evaluación del rendimiento en la primera cosecha de siete genotipos de chile habanero en malla sombra en el valle de Mexicali, para el análisis de los resultados en la primera cosecha, se tomaron cinco plantas por cada tratamiento y bloque, al analizar los resultados, los genotipos que obtuvieron mayor rendimiento por planta fueron el T6 y T7, correspondientes a una línea experimental de habanero rojo, la cual presenta características de precocidad y alto amarre de fruto, dando un promedio de 400 g por planta durante el primer corte, superando al testigo comercial, quien presentó una media de 97 g por planta. El cultivo de chile habanero se adapta a las condiciones agroclimáticas del estado de Baja California, el rendimiento para el primer corte, los seis genotipos experimentales superan al testigo comercial y estadísticamente hay diferencias significativas, por lo que se considera que su producción es viable para establecerse bajo condiciones de casa sombra en el valle de Mexicali.

#### **1.2.15.4. Producción en invernadero**

Los invernaderos se consideran elementales en la agricultura intensiva por varias razones, en primer lugar debido a que es posible establecer las condiciones para el buen desarrollo de las plantas, porque existe cierto aislamiento con el exterior, se pueden colocar más plantas por unidad de superficie que en campo abierto; y el último aspecto, también de relevancia, es la posibilidad de utilizar instalaciones de control climático, que mejoran las condiciones del cultivo hasta un punto óptimo, se ha comprobado tras mucho tiempo de estudio que los rendimientos por unidad de superficie de un cultivo se ven aumentados de dos a tres veces bajo invernadero pero en suelo, comparados con campo abierto, y si se utiliza hidroponía los rendimientos

pueden ser 10 veces superior si se invierte el cuidado necesario. Si el cambio climático es natural o inducido por el hombre, es necesario reconocer que afecta a todo por igual, incluyendo la producción de cultivos; y es que al estar los cultivos protegidos por estructuras como lo son los invernaderos minimiza el daño que estos puedan sufrir debido a la aleatoriedad de los fenómenos naturales, que en campo abierto pueden llegar a representar pérdidas totales. Con técnicas como la fertirrigación y la hidroponía es posible brindarles a las plantas solo los elementos que necesitan durante cada etapa de su desarrollo, por lo que solo se gastan los fertilizantes necesarios minimizando el desperdicio, que al final significa pérdida de dinero. Lo mismo ocurre con el agua, ya que las instalaciones modernas de los sistemas de riego permiten su uso más eficiente, en este sentido se hace referencia al riego localizado o de precisión (por goteo y micro aspersión). Para que un invernadero facilite el control de plagas, enfermedades y malezas debe haber sido correctamente diseñado y construido, la hermeticidad de este es la clave de un control exitoso, el cultivo en invernaderos facilita la programación de las aplicaciones, siendo que es factible controlar quien tiene acceso al cultivo. Debido a que dentro del invernadero se tiene relativa independencia del medio exterior es posible tener producción en cualquier época del año, sin importar si el invierno es muy frío o el verano propicia altas temperaturas, pues para el primer caso se puede implementar calefacción y para el segundo ventilación y enfriamiento, de esta manera al utilizar invernaderos es factible producir sin interrupciones debido a las condiciones climáticas, además de poder producir todo el año también se tiene la ventaja de obtener productos fuera de temporada, con lo que es posible encontrar mejores mercados de comercialización por la falta de competencia y porque los mercados no se encuentran saturados como ocurre en la temporada de mayor producción. Dentro de un invernadero las plantas no están expuestas al desgaste físico producido por elementos ambientales como lluvias y vientos fuertes, granizadas o alta radiación solar, por lo cual la calidad de los productos obtenidos es mayor. Esto permite obtener mayores ganancias al momento de vender los productos, o encontrar mejores mercados pudiendo llegar a exportar si se obtiene una alta calidad. Los invernaderos, principalmente aquellos que cuentan con control automático de variables

ambientales, permiten estudiar el comportamiento de los elementos de la producción sin que estos se vean sometidos a la influencia distorsionante de los factores climáticos. Así es posible estudiar el potencial productivo, de acuerdo con la información genética, de las especies cultivadas y determinar los factores óptimos para su desarrollo. Este aspecto cobra relevancia en las escuelas de agronomía e institutos dedicados a llevar a cabo investigaciones sobre el desarrollo y comportamiento de las plantas y cultivos agrícolas.

Quintal *et al.* (2012) realizaron una investigación en el cultivo de chile habanero, ellos evaluaron el uso del agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero bajo condiciones de invernadero, dentro de los resultados obtenidos, reportan que la baja disponibilidad de agua en el suelo provoca el estrés abiótico de mayor incidencia en el crecimiento vegetal que en los sistemas agrícolas representa en pérdidas económicas, es importante estimar los requerimientos hídricos de los cultivos para mejorar su potencial productivo y el uso del agua. En ese estudio se evaluó el efecto de cinco niveles de humedad aprovechable (HA: 60, 50, 40, 30 y 20%) aplicada tres veces por semana en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecido en condiciones protegidas. Se analizó el potencial hídrico de la hoja, crecimiento, producción y distribución de biomasa, rendimiento y tamaño del fruto, índice de cosecha e índice de productividad del agua. Se encontró que al regar con una lámina de 60% de la HA se obtuvo la mejor condición hídrica de la planta, 55% más de área foliar, 44% más de biomasa total y 84% más de rendimiento de fruto, comparadas con 20% de HA. Con 60% de HA se logró una producción de 5.6 g de biomasa seca por cada litro de agua aplicado.

Vázquez y Navarro (2018) realizaron una investigación sobre chile habanero en las costas de Nayarit, mediante el uso de alternativas orgánicas en el sistema de producción *Capsicum chinense* Jacq., bajo condiciones de invernadero, ellos mencionan que el chile habanero ha superado su área tradicional de cultivo y se ha expandido a otras áreas, conquistando los mercados del resto del país y del mundo. En su estudio, evaluaron tres dosis de estiércol solarizado (40, 60 y 80 t ha<sup>-1</sup>) y un control absoluto, los cuales fueron evaluados para la producción de chile habanero, los

resultados indicaron una diferencia significativa entre tratamientos para la altura de la planta a los 30 y 90 días después del trasplante. Sin embargo, para las variables de número y peso del fruto (kg por unidad experimental, kg m<sup>2</sup> y kg por planta), los resultados indicaron que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, los tratamientos no mostraron un efecto significativo sobre el diámetro ecuatorial del fruto.

Arroyo *et al.* (2018) realizaron una evaluación de rendimiento de genotipos de chile habanero bajo condiciones de invernadero, ellos encontraron que, bajo condiciones protegidas, la planta puede dar hasta 15 cortes durante todo el ciclo de producción, reportan un rendimiento por planta de 4.5 kg, con un rendimiento promedio de 74 toneladas por hectárea.

## **CAPITULO 2. ANÁLISIS DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS DE DIFERENTES GENOTIPOS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) TRATADAS CON ÁCIDO GIBERÉLICO**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

Uno de los principales retos en la producción de chile habanero es contar con una buena germinación de la semilla para obtener plántulas sanas, vigorosas y de buena calidad al momento del trasplante (Preciado *et al.*, 2002). La aplicación de hormonas juega un papel importante en la germinación, crecimiento y desarrollo de la parte aérea y radical de las plántulas (Wang *et al.*, 2009); en las plantas existen cinco tipos de hormonas de crecimiento: auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno, dentro de las cuales las giberelinas (ácido giberélico) acelera la germinación de las semillas ayudando a romper la dormancia de estas. Las semillas de habanero disminuyen su germinación después periodos de almacenamiento superiores a 100 días, los tratamientos de acondicionamiento revigorizan, aceleran y generan uniformidad en la germinación de las semillas. Hernández *et al.* (2014) realizaron un estudio sobre el acondicionamiento pre-siembra para incrementar la germinación en chile habanero utilizando diferentes tratamientos y entre ellos el ácido giberélico y determinaron que éste aumenta la germinación y emergencia de las semillas. En 2013, se realizó la siembra de un híbrido de habanero, previo a la siembra fue tratado con ácido giberélico y su germinación fue de 99% (Castillo, 2014). Posteriormente en 2014 se realizó la siembra del mismo híbrido y su población F<sub>2</sub>, la semilla no se trató con reguladores de crecimiento y el porcentaje de germinación de fue de 43%. En 2015 se realizó la siembra de los mismos materiales y la semilla se trató con ácido giberélico y se llevó al área de producción de plántula para su desarrollo y se obtuvo una germinación de 97%. *Capsicum chinense* es un cultivo hortícola importante en la dieta de la población de muchas partes del mundo; en México es sembrado en diferentes estados, principalmente Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, donde se obtienen producciones que oscilan entre 10 y 30 t ha<sup>-1</sup>, de acuerdo con el nivel de tecnificación empleada en el proceso de cultivo. Baja California es una zona de

importancia agrícola, más del 70% de sus actividades son relacionadas con la agricultura, en la zona costa de Ensenada, desde el 2013 se han establecido siembras de chile habanero de alrededor de 13 ha (SIAP, 2014 y SEFOA-BC, 2014). En la región de San Quintín, en los años de las décadas de 1970 y 1980, se producían grandes extensiones de cultivos de chile a campo abierto, posteriormente se fue sustituyendo por otras hortalizas y frutillas, actualmente las siembras de chiles son muy escasas. Mendoza *et al.* (2016) realizaron un análisis sobre el potencial productivo de un híbrido de chile habanero, sembrado bajo invernadero y reportaron resultados de 78 t ha<sup>-1</sup>. Actualmente el cultivo no se siembra en grandes extensiones en Baja California, toda vez que se desconocen los genotipos que se adaptan a las condiciones de la zona en cuestión, ya sea en condiciones de invernadero, casa sombra y campo abierto, con buen crecimiento, desarrollo y rendimiento en comparación a lo que expresan en las regiones productoras de México. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del ácido giberélico como promotor de germinación en semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).

## 2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en San Quintín, Baja California, en la empresa agrícola Baja Plants, la semilla fue tratada con ácido giberélico durante los años 2013, 2014, 2015, 2017 y 2018, la siembra del material genético se realizó en charolas de poliestireno de 130 cavidades en el campo experimental (invernadero) de la Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios, ubicada en el Valle de San Quintín a 180 km al sur de la ciudad de Ensenada, Baja California, con ubicación geográfica de 30° 33' 37" latitud norte y 115° 56' 33" longitud oeste, con altitud de 28 msnm y temperatura media anual de 18 °C, posteriormente las charolas fueron trasladadas a Baja Plants, empresa dedicada a la producción comercial de plántulas, para darles las condiciones óptimas para una buena germinación y nacencia de las semillas. En 2013 se sembró un híbrido comercial tratando la semilla con ácido giberélico previo a la siembra, se obtuvo una germinación de 97%, mientras que en 2014 la semilla utilizada fue el mismo híbrido comercial y su población F2, no se aplicó

el ácido giberélico y las semillas presentaron un 47% de germinación, posteriormente en 2017 y 2018 se sembraron genotipos de chile habanero, dos variedades comerciales (Jaguar Yucatán y Jaguar INIFAP) y ocho materiales experimentales HRA 7-1, HNY 201, HAN 1-30, HRA 1-1, HAN 25, HAN 1-40, HQR 15-3 y HUX 15-1; las dos variedades son del estado de Yucatán y las ocho líneas experimentales provienen del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Ramírez y Vázquez, 2007). El modelo estadístico empleado fue en base a la metodología de Steel y Torrie (1980), para el cual se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro, ocho y diez tratamientos respectivamente con cuatro repeticiones cada uno. La siembra para los diferentes ciclos de evaluación se realizó durante los meses de enero y febrero, se utilizaron charolas de poliestireno con 130 cavidades. Previo a la siembra se realizó el tratamiento con ácido giberélico, se utilizó una concentración al 40%, mezclando 10 gramos en un litro de agua y se sumergió la semilla por 24 horas, posterior a la siembra, a las charolas con la semilla se le dieron las condiciones óptimas de temperatura y humedad requeridas para la germinación y nacencia de chiles. Se registró la nacencia de plántulas, con base en la cual se determinó la germinación de semillas por cada genotipo. La semilla de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) posee una latencia muy marcada, ya que para romperla se tienen que realizar tratamientos específicos para poder lograr una nacencia uniforme en los lotes de semillas. Los resultados de las variables evaluadas fueron sometidos al análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), en el paquete estadístico R.

### **2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La nacencia de los diferentes genotipos inició a los 13 días después de la siembra (dds), los avances fueron graduales en cada uno de los materiales, y el evento terminó a los 23 dds sin diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (genotipos). De los genotipos sembrados se obtuvo un promedio general de 98.4% de nacencia, pero la variedad comercial Jaguar Yucatán presentó 100% de germinación y nacencia. De acuerdo con Catalá *et al.* (2008), existen diferentes factores, tanto

bióticos como abióticos, que pueden afectar la germinación de semillas y la nacencia de plántulas, ya que ellos encontraron que el exceso de humedad afecta de manera considerable la germinación, así como también propicia la incidencia de hongos en la semilla.

En el Cuadro 5 se muestra el porcentaje de germinación del híbrido *Spartacus* y su población F2, establecidos bajo condiciones protegidas durante los ciclos 2013, 2014 y 2015. En 2013 y 2015, las semillas fueron tratadas con ácido giberélico a una concentración de 40% y se obtuvo un promedio germinación de 97.68%. Mientras que, en 2014 no se realizó el tratamiento a la semilla y el porcentaje de germinación fue inferior al 50%. En el análisis de varianza se muestra una diferencia altamente significativa entre los tres años de evaluación y el ácido giberélico muestra un efecto positivo en la germinación de la semilla, de acuerdo con la prueba de medias, existen tres grupos heterogéneos. Los porcentajes de nacencia que no necesariamente implican los porcentajes de germinación, porque ésta puede ocurrir sin que haya nacencia de plántulas; es decir, puede darse el final de la germinación con la salida de la radícula sobre la testa de la semilla, pero la emergencia de plántulas se inhibe por la acción de factores bióticos (hongos, bacterias y plagas) o abióticos (altas o bajas temperaturas, sequía o exceso de humedad, etc.), como lo refiere Catalá *et al.* (2008), de tal forma que los porcentajes de nacencia indican que todos los genotipos en estudio responden de manera satisfactoria a la altura sobre el nivel del mar y ubicación geográfica del valle de San Quintín, Baja California, lo que a su vez es un buen principio para la siembra del chile habanero en el estado.

Cuadro 5. Porcentaje de nacencia de plántulas en semillas de un híbrido chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) tratadas con ácido giberélico. Marzo, 2015.

Genotipos	Semillas sembradas	Plántulas nacidas	%
2013_Hibrido (Spartacus)	130	129 a*	99.23 a
2014_Hibrido (Spartacus)*	130	61 bc	46.9 bc
2014_F <sub>2</sub> (Spartacus)*	130	58 c	44.6 c
2015_Hibrido (Spartacus)	130	128 a	98.46 a

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Para los ciclos 2017 y 2018, la nacencia de los diferentes genotipos establecidos bajo condiciones controladas en el área producción de plántula inició a los 13 y 19 dds. En 2017, de los diez genotipos sembrados, se obtuvo un promedio de 98.33%, siendo la variedad Jaguar la que presentó un 100% de nacencia de plántulas. En 2018, los siete genotipos sembrados presentaron un promedio de 97.24% de nacencia, y la variedad Jaguar presentó nuevamente el 100% de plántulas nacidas (Cuadro 6). Estos resultados coinciden con los de García *et al.* (2010), quienes mencionan que el uso de ácido giberélico provoca un efecto benéfico en la calidad fisiológica de la semilla de chile piquín (germinación y vigor de la semilla), ellos realizaron un estudio para determinar la respuesta fisiológica de la semilla chile piquín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) al ácido giberélico e hidrotermia, en esos estudios encontraron que el ácido giberélico estimula la germinación y vigor de plántulas y la hidrotermia aumenta el vigor de la semilla al evaluar las plántulas de chile piquín en invernadero.

Ramírez *et al.* (2003) emplearon 5000 ppm de ácido giberélico en semillas de chile piquín y lograron el 66% de germinación; mientras que, Hernández *et al.* (2006) encontraron mayor efectividad con 250 y 500 ppm de ácido giberélico, con promedios de 46 y 43% de germinación en dos años de estudio con semilla de chile silvestre. Sin embargo, el concepto de "calidad alta" empleado por Berke (2000) implica que la

semilla de chile deberá mostrar una tasa de germinación alta (>70%). Del mismo modo, la comparación técnica de reguladores de crecimiento hecha por Watkins y Cantfliffe (1983); similar a este ensayo, muestra que el estímulo de la división celular por GA4+7, no causó aumento de la tasa de germinación de chile a temperatura baja, sólo protrusión de la radícula; en cambio, AG3 incrementó la actividad de la endomanasa del endospermo (Watkins *et al.*, 1985). Las semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) disminuyen su germinación después de periodos de almacenamiento superiores a los 100 días. Los tratamientos de acondicionamiento revigorizan, aceleran y uniforman la germinación de las semillas del género *Capsicum* (Garraña *et al.*, 2014).

De acuerdo con Catalá *et al.* (2008), existen diferentes factores, tanto bióticos como abióticos, que pueden afectar la germinación de semillas y la nacencia de plántulas, ya que ellos encontraron que el exceso de humedad en semillas de arroz afecta de manera considerable su germinación, así como también propicia la incidencia de hongos en la semilla. De acuerdo con Hacisalihoglu y Ross (2010), quienes determinaron que el acondicionamiento de las semillas hace que su germinación sea uniforme, debido a que aumenta el vigor en la germinación y acelera sus procesos, cuando la semilla se está formando en el fruto, no toda alcanza su maduración total al mismo tiempo, es por ello que mediante el acondicionamiento se puede lograr uniformizar esa capacidad germinativa de la semilla. Existe un amplio rango de intensidades de latencia, que van desde la latencia absoluta, en la cual la germinación no se produce bajo ninguna condición, latencia intermedia, donde las semillas pueden germinar en un rango de condiciones ambientales muy cortas y por último cuando no se presenta latencia, y las semillas pueden germinar en un amplio rango de condiciones ambientales. La intensidad de la latencia se encuentra influenciada por varios factores ambientales como son: temperatura, humedad y el ambiente, y a medida que el grado de latencia disminuye se amplía el rango de condiciones ambientales que permiten la germinación. En el Cuadro 6, se muestran los porcentajes de nacencia de plántulas de chile habanero en cada uno de los genotipos sembrados, en 2017, la prueba de medias muestra dos grupos heterogéneos, el análisis de

varianza presenta diferencias significativas entre los genotipos en estudio, la variedad jaguar y las líneas HAN 1-30, HAN 25, HUX 15-1 presentan homogeneidad de varianzas y son superiores en porcentaje de nacencia a la línea HRA 7-1, la cual presentó un porcentaje de plántulas nacidas ligeramente más bajo. Existe interacción entre las líneas HNY 201, HRA 1-1, HAN 1-40 y HQR 15-3, lo que indica que estadísticamente corresponden a los grupos a y b y su varianza es heterogénea con respecto a los genotipos que presentaron mayor porcentaje de nacencia de plántulas. Estos resultados muestran el efecto del tratamiento pre-siembra a la semilla, ya que la semilla de chile habanero muestra una latencia muy marcada y diferentes autores recomiendan tratamientos previos a la siembra para inducir la nacencia y lograr un mayor porcentaje en la germinación (Ramírez *et al.*, 2003).

Para el ciclo 2018, los siete genotipos en la prueba de medias muestran homogeneidad de varianzas, existe un solo grupo homogéneo (Cuadro 6), lo que explica que no existen diferencias significativas entre los materiales sembrados con respecto a la germinación y nacencia de plántulas. En la Figura 8 se observa el comportamiento promedio de la nacencia de plántulas en los genotipos de chile habanero sembrados durante el ciclo 2018, la variedad comercial Jaguar presentó un 100% de plántulas nacidas, mientras que el resto de las líneas su germinación se mantiene mayor al 97%; considerando la dificultad que presenta la semilla de chile habanero para germinar, en donde se obtienen resultados menores al 75% de germinación cuando la semilla tiene un almacenamiento de más de 100 días (Garruña *et al.*, 2014).

Cuadro 6. Porcentaje de nacencia de plántulas en genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), tratadas con ácido giberélico previo a la siembra, durante los ciclos 2017 y 2018. Baja Plants, San Quintín, Baja California.

Genotipos (2017)	%	Genotipos (2018)	%
Jaguar_INIFAP	100 a*	Jaguar_INIFAP	100 a
HRA 7-1	98.26 ab	HRA 7-1	97.43 a
HNY 201	98.46 ab	HAN 1-30	98.20 a
HAN 1-30	98.65 ab	HRA 1-1	98.20 a
HRA 1-1	97.49 b	HAN 25	98.46 a
HAN 25	97.88 b	HAN 1-40	98.46 a
HAN 1-40	98.27 ab	HQR 15-3	97.69 a
HQR 15-3	98.46 ab		
HUX 15-1	98.46 ab		
<i>Jaguar_Yucatán</i>	97.69 b		

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

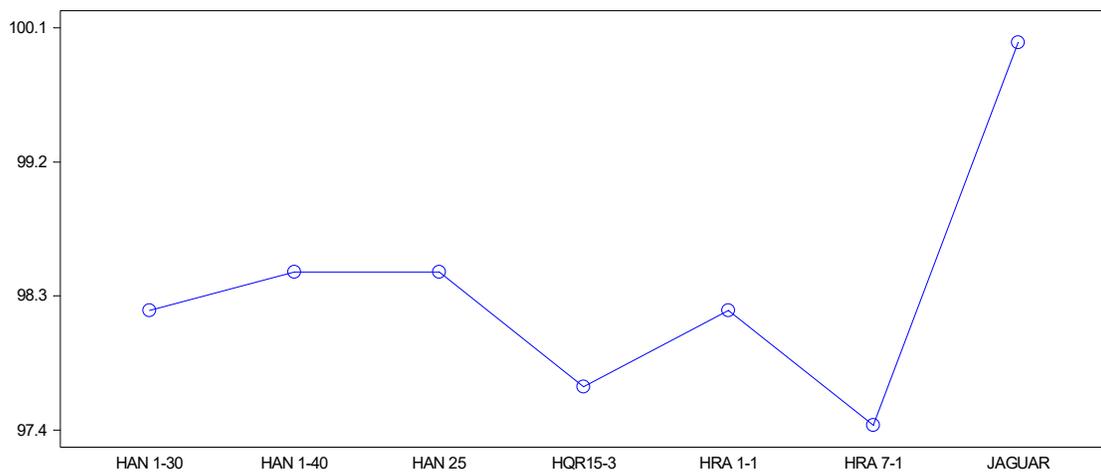


Figura 5. Porcentaje de germinación en semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) tratadas con ácido giberélico. San Quintín, Baja California. Febrero de 2018.

Hartmann y Kester (1988) y Willan (1991) mencionan que en la semilla existe latencia exógena, la cual se debe a las condiciones externas de la semilla por ejemplo que la cubierta seminal sea impermeable y latencia endógena o morfológica, en la cual la semilla se encuentra con problemas fisiológicos para responder a la germinación; por ejemplo, que el embrión no se haya desarrollado por completo durante la maduración.

## **CAPITULO 3. SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) EN INVERNADERO, CASA SOMBRA Y CAMPO ABIERTO**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

México se ha caracterizado por el consumo de chile picante, este consumo está ligado con la historia de los primeros pobladores del continente americano, Colón descubrió que en lugar de especies como la pimienta, este continente poseía diferentes especies de plantas, entre las que se encuentra el chile, al que le dio el nombre de pimienta, los antiguos pobladores de América, seleccionaron y mejoraron esta planta, para dar origen a la gran variedad de chiles que existen actualmente, cuando la especie llegó a España, su uso se expandió a nivel mundial, y así fue como el chile formó y forma parte de la dieta diaria de los pobladores de muchos países (Guzmán, 2004). Diferentes centros de Investigación han establecido diversos programas de mejoramiento genético en este cultivo. En 2003, el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) inició un programa estratégico de investigación en el mejoramiento genético del cultivo de chile habanero, los estudios realizados han involucrado desde aspectos básicos hasta formular un plan de rescate y resguardo del material genético de la región, entre los resultados; se cuenta con el mayor banco de germoplasma en Yucatán y el conocimiento base para obtener la denominación de origen, se han registrado ocho variedades de chile habanero ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). El banco de germoplasma actualmente cuenta con 300 accesiones, se han identificado y protegido genotipos de interés y desarrollaron protocolos para regenerar plantas *in vitro*, determinaron contenidos de capsaicina, variedades que conservaran las características pero que fueran más productivas, tolerantes y adaptadas a las condiciones de la región, se obtuvieron ocho variedades puras: cuatro naranjas, tres rojas y una amarilla (CONACYT, 2016).

Con el objetivo de preservar la diversidad genética y aprovechar los recursos genéticos para generar variedades mejoradas de chile habanero (*Capsicum chinense*), desde hace alrededor de 20 años el Centro de Investigación Científica de Yucatán

(CICY) ha trabajado para establecer un banco de germoplasma de esta especie, único en México, este germoplasma es la plataforma para desarrollar investigaciones fundamentales relacionadas con un cultivo que, además de importante, es emblemático en la península de Yucatán. A partir del trabajo sistemático con el reservorio genético de *Capsicum chinense* se ha realizado el mejoramiento del chile habanero, tanto por selección como por cruzamiento, lo que ha permitido generar no solo nuevas variedades, sino también híbridos F1, en los que se conservan las características del habanero criollo, pero se incorporan otros caracteres que resultan de interés agronómico, como el rendimiento y la tolerancia a estrés (CICY, 2019). En México existe una gran diversidad de chiles, el habanero, sembrado en diferentes estados, principalmente en Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, donde se obtienen producciones que oscilan entre 10 y 30 t ha<sup>-1</sup>. El valle de San Quintín, zona costa de Ensenada y valle de Mexicali, conforman una región de importancia agrícola, más del 80% de sus actividades son relacionadas con la agricultura, desde el 2013 se han establecido siembras en la región de alrededor de 13 ha (SIAP, 2014 y SEFOA-BC, 2014). San Quintín, en las décadas de 1970 y 1980, producía grandes extensiones de cultivos de chile a campo abierto, posteriormente se fue sustituyendo por otras hortalizas y frutillas, en los últimos años, la siembra de chile habanero se ha ido estableciendo a escala comercial, en costa Ensenada con alrededor de 10 ha anualmente y la región de valle de Mexicali con 4 ha en malla sombra, esto de acuerdo a datos obtenidos con productores durante los años 2015-2019.

Malveira *et al.* (2008) realizaron una caracterización morfológica y genética sobre la diversidad del género *Capsicum chinense* en Rio Negro, Amazonas, Brasil, encontraron diversidad genética en 38 accesiones de genes, con lo cual aseguran que la mayoría de las variedades de habaneros tienen una caracterización morfológica similar (forma, tamaño, estructura), la diversificación existe en cuanto a la coloración (verde, naranja, rojo, amarillo y café), las caracterizaciones se realizaron mediante 51 descriptores morfológicos y la mayor variación fue encontrada en el fruto, al mismo tiempo aseguran que el habanero se puede extender en cualquier región tropical del mundo, siempre y cuando se genere esa adaptabilidad a dichas condiciones. En 2012,

el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias desarrolló la variedad Jaguar de chile habanero, la cual cuenta con características de planta y fruto con tolerancia a mancha bacteriana, pudriciones de la raíz, enfermedades virales y minador de la hoja, así como un incremento de su rendimiento superior al 36%, resistente a ambientes extremos y mayor vida en anaquel. López *et al.* (2018) realizaron un estudio sobre la diversidad genética de chile habanero mediante ISSR y encontraron que la diversidad genética en las poblaciones de chile habanero colectadas en la península de Yucatán y Tabasco es relativamente alta. El germoplasma de chile habanero muestra mayor variación genética dentro de las poblaciones que entre ellas y se presenta alto flujo génico entre las poblaciones. Las poblaciones de chile habanero del estado de Yucatán presentan la mayor variación genética, lo cual confirma al estado de Yucatán como centro de dispersión de chile habanero en el sureste mexicano. La península de Yucatán cuenta con la denominación de origen del chile habanero; sin embargo, en los últimos años las compañías transnacionales de semillas han introducido variedades comerciales (Ramírez *et al.*, 2012) que han ido desplazando a las variedades de la región; esto pone en riesgo la diversidad genética que aún existe (Trujillo *et al.*, 2004). Estudios previos han demostrado que existen variedades locales de chile habanero con alto potencial agronómico (Latournerie *et al.*, 2015); el uso de esas variedades ayudaría a conservar la diversidad genética del germoplasma regional de la península de Yucatán, para utilizarla en programas de mejoramiento genético y a su vez, proporcionaría a los productores material vegetal adaptado a las condiciones bióticas y abióticas de la región. Actualmente el cultivo de chile habanero no ha tenido un crecimiento en base al número de hectáreas sembradas en el estado de Baja California, aunque existe demanda de mercados nacional e internacional, toda vez que se desconocen los genotipos que se adaptan a las condiciones de la zona en cuestión, ya sea en condiciones protegidas o campo abierto, con buena adaptabilidad y rendimiento en comparación a lo que expresan en las regiones productoras de México. La investigación se realizó con el objetivo de seleccionar genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) que mejor se adapten bajo las condiciones de invernadero,

casa sombra y campo abierto en las regiones agrícolas de San Quintín, zona costa de Ensenada y valle de Mexicali, en el estado de Baja California, México.

### 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

En condiciones de invernadero, el experimento se realizó en el periodo febrero a noviembre de 2017 en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Negocios de San Quintín de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicada en el ejido Padre Kino, San Quintín, Ensenada, Baja California, con 30° 33' 37'' latitud norte y 115° 56' 33'' longitud oeste, altitud de 28 msnm, con un clima cálido-seco con lluvias ligeras en invierno, su temperatura media anual es de 24 °C, con una precipitación media anual de 472 mm. En campo abierto, los genotipos se establecieron en un rancho agrícola de productor externo en la región de San Vicente, Ensenada, Baja California, con 31° 32' 56'' latitud norte del meridiano de Greenwich y longitud oeste de 116° 25' 00'', altitud de 100 msnm, con un clima cálido-seco con lluvias ligeras en invierno, su temperatura media anual es de 26 °C, con una precipitación media anual de 1016 mm. En las dos áreas de investigación se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, de acuerdo con la metodología de Steel y Torrie (1980) y usando el modelo estadístico:  $y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$ , cada bloque se estableció con los diez genotipos sembrados a hilera sencilla con una distancia entre plantas de 45 cm. La siembra se realizó el 21 de febrero de 2017 en charolas de polietileno con 130 cavidades. El trasplante fue el 21 y 23 de abril de ese mismo año en invernadero y campo abierto respectivamente, se evaluó porcentaje de nacencia de las semillas, días a cosecha, número de frutos por planta, diámetro polar y ecuatorial del fruto, peso de frutos, grados brix, vida de anaquel, rendimiento total por planta y rendimiento en toneladas por hectárea. Para determinar los días a cosecha de los genotipos, se registraron datos inicio y fin de cosecha y número de cortes durante todo el ciclo de producción. En invernadero, se realizaron 15 cortes intercalados de ocho a diez días iniciando el 25 de julio y terminando el 30 de noviembre de 2017. En campo abierto, el primer corte fue el 08 de agosto del 2017, segundo corte fue el 20 de agosto, tercer corte el 30 de agosto y el último corte se realizó el 03 de septiembre de 2017, dando

un intervalo entre cortes de 10 días, es importante mencionar que durante los meses de julio y agosto, las temperaturas en la región oscilan entre 30 y 38 °C, pero a principios de septiembre se presentan muy bajas temperaturas durante la noche y por las mañanas se presentan heladas, debido a estas condiciones solo se alcanzaron a realizar cuatro cortes, el inicio de cosecha fue a los 107 días después del trasplante, con un total de cuatro cortes y 31 días en cosecha. En el ciclo 2018, el experimento se realizó bajo casa sombra en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CEMEXI), en el Campo Experimental Valle de Mexicali, en el km 7.5 de la carretera a San Felipe, Colonia Colorado II, Mexicali, Baja California, México, cuenta con un clima extremo cálido-seco con temperaturas arriba de 40 °C en verano y bajo cero en invierno, con una precipitación pluvial media anual de 132 mm, su ubicación geográfica de 31° 45' 37" latitud norte y 115° 15' 33" longitud oeste, con altitud de 15 msnm. El tamaño de la malla sombra fue de 400 m<sup>2</sup> con una altura de 3.3 metros, la parcela útil de 90 m<sup>2</sup>, tres surcos de 15 m de largo, 80 cm ancho entre surco, se estableció un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, de acuerdo a la metodología de Steel y Torrie (1980), y el modelo estadístico:  $y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$ , en cada bloque se establecieron los siete tratamientos seleccionados del ciclo anterior y sembrados a doble hilera con una distancia entre plantas de 50 cm, la siembra se realizó el 04 de enero de 2018 en charolas de polietileno con 130 cavidades. Para determinar los días a cosecha de los genotipos, se registraron datos inicio y fin de cosecha y número de cortes durante todo el ciclo, las cosechas fueron el 5 y 20 de julio, 01 y 23 de agosto de 2018, en total solo fueron 4 cortes y los días en cosecha fueron 47. Seis de los genotipos bajo estudio (HRA 7-1, HAN 1-30, HRA 1-1, HAN 25, HAN 1-40, HQR 15-3), provienen del Banco Nacional de Germoplasma de Chile del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, el cual se encuentra ubicado en la región de las Huastecas en Altamira, Tamaulipas, dos líneas experimentales (HNY 201, HUX 15-1), resultado de los avances generacionales que se llevan a cabo en la Universidad Autónoma de Baja California y el testigo comercial Jaguar\_INIFAP y Jaguar\_Yucatán. En el Cuadro 7 se muestran los genotipos de chile habanero utilizados durante los dos

ciclos de evaluación en invernadero, campo abierto y casa sombra en Baja California. Cuadro 7. Color de fruto y hábito de crecimiento de planta en los genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecidos en invernadero, campo abierto y casa sombra en San Quintín, San Vicente y Valle de Mexicali, Baja California, México. Ciclos 2017 y 2018.

Tratamiento	Genotipos	Característica	Ciclo y localidad
T1	Jaguar_INIFAP	naranja indeterminado	I-CA-CS-2017-2018
T2	HRA 7-1	rojo determinado	I-CA-CS-2017-2018
T3	HNY 201	naranja determinado	I-CA-2017
T4	HAN 1-30	naranja indeterminado	I-CA-CS-2017-2018
T5	HRA 1-1	rojo determinado	I-CA-CS-2017-2018
T6	HAN 25	naranja indeterminado	I-CA-CS-2017-2018
T7	HAN 1-40	naranja indeterminado	I-CA-CS-2017-2018
T8	HQR 15-3	naranja indeterminado	I-CA-CS-2017-2018
T9	HUX 15-1	naranja determinado	I-CA-2017
T10	Jaguar_Yucatán	naranja indeterminado	I-CA-2017

I=Invernadero, CA=Campo Abierto, CS=Casa Sombra

Los diez genotipos de chile habanero establecidos en Baja California durante los ciclos 2017 y 2018, cuentan con características específicas, como el tipo de planta, color de fruto y número de lóculos. Las variables que se evaluaron fueron: Porcentaje de nacencia de plántulas en semillero, días a primer y último corte (DPC, DUC), número de cortes (NC), días en cosecha (DC), peso promedio del fruto (PPF), diámetro polar y ecuatorial del fruto (DPF, DEF), número de frutos por planta (NFPP), peso por planta en kilogramos (PPkg), rendimiento en toneladas por hectárea, grados brix (BRIX), vida de anaquel (VA), contenido de capsaicina en fruto (Ccaps) y unidades Scoville (US).

Para medir el diámetro polar, ecuatorial y peso del fruto, en cada cosecha se tomaron diez frutos al azar de las plantas seleccionadas, posteriormente se les tomo el peso a cada fruto, así como sus diámetros utilizando un vernier, los resultados se

registraron en la tabla de datos y al final se sacó el promedio de cada variable en los diez frutos y es la que se reportó en cada cosecha. Para la variable de número total de frutos por planta, durante cada cosecha se contaron los frutos de cada planta seleccionada y al final se realizó una suma de todos los frutos por planta durante todas las cosechas y se reportó el número total de frutos por planta. En peso por planta en kilogramos, se realizó la suma del peso por planta en cada cosecha y el resultado final se reportó en kilogramos. Para determinar el rendimiento en toneladas por hectárea, el peso total por planta se multiplicó por el total de plantas que se establecen en una hectárea y al final se reportó el dato en la tabla de valores para su posterior análisis de varianza en el paquete estadístico. Para medir el diámetro polar y ecuatorial se utilizó un vernier manual. Los días a primer corte (DPC), para determinar esta variable, se tomaron los días desde el trasplante hasta la primera cosecha y se registró en la bitácora de datos. Los días a último corte (DUC) se registraron mediante la fecha de trasplante hasta el último día en cosecha, los días en cosecha (DC) se determinaron contando los días desde el inicio hasta el final de la cosecha en cada una de las localidades en estudio. El número de cortes (NC) se tomó desde el inicio y fin de cosecha. Los resultados de las variables evaluadas fueron sometidos al análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), en el paquete estadístico R.

### **3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.3.1. Peso promedio de fruto**

Bajo invernadero, los diez genotipos evaluados presentaron diferencias significativas para la variable de peso promedio de fruto (PPF), obteniendo una media de 9.61 gramos por fruto con un coeficiente de variación (CV) de 5.47%. La línea que presentó mayor peso de fruto correspondió al habanero rojo HRA 1-1, con un peso de 10.52 g; mientras que, la variedad comercial Jaguar utilizada como testigo, presentó el peso más bajo con 8.9 g (Cuadro 8). En campo abierto, esta variable no presentó diferencias significativas, en el Cuadro 9, se muestran los resultados de los genotipos y se observa un solo grupo homogéneo (a), con un coeficiente de variación de 5.965 y

una eficiencia relativa de 0.95, los cuales indican que existe homogeneidad de varianzas. En el Cuadro 10, se muestra el peso promedio de fruto en campo abierto, el cual fue de 10.13 g. Para el ciclo 2018, en condiciones de malla sombra, el peso promedio del fruto presentó variación, lo cual indica que existen diferencias significativas para esta variable y la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) muestra dos grupos heterogéneos (a y b), con una media de 8.01 gramos, coeficiente de variación de 16.35% y eficiencia relativa de 1.06, lo cual indica que con la conformación de los bloques se redujo el error experimental en el diseño empleado. En el Cuadro 10 se presentan los resultados de PPF de los siete genotipos, siendo la variedad Jaguar la que presenta el mayor valor con 9.21 g y la línea HQR 15-3 obtuvo 5.28 g de peso promedio de fruto. Los resultados concuerdan con Ramírez *et al.* (2012), quienes reportan que las condiciones extremas de temperatura y humedad (alta temperatura y baja humedad) reducen considerablemente la calidad de frutos en algunos genotipos de chile habanero, afectando principalmente el peso de fruto y su diámetro, aunque esto incrementa su contenido de picor. Los resultados obtenidos respecto al peso promedio de fruto en los tres ambientes de evaluación, superan al peso de frutos reportados por Borges *et al.* (2010), quienes realizaron un estudio similar en chile habanero y durante diez cortes de acuerdo a su peso los clasificaron en frutos de primera a los que presentaron un peso mayor a 6.5 g, de segunda a frutos con un peso de 5.5 a 6.4 g y frutos de rezaga a los que presentaron un peso menor a 5.4 g. Quintal *et al.* (2012) reportaron como valor máximo al peso de fruto con 6.4 g, ellos utilizaron tres fuentes de fertilización (urea, nitrato de potasio y fosfato monoamónico) y sus resultados fueron inferiores a los obtenidos en esta investigación.

Cuadro 8. Resultados de la comparación de medias para las variables: peso promedio de fruto, número de frutos por planta, peso por planta, diámetro polar y ecuatorial del fruto y rendimiento de 10 genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecidos en invernadero durante el ciclo 2017 en el valle de San Quintín, Ensenada, B.C.

Genotipos	PPF (g)	NFP	PFP (kg)	DPF (cm)	DEF (cm)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
HRA 1-1	10.52 a	217.25 a	2.10 a	3.40 a	3.15 a	64.73 ab
HRA 7-1	10.42 ab	208.75 a	1.95 a	4.65 a	3.15 a	60.11 bc
HAN 1-30	10.25 abc	221.25 a	2.12 a	4.33 a	3.48 a	65.97 ab
HAN 25	10.00 abcd	225.25 a	2.07 a	4.48 a	3.00 a	64.33 ab
Jaguar INIFAP	9.67 abcd	189.25 a	2.00 a	4.40 a	3.25 a	61.47 bc
HNY 201	9.22 bcd	236.88 a	2.28 a	4.58 a	3.68 a	70.37 a
HUX 15-1	9.05 cd	207.12 a	1.95 a	4.60 a	3.28 a	60.97 bc
HQR 15-3	9.02 cd	199.25 a	1.83 a	4.53 a	3.30 a	56.69 c
HAN 1-40	8.97 cd	174.75 a	1.68 a	4.73 a	2.73 a	52.15 c
Jaguar Yucatán	8.90 d	198.75 a	1.85 a	4.13 a	3.13 a	57.83 bc

PPF = peso promedio de fruto. NFP = número de frutos por planta. PFP = peso de frutos por planta. DPF = diámetro polar de fruto. DEF = diámetro ecuatorial de fruto.

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

### 3.3.2. Diámetro polar y ecuatorial del fruto

Para estas variables de estudio en los tres ambientes de evaluación, los genotipos no presentaron diferencias significativas entre ellos, la prueba de medias analizada por Tukey con una  $p \leq 0.05$ , indicó que existe homogeneidad de varianzas con un solo grupo homogéneo (Cuadros 9, 10 y 11). La media general en diámetro polar (DPF) y ecuatorial de fruto (DEF) fue de 4.38 y 3.21 cm, respectivamente; el coeficiente de variación fue de 15.97% y la eficiencia relativa de 1.03, lo cual indica que el diseño de

bloques al azar influyó en la disminución del error, por lo que también es factible haber realizado los análisis estadísticos mediante el diseño completamente al azar. El resultado del diámetro polar y ecuatorial del fruto, fueron mayores a los datos reportados por Reyes *et al.* (2014), quienes, en una investigación con sustrato y fertilización sintética, los valores más altos obtenidos en diámetro polar y ecuatorial del fruto fueron de 2.91 y 2.87 cm, respectivamente. Por su parte, Tucuch *et al.* (2012) reportaron que en su experimento obtuvieron como mayor diámetro polar de fruto 3.74 cm, utilizando partículas de tezontle como sustrato combinado con fibra de coco.

Cuadro 9. Resultados de la comparación de medias para las variables: peso promedio de fruto, número de frutos por planta, peso por planta, diámetro polar y ecuatorial del fruto y rendimiento de 10 genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecidos en campo abierto durante el ciclo 2017 en la zona costa de Ensenada, B.C.

Genotipos	PPF (g)	NFP	PFP (kg)	DPF (cm)	DEF (cm)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Jaguar_INIFAP	9.84 a	55 bc	0.54 bc	4.40 a	3.25 a	16.79 bc
HRA 7-1	10.30 a	57 bc	0.59 abc	4.65 a	3.15 a	18.21 abc
HNY 201	9.68 a	71 a	0.68 ab	4.58 a	3.68 a	21.29 a
HAN 1-30	10.63 a	66 ab	0.69 a	4.33 a	3.48 a	21.59 a
HRA 1-1	10.48 a	48 c	0.49 c	3.40 a	3.15 a	15.42 c
HAN 25	10.30 a	47 c	0.48 c	4.48 a	3.00 a	14.92 c
HAN 1-40	10.08 a	56 bc	0.56 abc	4.73 a	2.73 a	17.52 abc
HQR 15-3	9.88 a	61 ab	0.59 abc	4.53 a	3.30 a	18.58 abc
HUX 15-1	10.08 a	57 bc	0.57 abc	4.60 a	3.28 a	17.92 abc
Jaguar_Yucatán	10.10 a	58 bc	0.58 abc	4.13 a	3.13 a	17.99 abc

PPF = peso promedio de fruto. NFP = número de frutos por planta. PFP = peso de frutos por planta. DPF = diámetro polar de fruto. DEF = diámetro ecuatorial de fruto.

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

### 3.3.3. Número y peso de frutos por planta

Para estas variables en invernadero, no se encontraron diferencias significativas entre los genotipos, la prueba de Tukey indica que existe homogeneidad de varianzas (Cuadro 9), se tuvo una media de 208 frutos por planta (NFP), el coeficiente de variación (CV) fue de 15.56% y la eficiencia relativa marcada fue de 0.96. Para el peso de frutos por planta en kilogramos (PFP) la media fue de 1.98, el coeficiente de variación de 17.35% y la eficiencia relativa de 0.95; la cual indica que el uso del diseño experimental en bloques, no disminuyó el efecto del error experimental, por lo que también se pudo haber utilizado un diseño completamente al azar. Estos resultados obtenidos superan a los que reportaron Torres *et al.* (2017), de un estudio sobre la utilización de acolchado plástico en cultivo de chile habanero, en el cual obtuvieron un rendimiento promedio de 0.578 kg y 94 frutos por planta, y a los reportados por Shimray *et al.* (2019), quienes en un estudio realizado en el cultivo de chile habanero evaluaron el efecto de la nutrición bajo condiciones protegidas, en el que obtuvieron un peso promedio de fruto por planta de 1.35 kg, el número de frutos por planta reportado es de 175. En campo abierto las variables de NFP y PFP, mostraron tres grupos heterogéneos (a, b, c), el análisis estadístico presenta heterogeneidad de varianzas (Cuadro 9), la media general fue de 58 frutos por planta con un peso de 0.58 kg, cuyos coeficientes de variación y eficiencias relativas fueron de 9.03% y 1.03, 10.28% y 1.06, respectivamente; la eficiencia relativa en ambos casos, muestra que el uso de bloques en el diseño experimental, tuvieron un efecto positivo en la reducción del error experimental. En malla sombra para la variable PFP se muestra un solo grupo homogéneo (a), el análisis estadístico indica que hay homogeneidad de varianzas mediante la prueba de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), la media general fue de 0.74 kg y un coeficiente de variación de 22.23%. Mientras que NFP mostró dos grupos heterogéneos (a, b), los cuales indican que existen diferencias significativas entre los genotipos evaluados, las líneas HAN 1-40 y HQR 15-3 presentaron los valores más altos, mientras que la variedad comercial Jaguar obtuvo el menor NFP. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Torres *et al.* (2014), quienes en un estudio con chile habanero en malla sombra en el valle de Mexicali, obtuvieron un rendimiento

de 0.578 kg y 94 frutos por planta. Por su parte los resultados obtenidos por Meneses *et al.* (2018), quienes realizaron un estudio sobre la caracterización fenológica y fisiológica de variedades experimentales de chile habanero con potencial agronómico y las compararon con la variedad comercial Jaguar, la cual produjo 48 frutos por planta en condiciones de campo abierto, mientras que en invernadero presentó 190 frutos por planta.

Cuadro 10. Resultados de la comparación de medias para las variables: peso promedio de fruto, número de frutos por planta, peso por planta, diámetro polar y ecuatorial del fruto y rendimiento en siete genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecidos en malla sombra durante el ciclo 2018 en valle de Mexicali, Baja California.

Genotipos	PPF (g)	NFP	PFP (kg)	DPF (cm)	DEF (cm)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Jaguar_INIFAP	9.21 a	64 b	0.58 a	4.81 a	3.81 a	19.15 c
HRA 7-1	7.56 ab	111 ab	0.84 a	4.41 a	2.84 a	28.03 a
HAN 1-30	9.69 a	77 ab	0.71 a	4.26 a	3.07 a	23.61 bc
HRA 1-1	8.29 ab	89 ab	0.74 a	4.58 a	3.21 a	24.41 abc
HAN 25	9.02 ab	94 ab	0.85 a	4.66 a	3.11 a	28.08 a
HAN 1-40	7.06 ab	120 a	0.82 a	5.29 a	2.55 a	27.34 ab
HQR 15-3	5.28 b	120 a	0.64 a	3.92 a	2.48 a	21.15 bc

PPF = peso promedio de fruto. NFP = número de frutos por planta. PFP = peso de frutos por planta. DPF = diámetro polar de fruto. DEF = diámetro ecuatorial de fruto.

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

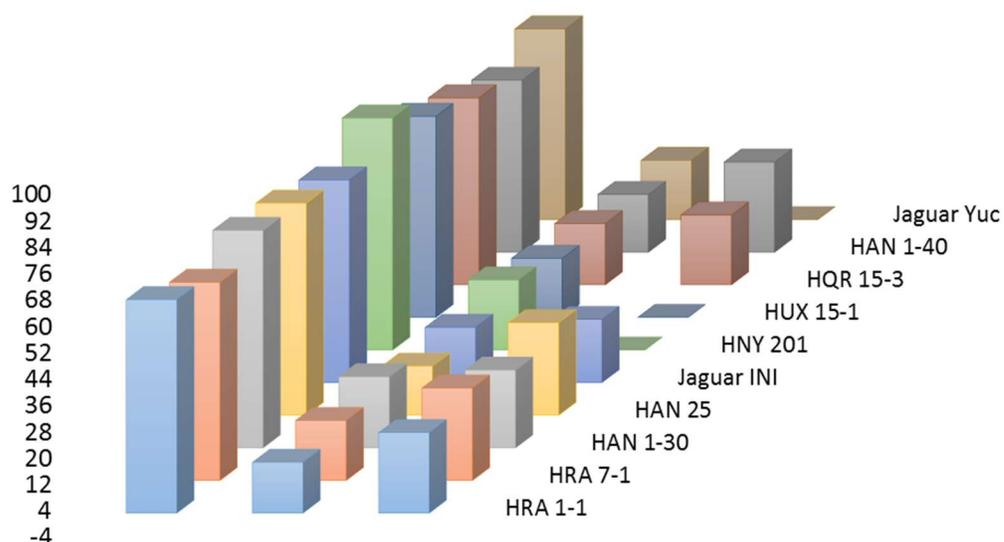
### 3.3.4. Rendimiento

El análisis de varianza muestra diferencias significativas de los genotipos bajo estudio con respecto al testigo comercial, el rendimiento promedio en invernadero y

campo abierto durante el ciclo 2017 fue de 61.462 t ha<sup>-1</sup> y 18.025 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que en casa sombra para el ciclo 2018, fue de 24.53 t ha<sup>-1</sup>. Estos resultados superaron a la producción media anual de 2013, en la cual SIAP (2013) reportó rendimientos de 11.01 t ha<sup>-1</sup> en campo abierto, 42 t ha<sup>-1</sup> bajo invernadero y 22 t ha<sup>-1</sup> en casa sombra; por lo que el cultivo bajo condiciones protegidas tuvo un incremento de 11.5% en casa sombra, 46% en invernadero y 63.8% en campo abierto. También superó a los rendimientos obtenidos en 2012, cuando se liberó la variedad Jaguar (testigo comercial), con la cual se alcanzaron 15 t ha<sup>-1</sup> con fertirrigación a campo abierto y 36 toneladas en condiciones de agricultura protegida. En los Cuadros 8, 9 y 10, se muestra el rendimiento de los genotipos de chile habanero, en los cuales mediante la prueba de medias se formaron tres grupos heterogéneos (a, b, c). Mendoza *et al.* (2016) realizaron estudios de rendimiento con un híbrido de chile habanero durante tres años bajo condiciones de invernadero en el valle de San Quintín y obtuvieron un promedio de 72 t ha<sup>-1</sup> en los años 2013, 2014 y 2015. En el Cuadro 9 se muestra el rendimiento promedio de los cultivares de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en campo abierto. Los genotipos HAN 1-30 y HNY 201 obtuvieron un promedio de 21.2 t ha<sup>-1</sup>; mientras que, HRA 1-1 y HAN 25 presentaron rendimientos de 15 y 14 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para campo abierto, los diez genotipos superaron en más de 50% a lo reportado por SIAP (2013), en donde se menciona que, en las regiones productoras de la península de Yucatán bajo condiciones de temporal, se obtienen rendimientos de 11 t ha<sup>-1</sup>. Ramírez *et al.* (2018) señalan que la variedad Jaguar produce frutos uniformes, de color verde esmeralda que se tornan anaranjado brillante en madurez total, muy atractivos para mercado en ambos estados de madurez. Esta variedad alcanza rendimientos de alrededor de 15 t ha<sup>-1</sup> en condiciones de buen temporal y de 30 t ha<sup>-1</sup> a cielo abierto con tecnología de media a alta; mientras que en condiciones de agricultura protegida el rendimiento promedio es de hasta 43 t ha<sup>-1</sup>. El chile habanero muestra su mejor desarrollo en zonas templadas, subtropicales con altitudes que oscilan entre 0 y 2700 msnm, se desarrolla en un rango de precipitación óptima de 600 a 1250 mm (FAO, 1994). Sin embargo, estos valores varían en base a la variedad que se vaya a cultivar. El Cuadro 10 muestra el

rendimiento de los cultivares de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo condiciones de casa sombra, en el cual las líneas HRA 7-1 y HAN 25 superaron en 33% al testigo, y las líneas HAN 1-40, HRA 1-1 y HAN 1-30 también lo hicieron en 29, 21 y 18%, respectivamente. En la prueba de medias se observa heterogeneidad de varianzas en los grupos, estadísticamente existen diferencias significativas entre los genotipos evaluados y el genotipo que supera al resto de los materiales, incluyendo al testigo, es la línea HRA 7-1, correspondiente a un habanero rojo, el cual además presentó precocidad respecto al resto de los materiales en los tres ambientes bajo estudio. Ramírez *et al.* (2018) menciona que la variedad Jaguar alcanza rendimientos de alrededor de 15 t ha<sup>-1</sup> en condiciones de buen temporal y de 30 t ha<sup>-1</sup> a cielo abierto con acolchado del suelo y fertirrigación. Torres *et al.* (2017) realizaron un estudio sobre la utilización de acolchado plástico y aplicación de hierro foliar en plantas de chile habanero cultivado en malla sombra, infectado con virus, ellos encontraron que el acolchado plástico tuvo efecto en el rendimiento y número de los frutos, provocando que existiera diferencia significativa en los cortes, así como también en la cosecha total. Sin embargo, el peso individual de cada fruto no se vio afectado por el acolchado. La variedad tuvo efecto sobre el rendimiento y número de fruto únicamente en el segundo corte, reflejándose también en el rendimiento total, no así en el peso individual de fruto. No obstante, los tratamientos asperjados con hierro foliar no mostraron diferencia significativa con respecto a esta variable de producción. Así pues, durante el primer corte, el acolchado que mostró menor peso y número de frutos fue el color negro mientras que en el segundo corte, la mayor expresión productiva en peso se obtuvo con el acolchado blanco, en tanto el número de fruto resultaron iguales el acolchado blanco y el tratamiento sin acolchar. En el rendimiento, el acolchado negro fue el tratamiento que obtuvo el menor peso y menor número de frutos. Por su parte, el testigo sin acolchar y los acolchados blanco y plata tuvieron igual rendimiento y número de frutos. Las plantas correspondientes a la línea HAN 1-30 presentaron un rendimiento de 21.59 t ha<sup>-1</sup> que superó al testigo comercial Jaguar en 31%, estas plantas corresponden a un habanero naranja tipo indeterminado; mientras que la línea HAN 25 presentó el menor rendimiento con 14.9 t ha<sup>-1</sup>, esta línea evaluada en casa

sombra obtuvo un rendimiento de 28 t ha<sup>-1</sup> y en invernadero 64 t ha<sup>-1</sup>. Ramírez *et al.* (2007) evaluaron el potencial productivo de chile habanero en el sur de Tamaulipas a campo abierto bajo condiciones de temporal, obteniendo un rendimiento de 34 t ha<sup>-1</sup>. En la Figura 9 se muestra el concentrado del rendimiento de los genotipos de chile habanero establecidos en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California, en la cual se observa que el mayor rendimiento obtenido es bajo invernadero, mientras que en malla sombra y campo abierto los resultados son muy similares en cada genotipo; de acuerdo al número de cortes, en invernadero fueron 15 y tanto en malla sombra como en campo abierto cuatro cortes. Bajo ambientes cálidos, como los prevalecientes en la región de este estudio, es importante lograr un desarrollo temprano del cultivo antes de la cosecha de fruta con el fin de minimizar las pérdidas de rendimiento por efecto de aborto de flor o de frutos. Por otra parte, la interacción encontrada entre los tres ambientes con respecto al rendimiento podría haber sido provocada por las condiciones extremas de altas temperaturas para el valle de Mexicali y bajas temperaturas para la zona costa de Ensenada; mientras que, bajo invernadero en el valle de San Quintín, las condiciones son controladas y esto favorece a la planta para extender más su ciclo de producción.



**Figura 6. Rendimiento obtenido en genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) evaluados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Agosto de 2017 y 2018.**

### 3.3.5. Días a primer corte

Las líneas HRA 7-1, HAN 1-30, HRA 1-1 y HAN 25 iniciaron cosecha a los 94 días después del trasplante (ddt), fueron las más precoces con respecto al promedio reportado en producción de chile habanero en las regiones productoras del sureste de México. Ramírez *et al.* (2012) reportaron que el chile habanero inicia su cosecha a los 115 ddt y en algunas zonas del norte y noreste de México, se puede alargar hasta los 130 ddt, dependiendo de las condiciones agroclimáticas de la región. En la variedad comercial Jaguar y las líneas experimentales HUX 15-1, HQR 15-3, HAN 1-40 y HNY 201, el primer corte se realizó a los 108 ddt bajo condiciones de invernadero en el valle de San Quintín. El análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas entre los genotipos, ya que en la prueba de medias existe un solo grupo homogéneo para esta variable. En el Cuadro 10 se muestran los resultados de las medias para las variables de días a primer corte (DPC), días a último corte (DUC), días en cosecha (DC) y número de cortes (NC). Todas las variables muestran grupos homogéneos mediante la prueba de medias por el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Las líneas que iniciaron primera cosecha a 94 ddt, presentaron dos cortes más que aquellas que iniciaron cosecha a 108 ddt, los días en cosecha durante todo el ciclo de producción fueron: 115 y 129 en invernadero y 31 en campo abierto. Los resultados obtenidos en el ciclo de producción 2017, en campo abierto e invernadero, en las regiones de San Vicente y San Quintín; respectivamente, no mostraron diferencias significativas entre los genotipos (Cuadro 11). En el ciclo 2018, bajo condiciones de malla sombra en el valle de Mexicali, Baja California, los genotipos presentaron homogeneidad en las medias de las variables evaluadas, la primera y última cosecha se dieron a los 112 y 161 días respectivamente, mientras que los días en cosecha y número de cortes fueron de 49 y 4, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Torres *et al.* (2017), quienes realizaron cuatro cortes en el trabajo realizado en malla sombra al evaluar tres variedades de chile habanero.

Cuadro 11. Resultados de la comparación de medias mediante la prueba de Tukey  $p \leq 0.05$  en las variables de días a primer y último corte, número de cortes y días en cosecha de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), establecidos en invernadero y campo abierto durante el ciclo 2017 en las regiones de San Quintín, y San Vicente, Ensenada, B.C.

<i>Genotipos</i>	<i>DPC</i> <sup>1</sup>	<i>DUC</i> <sup>1</sup>	<i>DC</i> <sup>1</sup>	<i>NC</i> <sup>1</sup>	<i>DPC</i> <sup>2</sup>	<i>DUC</i> <sup>2</sup>	<i>DC</i> <sup>2</sup>	<i>NC</i> <sup>2</sup>
<i>Jaguar_INIFAP</i>	108 a*	223 a	115 a	13 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HRA 7-1</i>	94 a	223 a	129 a	15 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HNY 201</i>	108 a	223 a	115 a	15 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HAN 1-30</i>	94 a	223 a	129 a	13 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HRA 1-1</i>	94 a	223 a	129 a	13 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HAN 25</i>	94 a	223 a	129 a	13 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HAN 1-40</i>	108 a	223 a	115 a	15 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HQR 15-3</i>	108 a	223 a	115 a	15 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>HUX 15-1</i>	108 a	223 a	115 a	15 a	107 a	137 a	31 a	4 a
<i>Jaguar_Yucatán</i>	108 a	223 a	115 a	15 a	107 a	137 a	31 a	4 a

DPC = días a primer corte. DUC = días a último corte. DC = días en cosecha. NC = número de cortes. <sup>1</sup>Ambiente: campo abierto en San Vicente. <sup>2</sup>Ambiente: invernadero en San Quintín.

\*Medias con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

## **CAPITULO 4. DETERMINACIÓN DE CAPSAICINA, GRADOS BRIX Y VIDA DE ANAQUEL EN CULTIVARES DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Antes de que se descubriera el continente americano, los pobladores ya domesticaban y mejoraban las plantas de chile, el consumo está ligado a la historia de México, ya que se afirma con certeza que los primeros pobladores americanos fueron los que domesticaron este importante cultivo, cuando Colon llegó a México, adoptó esta planta y de ahí se la llevó al continente europeo para continuar con su dispersión en todo el mundo. Los vestigios arqueológicos datan de los años 5200 y 3400 AC, donde demuestran que los nativos americanos cultivaban plantas de chile. El interés por el cultivo de chile no es solamente por su importancia económica, sino que también se ha demostrado que es una fuente importante de colorantes naturales, vitaminas (A, C, D y E) y minerales, además de su contenido especial de picor que le da la capsaicina. Se ha descubierto que los chiles presentan compuestos fotoquímicos, que tienen un efecto benéfico en la salud humana (Guzmán y Paredes, 1998).

Borges *et al.* (2008) realizaron un estudio para determinar capsaicinoides en chile habanero cultivado bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición, ellos encontraron que se observó una respuesta significativa para contenido de capsaicina con la edad de la planta, no así para dihidrocapsaicina. El rendimiento de frutos reflejó una respuesta significativa ante los incrementos de nutrición y humedad, alcanzando en promedio 1391 gramos de fruto por planta para el nivel con mayor nutrición y humedad aprovechable. Se tuvo respuesta significativa entre el contenido de capsaicina y el rendimiento de fruto clasificado de tercera y entre el contenido de dihidrocapsaicina y el rendimiento y número de frutos de segunda.

México es el país del mundo con la mayor variedad genética de *Capsicum*; su riqueza genética se debe en gran parte a la diversidad de climas y suelos, pero también a las prácticas tradicionales de cultivo que efectúan los pequeños productores utilizando las semillas de los frutos seleccionados de las plantas nativas (Latournerie *et al.*, 2002). Entre la gran diversidad del género *Capsicum*, el chile

habanero se ha convertido en un símbolo y ejemplo en pungencia, debido a su alto contenido de capsaicina encontrado en el fruto (Laborde y Pozo, 1984). La importancia de los capsaicinoides se debe a que además de proporcionar el sabor picante son utilizados por la industria farmacéutica (Salazar y Silva, 2004), de armas, tabacalera, cosmética, de pinturas, entre otras como ingrediente activo en diversos productos. De acuerdo con Harvell y Bosland (1979), los niveles de escozor en el chile están determinados por dos factores: los genéticos de la planta y los que interactúan con el medio ambiente. Estudios realizados han mostrado diferentes respuestas del efecto del estrés hídrico y la nutrición mineral sobre el contenido de capsaicinoides; así, en plantas de *Capsicum annum* L. variedad Padrón, el estrés hídrico tuvo un fuerte efecto sobre la producción de capsaicina (Bernal *et al.*, 1995; Estrada *et al.*, 1999). Caso contrario, Velasco *et al.* (2001) reportaron que al incrementar el suministro de N, P y K en chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) la producción de capsaicina disminuyó. Hasta el momento se desconoce el efecto de diferentes regímenes de humedad y de incorporación de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O en la síntesis de capsaicinoides en chile habanero.

Recientemente existe interés en cuantificar algunos constituyentes antioxidantes de frutas y vegetales por potencial funcionalidad contra varias enfermedades entre las que destacan la diabetes, cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas como el Alzheimer (Kaur y Kapoor, 2001). Diversos estudios se han realizado con el fin de identificar las cantidades existentes de estos compuestos en las especies del género *Capsicum*, estos han incluido las especies, así como sus diversas formas de consumo (fresco, seco y procesado); sin embargo, los resultados encontrados pueden ser confusos ya que en algunas ocasiones difieren cantidades entre una misma especie. Por su alto contenido de capsaicinoides acumulados en el fruto, el chile habanero es una hortaliza de interés para la industria farmacéutica, se ha observado que la concentración de esta sustancia puede variar por efectos de condiciones ambientales, estrés hídrico y nutricional, bajas temperaturas, falta de radiación y baja humedad relativa, también se ha reconocido que entre la gran diversidad del género *Capsicum*, el chile habanero representa un símbolo y ejemplo de pungencia, dado que los capsaicinoides son compuestos de interés.

El objetivo de esta investigación fue determinar y comparar la concentración de capsaicina (Ccap), unidades Scoville (US), grados brix y vida de anaquel (VA) después de su cosecha en genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) establecidos bajo condiciones de invernadero, campo abierto y malla sombra en Baja California.

#### 4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el laboratorio de postcosecha en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicada en Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. El modelo estadístico empleado fue en base a la metodología de Steel y Torrie (1980), para el cual se utilizó un diseño completamente al azar con diez tratamientos y cuatro repeticiones, mediante el modelo lineal aditivo ( $y_{ij} = m + t_i + e_{ij}$ ). El contenido de capsaicina se determinó mediante el método propuesto por Davis *et al.* (2007). El procedimiento realizado para determinar el contenido de capsaicina en genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) fue: 1) pesar un gramo de tejido de chile habanero en fresco, 2) macerarlo en un tubo de vidrio, 3) agregar 10 ml de acetona pura, 4) licuar el tejido hasta tener una muestra homogénea, 5) calentar la mezcla en baño maría por 30 minutos a 60 °C, 6) dejar enfriar las muestras a temperatura ambiente, 7) centrifugar la muestra a 1000 r/min durante 10 minutos, 8) dejar enfriar y leer el dato en el espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 20) a una longitud de onda de 280 nm, 9) finalmente registrar las lecturas y trabajar con la ecuación de regresión para ajustar los datos y determinar el contenido de capsaicina.

Para evaluar la vida de anaquel de los genotipos, se seleccionaron diez frutos de cada tratamiento y repetición, se colocaron en bolsas de papel, las cuales estaban marcadas con los datos correspondientes a cada genotipo, posteriormente se llevaron al laboratorio y se colocaron en el refrigerador a una temperatura de 8 °C y humedad relativa de 90%. Cada semana se tomaron datos de peso de frutos, diámetro polar y ecuatorial de fruto y apariencia física visual del fruto y del pedúnculo; y se registraron durante todo el periodo de acondicionamiento. En la toma de datos para vida de

anaquel, el primer registro se realizó el 30 de septiembre y la última lectura fue el 30 de noviembre de 2017; cuando se tomó la última lectura, la calidad visual del fruto estaba en un 70%. Para determinar la calidad de fruto, se observaron visualmente los frutos que no presentaran defectos, daños o deterioros, y se registró el dato de intensidad de color de fruto. Para los grados brix se tomó una muestra de frutos, se puso en un exprimidor y en el refractómetro digital se colocó una gota del jugo del fruto y se tomó la lectura. El refractómetro usado fue de la marca ATAGO modelo PAL-1. Los resultados de las variables evaluadas fueron sometidos al análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con en el paquete estadístico R.

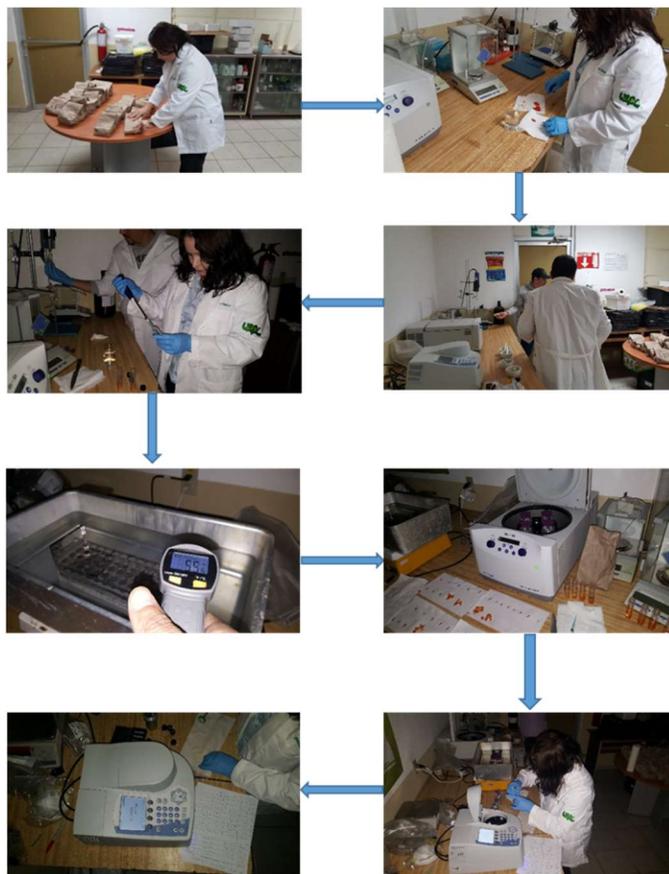


Figura 7. Diagrama de flujo para la determinación del contenido de capsaicina en frutos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en laboratorio del Instituto de Ciencias Agrícolas. Diciembre, 2017.

### 4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 12, 13 y 14 se muestran los resultados de las variables de grados brix, vida de anaquel, capsaicina y pungencia de los genotipos de chile habanero establecidos en invernadero, campo abierto y malla sombra en el estado de Baja California durante los ciclos 2017 y 2018. Se observó que existen diferentes grupos heterogéneos para cada una de las variables evaluadas. La prueba de medias por el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) muestra heterogeneidad de varianzas, por lo que estadísticamente se presentaron diferencias significativas entre los genotipos en estudio.

Cuadro 12. Resultados de la comparación de medias para las variables de grados brix, vida de anaquel, contenido de capsaicina y pungencia en 10 genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), establecidos bajo invernadero durante el ciclo 2017 en el valle de San Quintín, B.C.

Genotipos	SST <sup>1</sup> (°Brix)	VA <sup>2</sup> (días)	Ccaps <sup>3</sup> (mg g <sup>-1</sup> )	Pungencia (u. Scoville)
HRA 1-1	8.48 b*	44.25 e	21.49 a	322,250 a
HRA 7-1	8.30 b	45.75 e	20.03 ab	300,000 ab
HAN 1-30	9.95 a	65.25 ab	19.86 ab	297,500 ab
HAN 25	9.75 a	64.25 abc	20.16 ab	301,750 ab
Jaguar INIFAP	8.75 ab	58.25 d	19.49 b	291,750 b
HNY 201	9.70 a	61.25 abcd	19.86 ab	297,250 ab
HUX 15-1	9.52 a	65.50 ab	18.63 b	279,000 b
HQR 15-3	9.90 a	66.75 a	20.17 ab	302,000 ab
HAN 1-40	9.97 a	60.75 bcd	20.19 ab	302,500 ab
Jaguar Yucatán	8.62 ab	59.00 cd	21.55 a	323,000 a

<sup>1</sup>Sólidos solubles totales; <sup>2</sup>Vida de anaquel; <sup>3</sup>Capsaicina. \*Medias con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.3.1. Vida de anaquel

La vida de anaquel (VA) para los genotipos establecidos en invernadero presentaron diferencias significativas, pues el análisis de estadístico mediante la prueba de medias formó cinco grupos (a, b, c, d, e), lo que indica que existe heterogeneidad de varianzas y que los genotipos presentan diferente vida de anaquel bajo las condiciones de atmosfera controlada en la cual se establecieron. Los habaneros rojos: HRA 1-1 y HRA 7-1 presentaron una vida de anaquel de 44 y 45 días, respectivamente; mientras que, las líneas HQR 15-3 y HAN 1-30 se mantuvieron en postcosecha durante 66 y 65 días, respectivamente. La variedad comercial Jaguar obtuvo un promedio de 58 días en postcosecha. Todos los genotipos evaluados mantuvieron las características de calidad en 70% hasta finalizar su vida de anaquel. En el Cuadro 13 se muestran los genotipos evaluados en campo abierto, los cuales presentaron heterogeneidad de varianzas con tres grupos (a, b, c), lo que indica que existen diferencias significativas en cada genotipo con respecto a los días en postcosecha. Las líneas de habanero rojo presentaron menos vida anaquel con respecto a los habaneros naranja. HAN 1-30 presentó 63 días en postcosecha conservando sus características de calidad en un 70%, mientras que la línea HRA 1-1 las mantuvo durante 46 días. Para la vida de anaquel de los genotipos cosechados en casa sombra en el valle de Mexicali, las líneas HAN 1-30 y HRA 1-1 se mantuvieron por 51 y 43 días, respectivamente. El tratamiento de postcosecha que reciben los frutos para consumo en fresco tiene influencia en este parámetro de calidad. Muchos tipos de chiles son deshidratados para utilizarse como consumo en seco (pasilla, mulato, chiltepín, pico de pájaro, etc.). En un estudio desarrollado por Vega *et al.* (2009), se evaluaron varias temperaturas de secado (50 a 90°C) en frutos rojos de chile (*Capsicum annum* L.) y su influencia sobre la concentración de ácido ascórbico. Los resultados obtenidos mostraron una degradación de este compuesto químico mayor al 90% en todas las temperaturas evaluadas. La transpiración, deshidratación o pérdida de agua de los frutos en postcosecha constituye el principal problema que demerita la calidad de consumo. Se ha observado que cuando los frutos pierden 6 a 7% de su

peso, la firmeza y la apariencia disminuyen y por consecuencia la calidad y vida de anaquel (Báez *et al.*, 2005).

Cuadro 13. Resultados de la comparación de medias para las variables de grados brix, vida de anaquel, contenido de capsaicina y pungencia en 10 genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), establecidos en campo abierto durante el ciclo 2017. San Vicente, Ensenada, B.C.

Genotipos	SST <sup>1</sup> (°Brix)	VA <sup>2</sup> (días)	Ccaps <sup>3</sup> (mg g <sup>-1</sup> )	Pungencia (u. Scoville)
HRA 1-1	8.48 de*	46 c	21.49 a	332,250 a
HRA 7-1	7.83 e	53 bc	20.28 abc	303,750 abc
HAN 1-30	9.50 ab	63 a	19.85 bc	297,500 bc
HAN 25	9.75 a	55 abc	20.15 abc	301,750 abc
Jaguar INIFAP	8.38 de	48 bc	20.98 ab	314,250 ab
HNY 201	8.70 bcd	56 ab	19.86 bc	297,500 bc
HUX 15-1	9.53 ab	55 abc	19.38 c	290,250 c
HQR 15-3	9.40 abc	57 ab	20.17 abc	302,000 abc
HAN 1-40	9.48 ab	50 bc	20.44 abc	306,250 abc
Jaguar Yucatán	8.62 cde	51 bc	21.55 a	323,000 a

<sup>1</sup>Sólidos solubles totales; <sup>2</sup>Vida de anaquel; <sup>3</sup>Capsaicina.

\*Medias con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

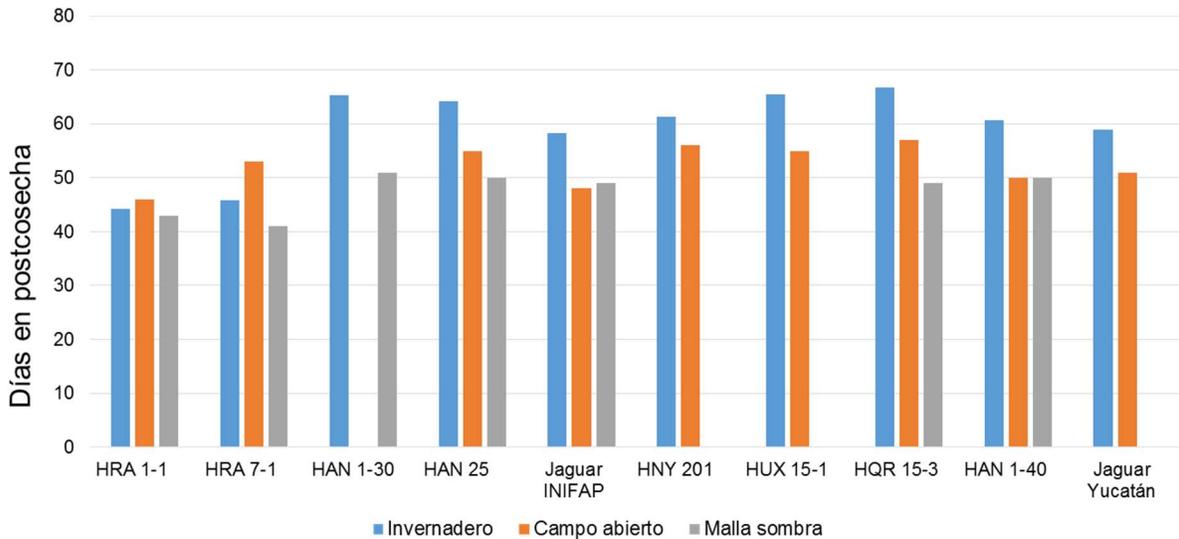


Figura 8. Vida de anaquel en genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) evaluados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Noviembre de 2017 y 2018.

#### 4.3.2. Grados brix

La concentración de azúcares en frutos de los genotipos de chile habanero presentaron diferencias significativas para los ambientes evaluados, en los Cuadros 12, 13 y 14 se observan las medias de los genotipos cultivados en invernadero, campo abierto y casa sombra, respectivamente. En cada ambiente se observó heterogeneidad de varianzas entre genotipos y una media general para grados Brix de 9.2. En la Figura 13 se presenta la comparación de medias para contenido de azúcares en todos los genotipos establecidos en los tres ambientes de evaluación, entre los cuales no se refleja variación ni diferencias significativas para esta variable.

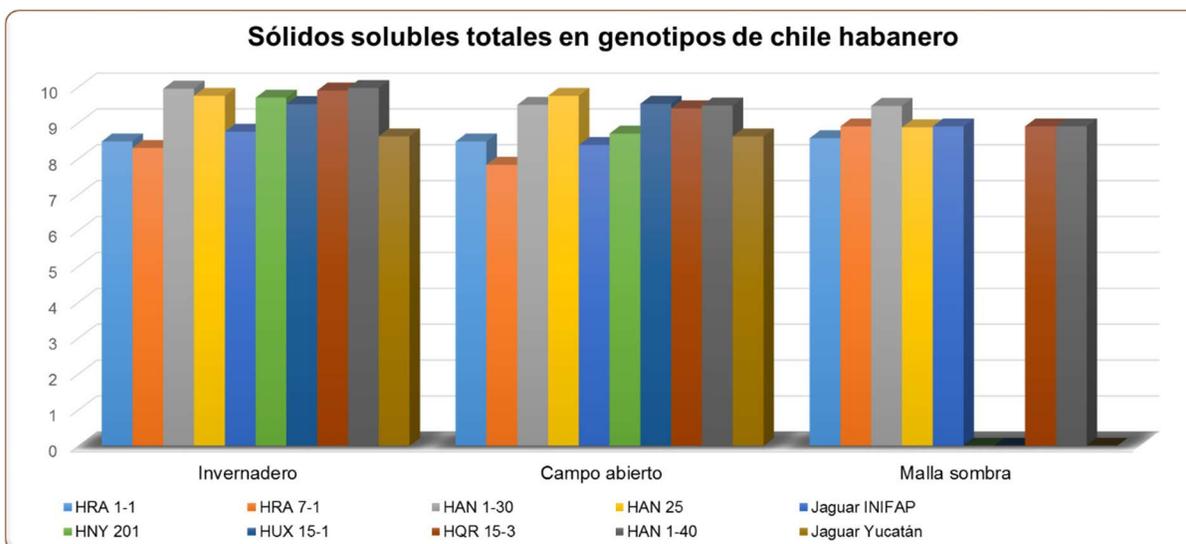


Figura 9. Contenido de azúcares en frutos de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) evaluados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Octubre de 2017 y 2018.

#### 4.3.3. Contenido de capsaicina

El contenido de capsaicina para cada genotipo presentó diferencias significativas para los ambientes de invernadero y campo abierto, mientras que los genotipos evaluados en malla sombra, no manifestaron diferencias significativas para esta variable. En invernadero y campo abierto se encontraron tres grupos heterogéneos (a, b, c), lo que indica que hay diferencias significativas entre los genotipos y la prueba de Tukey muestra heterogeneidad de varianzas (Cuadros 12 y 13). En la Figura 14 se observa la concentración de datos con respecto al contenido de capsaicina en todos los genotipos establecidos en invernadero, malla sombra y campo abierto. El ambiente que promovió mayor contenido de capsaicina fue la malla sombra en el valle de Mexicali. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Morales *et al.* (2018), quienes realizaron un estudio para la determinación de capsaicinoides en genotipos de chile habanero cultivados en invernadero, ellos reportaron que el contenido total de capsaicinoides más alto se presentó en el estado de madurez comercial de los frutos, con un promedio de 2.65 mg g<sup>-1</sup> de capsaicina. Por otra parte, Montoya *et al.* (2010) indican que en algunas especies de chiles, las mayores concentraciones de

capsaicinoides se presentan en frutos maduros, esto refleja el comportamiento de las diferencias de los genotipos evaluados, el ambiente juega un papel determinante en la concentración de capsaicinoides, ya que mientras las temperaturas sean más altas, mayor picor presentan los chiles, observamos la diferencia entre los resultados obtenidos en invernadero y campo abierto, en relación a los cultivados en casa sombra en el valle de Mexicali, tomando en cuenta las condiciones de calor extremo en verano, en donde las temperaturas oscilan entre los 40 y 50 °C. Borges *et al.* (2010), en su estudio sobre los capsaicinoides en chile habanero bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición, observaron una respuesta significativa para el contenido de capsaicina con la edad de la planta. Velasco *et al.* (2001) reportaron que al incrementar el contenido de N, P y K en chile jalapeño, la producción de capsaicina disminuyó, a la fecha se desconoce si el efecto tiene relación con la humedad y la nutrición en el cultivo.

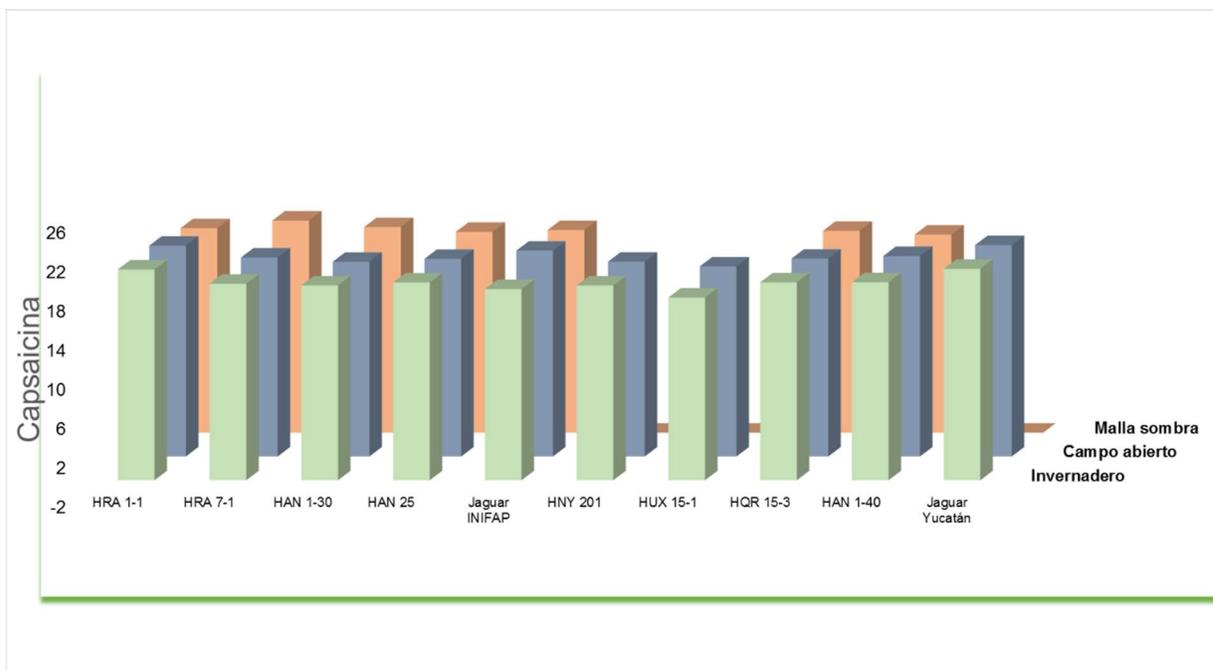


Figura 10. Contenido de capsaicina en frutos de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivados en invernadero, malla sombra y campo abierto en Baja California. Diciembre de 2017 y 2018.

Cuadro 14. Resultados de la comparación de medias para las variables de grados brix, vida de anaquel, contenido de capsaicina y pungencia en siete genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivados en malla sombra durante el ciclo 2018. Valle de Mexicali, Baja California.

Genotipos	SST <sup>1</sup> (°Brix)	VA <sup>2</sup> (días)	Ccaps <sup>3</sup> (mg g <sup>-1</sup> )	Pungencia (u. Scoville)
HRA 1-1	8.57 b*	43 bc	20.85 a	312,330 a
HRA 7-1	8.90 ab	41 c	21.63 a	324,000 a
HAN 1-30	9.47 a	51 a	20.96 a	314,000 a
HAN 25	8.87 ab	50 a	20.48 a	306,670 a
Jaguar INIFAP	8.90 ab	49 ab	20.67 a	309,670 a
HQR 15-3	8.90 ab	49 ab	20.58 a	308,330 a
HAN 1-40	8.90 ab	50 a	20.20 a	302,670 a

<sup>1</sup>Sólidos solubles totales; <sup>2</sup>Vida de anaquel; <sup>3</sup>Capsaicina.

\*Medias con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). 4.3.4. Unidades Scoville (US).

El valor del picor en cada uno de los genotipos se calculó mediante el método oficial de la AOAC (1995), donde 0.001 mg g<sup>-1</sup> de capsaicinoides equivale a 15 unidades Scoville. En los Cuadros 12, 13 y 14 se presentan los resultados de las medias para esta variable en cada uno de los genotipos de chile habanero cultivados en invernadero, campo abierto y casa sombra, respectivamente, de los cuales se obtiene una media general de 311,000 UE con un coeficiente de variación de 3.16% y una eficiencia relativa de 0.91, lo que indica que el diseño empleado no disminuyó el efecto del error experimental.

En los Cuadros 12, 13 y 14 se muestran los resultados de cantidad de unidades Scoville (picor) que presentaron los genotipos bajo estudio, estos resultados concuerdan con lo reportado por SIAP (2016), los cuales refieren que las unidades Scoville del chile habanero van desde las 100 mil hasta las 445 mil.

## **CAPITULO 5. CONCLUSIONES**

- ✓ El cultivo de chile habanero, cultivado bajo invernadero, campo abierto y casa sombra en el estado de Baja California, presentó buena adaptación a las condiciones agroclimáticas de las regiones agrícolas en las cuales se estableció, ya que presentó buen rendimiento, precocidad y calidad de frutos, y uno o más de los genotipos en evaluación se mostraron prometedores para fines comerciales.
  
- ✓ En la zona agrícola de San Quintín, los mejores genotipos de chile habanero cultivados bajo condiciones de invernadero fueron: HNY 201, HAN 1-30, HRA 1-1 y HAN 25, con relación a rendimiento y precocidad.
  
- ✓ De los genotipos de chile habanero cultivados bajo condiciones de campo abierto en la zona costa de Ensenada, los mejores materiales con relación a rendimiento y precocidad fueron: HRA 7-1, HNY 201, HAN 1-30 y HQR 15-3.
  
- ✓ De los genotipos de chile habanero cultivados bajo condiciones de casa sombra en el valle de Mexicali, los mejores materiales con relación a rendimiento y precocidad fueron: HRA 7-1, HAN 25, HAN 1-40 y HRA 1-1.
  
- ✓ La variedad Jaguar, con base en su comportamiento en los diferentes ambientes evaluados, sigue siendo una opción de semilla comercial para cultivarse en el estado de Baja California.

## CAPITULO 6. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. 2004. Plant pathology. Quinta edición. Editorial Limusa, México. 310 p.
- Andueza, N., Rangel, L., Latournerie, M., Rodríguez, R., Romero, R., Rojas, R., Licea, A., y García, G. 2013. Conservación de semilla de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo dos temperaturas de almacenamiento. Recuperado el 23 de junio de 2018. Disponible en:  
<http://reunionesnacionales.org.mx/rniaf.org.mx/2007/memoria/resumenes/hortalizas/hortalizas2.pdf>
- Araujo, D., Rodríguez, D., y Sanabria, M. 2008. Respuesta del hongo *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense*, causante del Mal de Panamá, a algunos extractos vegetales y fungicidas. Fitopatología Venezolana. 21(2):2-8.
- Aloni, B., Peet, M., Pharr, M., y Karni, L. 2011. The effect of high temperature and high atmospheric CO<sub>2</sub> on carbohydrate changes in bell pepper (*Capsicum annuum*) pollen in relation to its germination. Physiologia Plantarum, 112(4): 505-512.
- Arnold, E., y Stout, P. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants whit special reference to copper. Plant Physiology, 14(2):371-374.
- Arroyo, G., Mendoza, A., Bustamante, A., Bazante, I. y Suarez, A. 2018. Manejo agronómico en cultivares de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo invernadero. Acta Fitogenética, 5(1):189.
- Arroyo, G., Mendoza, A., Morales, A., Bazante, I. y Ramírez, M. (2018). Evaluación de rendimiento en cultivares de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en campo abierto. Acta Fitogenética, 5(1):189.
- AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemist. Capsaicinoids in capsicums and their extractives. Liquid chromatographic method. Official Method 995.03. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US96211667>. Recuperado el 11 de junio de 2019.
- Borges, G., Soria F., Casanova, V., Villanueva, C. y Pereyda, P. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. Agrociencia, 42:21-27.

- Barceló, C., Nicolás, R., García, B. y Sánchez, T. 2001. Fisiología Vegetal. Ediciones Pirámide. 566 pp.
- Bataglia, O., Ferreira, M., y Péssoa, M. 1991. Micronutrientes na agricultura. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. Piracicaba, São Paulo, Brasil. 734 pp.
- Berrow, M., y Burriedge, J. 1980. Inorganic pollution and agriculture. MAFF Reference Book. 326 pp.
- Berker, T. 2000. Multiplying seed of pepper lines. International cooperators' guide. Asian Vegetable Research y Development Center (AVRDC). p.40.
- Boiteux, L., Nagata, T., Dutra, W., and Fonseca, M. 1993. Sources of resistance to tomato spotted wilt virus (TSWV) in cultivated and wild species of *Capsicum*. Euphytica, 67:89-94.
- Borges, L. Moo, C., Ruíz, J., Osalde, M., González, C., Yam, C. y Can, F. 2014. Soils used for habanero chili production in Yucatán: predominant physical and chemical characteristics. Agrocienca, 48(4):347-359.
- Borket, C., Ferreira, M., y Péssoa, C. 1991. Manganese: Micronutrientes na agricultura. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. Piracicaba, São Paulo, Brasil. 734 pp.
- Bosland, P., y DeWitt, D. (1996). Peppers of the world: an identification guide. Berkeley, USA. Editorial Speed Press. 219 pp.
- Bosland, P. 1996. *Capsicums*: innovative uses of an ancient crop. Janick ASHS Press, Arlington. pp. 479-487.
- Bowen, J. 1979. Kinetics of boron, zinc and copper uptake by barley and sugarcane. International. Symposium. Trace elements stress in plants. Los Angeles, CA. 24 pp.
- Bray, R., y Kurtz, L. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science, 59:39-46.
- Brun, L., Maillet, J., Richarte, J., Herrmann, P., & Remy, J. 1998. Relationships between extractable copper, soil properties and copper uptake by wild plants in vineyard soils. Environmental pollution, 102:151-161.

- Cadahia, C. 1998. Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundiprensa. Madrid España. 681 p.
- Catalá, M., Martínez, M., Tomas, N., y Plata, E. 2008. Estudio de los factores que afectan la germinación y nacencia en los arrozales del Delta del Ebro. Técnica de Agrícola en Vergel: 288-294.
- CICY. 2019. Banco de Germoplasma de chile habanero, único en México: Centro de Investigación Científica de Yucatán. Boletín de Prensa No. 40, p.1. CICY. 2016. Banco de germoplasma de chile habanero, único en México. Disponible en: <https://www.cicy.mx/noticias-y-eventos/boletin-40-banco-de-germoplasma-de-chile-habanero-unico-en-mexico-cicy>. (Consultado el 25 de marzo de 2020).
- CONACYT. 2016. Chile habanero: del laboratorio al campo. Centros Públicos de Investigación CONACYT. Disponible en: <https://centrosconacyt.mx>. (Consultado en septiembre de 2018).
- CONAPROCH. (2002). Comité Nacional del Sistema Producto Chile. SAGARPA Disponible en: <http://www.conaproch.org.mx>. (Consultado el 17 de marzo de 2019).
- CONABIO. 2009. *Capsicum chinense* Jacq. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21809\\_especie.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21809_especie.pdf). (Consultado el 24 de junio de 2013).
- Davis, C., Markey, E., Busch, M., and Busch, K. 2007. Determination of capsaicinoids in habanero peppers by chemometric analysis of UV spectral data. Journal Agriculture. Food Chemistry, 55:5925-5933.
- De Souza, P., Egli, D. and Bruening, W. 1997. Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. Agronomy Journal, 89:807-812.
- Ebel, R. 2013. Producción extensiva de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a cielo abierto. España: Académica Española. 66 p.
- ECAO. 2002. Equipo de Consultoría para la Agricultura Orgánica. Manual de producción de chile habanero ecológico. Petén, Guatemala. 20 p.

- FAO. 1994. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Version 1.0.AGLS.FAO. Rome, Italy. Disponible en: <http://dof.gob.mx/>. (Consultado el 29 de marzo de 2020).
- FAO. (2019). Sistemas de producción agropecuaria. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: [http://www.fao.org/farmingsystems/description\\_es.htm](http://www.fao.org/farmingsystems/description_es.htm). (Consultado el 26 de noviembre de 2019).
- Fery, R., and Schalk, J. 1991. Resistance in pepper (*Capsicum annum* L.) to western flower trips (*Frankliniella occidentalis* P.). Hort. Science, 26(8):1073-1074.
- FIRCO. 2017. Fideicomiso de Riesgo Compartido. Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con denominación de origen. Disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/chile-habanero-con-denominacion-de-origen?idiom=es>. (Consultado el 19 de marzo de 2019).
- Flores, R., Rice, C., Stricker, G., y Ellis, M. 2008. Chemical and stable isotopic evidence for water/rock interaction and biogenic origin of coalbed methane. International Journal of Coal Geology, 76(1):76-85.
- Gardner, F., Pearce, B. and Mitchell, R. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. 327 p.
- Garruña, H., Latournerie, M., Ayala, G., Santamaría, J., y Pinzón, L. 2014. Pre-sowing treatments: an option to increase germination of habanero pepper seeds (*Capsicum chinense* Jacq.). Agrociencia, 48:413-423.
- García, F., Montes, S., Rangel, J., García, E., y Mendoza, M. 2010. Physiological response of chili piquín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) seeds to gibberlic acid and hot water. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (2):203-216.
- González, T., Casanova, C., Gutiérrez, L., Torres, L., Contreras, F., y Peraza, S. 2011. Uso de la flora y fauna silvestre - CICY. Chiles cultivados en Yucatán. Disponible en: <http://www.cicy.mx/sitios/biodiversidad/uso-de-la-flora-y-fauna-silvestre>. (Consultado el 19 de junio de 2019).

- González, M., y Orellana, P. 2003. Recolección de germoplasma de chile tipo habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el departamento del Peten. Disponible en: <http://ufdc.ufl.edu/UF00071960/00001>. (Consultado el 29 de noviembre de 2019).
- Guzmán, S., Pacheco, I., Chavira, M., Avilés, M., Hernández, M., & López, D. 2004. Análisis preliminar de compuestos fenólicos y capsaicinoides en variedades de chiles con diferente capacidad pungente. Primera Convención Mundial del Chile. Zacatecas, México. pp.115-122.
- Graña, M., Barral, M., y Guitián, F. 1991. Formas de cobre, níquel y zinc en horizontes superficiales de suelos. Suelo y planta, 1:467-482.
- Hacisalihoglu, G., and Z. Ross. 2010. The influence of priming on germination and soil emergence of non-aged and aged annual ryegrass seeds. Seed Science and Technology. 38:214-217.
- Hacisalihoglu, G., and Z. Ross. 2010. The influence of priming on germination and soil emergence of non-aged and aged annual ryegrass seeds. Seed Science and Technology, 38:214-217.
- Hernández, R., Martínez, V., Quinto, D., Cuevas, D., Acosta, O., y Águila, J. 2010. Secado de Chile Habanero con Energía Solar. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 10(2)120-127.
- Hernández, S., Sánchez, P. y Villarreal, M. 2006. Variación entre poblaciones y años: algunos factores que promueven o regulan la germinación de semillas en chile silvestre. 3<sup>ra</sup>. Convención Mundial de Chile. Chihuahua, México.105-111 pp.
- INTAGRI. 2017. Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México. 4 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal> (Consultado el 29 de noviembre de 2019)
- INTAGRI. 2019. Usos y Mejoramiento Genético de Chile Habanero en México. Serie Hortalizas, Núm. 15. Artículos técnicos de INTAGRI. México. p.3. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/usos-y-mejoramiento-genetico-de-chile-habanero-en-mexico>. (Consultado el 29 de noviembre de 2019).

- Jaimez, R. y Rada, F. 2016. Gas exchange, growth, flowering and fruit production in sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) along a thermal gradient determined by altitudinal differences in a tropical region. *Experimental Agriculture*, 52:251-265.
- Jensen M. H. and Malter A. J. 1995. Protected agriculture a global review. World Bank Technical Paper Number 253. Washington, D. C. USA. 157 p.
- Kvet, J., Ondok, J., Necas, J., y Jarvis, P. 1971. Methods of growth análisis. Plant photosynthetic production. Manual of methods. W. Junk Publishers. The Hague, The Netherlands. 36-46 p.
- Kraft, K., Brown, C., Nabhan, G., Luedeling, E., Luna, R., Coppens, G., and Gepts, P. 2013. Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, (*Capsicum annuum*) in México. Smithsonian National Museum of Natural History and Smithsonian Tropical Research Institute. Fairfax, Washington, DC. Disponible en: <http://www.pnas.org/content/111/17/6165.full.pdf+html>. (Consultado el 17 de abril de 2019).
- Latournerie, L., Chávez, J., Pérez, M., Hernández, C., Martínez, R., Arias, L., y Castañón, G. 2001. Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yaxcabá, Yucatán, México. *Revista Agronomía Mesoamericana*, pp.1-7.
- Latournerie, L., López, J., Castañón, G., Mijangos, J., Espadas, G., Pérez, A. y Ruiz, E. 2015. Evaluación agronómica de germoplasma de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agroproductividad*, 8:24-29.
- Ledón, V. 2008. Orgullosamente yucateco-denominación de origen del chile habanero. *Revista DESAFÍO*, 1(3):1-3.
- Lightbourn, R. 2011. Manejo del estrés por temperatura en los cultivos. I Congreso Internacional de Nutrición y Fisiología Vegetal Aplicadas. Guadalajara, Jalisco, México. pp. 99-112.
- Long, J. 1998. *Capsicum* y cultura: la historia del chile. México. Fondo de Cultura Económica. 2ª. Edición. pp. 77-78.
- López, T., Latournerie, L., Castañón, G., Ruiz, E., Gómez, J., Andueza, R., y Mijangos,

- J. 2018. Diversidad genética de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) mediante ISSR. *Fitotecnia Mexicana*, 41(3):227-236.
- López, P., Canto, A., & Santana, N. 2009. El reto biotecnológico del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Ciencias*, 60:30-35.
- Malveira, F., Lopes, R., Silva, B., Gomes, L., y Medeiros F. 2008. Morphologic characterization and genetic diversity of *Capsicum chinense* Jacq. Accessions along the upper Rio Negro-Amazonas. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 8:187-194.
- Mazuela, A. 2013. Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Idesia*, 31(2):3-4.
- Márquez, F. 1991. Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría, resultados. AGT Editores. México, D. F. Tomo II. 458 p.
- Márquez, F. 1992. Genotecnia Vegetal, Tomo I. AGT editor. pp: 153-157.
- Medellin, J., Howitt, R., Waller, C., Mendoza, L., Lund, J. & Taylor, J. 2009. A calibrated agricultural water demand model for three regions in Northern Baja California. *Agrociencia*, 43:83-96.
- Mendoza, A., Morales, A., Bazante, I. Vázquez, J., Escobosa, M., y Pedro, J. 2018. Evaluación de rendimiento durante la primera cosecha en genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en malla sombra. *Acta Fitogenética*, 5(1):184.
- Mendoza, O. 1991. La enseñanza de la fisiotecnia vegetal en el Colegio de Postgraduados y en la Universidad Autónoma de Chapingo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 4(2):109-120.
- Mendoza, A., Bazante, I., Ruíz, J., y Pedro, J. 2016. Análisis de rendimiento en un híbrido de chile habanero durante tres ciclos de evaluación. *Acta Fitogenética*, 3:124.
- Meneses, R., Garruña, R., Latournerie, L., Andrade, J., y Pérez, A. 2018. Caracterización fenológica y fisiológica de variedades experimentales de chile habanero con alto potencial agronómico. *Fitotecnia Mexicana*, 41(1):67-74.
- Montes, S., y Redondo, E. 1991. Chile (*Capsicum* spp.). Avance en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. SOMEFI. México. pp.217-238.

- Morales, S, Moreno, D., Trinidad, S., Vázquez, F., Ibáñez, A., y Tovar, J. 2020. Fenología y contenido de capsaicinoides en chiles producidos en condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3):663-675.
- Moreno, C., Moral, H., Pérez, M., & Pérez, E. 2000. Fundamentos de edafología y climatología. Universidad Miguel Hernández. España. p.395
- Moreno, J. 2005. Los valles agrícolas de Baja California; espacios de agricultura para la exportación. Plaza y Valdés S.A. de C.V. México. pp.65-67.
- Montiel, D. 2014. Nuevas técnicas de mejoramiento genético en plantas. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 2-44.
- Modarres, A., Hamilton, M. Dijk, L., Dwyer, D., Stewart, D., Mather, D. and Smith D.L. 1998. Plant population density effects on 48 maize inbred lines grown in short-season environments. *Crop Science*, 38:104-108.
- Navarro, G., y Navarro, B. 2000. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. p.488.
- Nuez, F., Gil, R., y Costa, J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. p.606.
- Ochoa, A. 2001. Usos y propiedades del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Fundación Produce Yucatán. SAGARPA, INIFAP. Mérida, Yucatán. pp. 2-4.
- Pacheco, M. 2005. Proceso de producción de chile habanero en salsa, a desarrollarse en el departamento del Petén. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Poot, J, Gómez, J., y Grillo, H. 2008. Manejo agroecológico de plagas en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) mediante barreras vivas en Tabasco, México. *International Information System for the Agricultural Science and Technology*, 2:248.
- Poehlman, J., y Allen, D. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa. México. 511 p.
- Pozo, O. 1981. Descripción de tipos y cultivares de chile (*Capsicum* spp) en México. Folleto técnico número 77. INIA-SARH, 40 p.

- Quintal, W., Pérez, A., Latournerie, L., May, C., Ruiz, E., y Martínez, A. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Fitotecnia Mexicana*, 35(2):55-160.
- R Development Core Team. 2019. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 6-900051-07-0, URL: <https://www.r-project.org/>
- Ramírez, G. y Lozano, M. 2018. Áreas potenciales para el establecimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en condiciones de riego en la península de Yucatán. *Revista del Centro de Graduados e Investigación*, 33(75):86-90.
- Ramírez, M., Pozo, C., y Rodríguez, L. 2003. Tecnología para inducir la germinación en chile piquín. 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, México. Publicación especial. Núm. 26. pp.35-36.
- Ramírez, J., Góngora, G., Pérez, M., Dzib, E., Leyva, M., e Islas, F. 2005. Síntesis de oportunidades e información estratégica para fijar prioridades de investigación y transferencia de tecnología en Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Estudio estratégico de la cadena agroindustrial: chile habanero. INIFAP, SAGARPA, ASERCA, CIATEJ, UNACH, CICY. Mérida, Yucatán, México. p.23.
- Ramírez, M., Arcos, G., y Méndez, R. 2018. Jaguar: cultivar de chile habanero para México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9:487-492.
- Ramírez, M., Arcos, G., Mata, H. y Vázquez, E. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Folleto Técnico. No. MX-0- 310302-11-03-14-09-28. Campo Experimental Las Huastecas, Centro de Investigación Regional del Noreste, INIFAP. Tampico, Tamaulipas. p.35.
- Ramírez, M., y Vázquez, G. 2007. Potencial de producción del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), en el sur de Tamaulipas. INIFAP. Campo Experimental Sur de Tamaulipas. Altamira, Tamaulipas, México. p. 200.

- Ramírez, J. 2002. Cultivo del chile. Disponible en línea. [http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio\\_espanol/doctos/chile.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/chile.html). (Consultado el 18 de diciembre del 2019).
- Ramírez, M. 1994. Gigante, Ébano y Paraíso. Nuevas variedades de chile serrano en México. Folleto Técnico número 10. CESTAM-CIRNE-INIFAP. p.30.
- Ramírez, M., Santana, N., Díaz, R. y Zúñiga, J. 2014. Nuevas variedades de chile habanero en México. Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán. pp. 06-20.
- Ramiro, C. 1986. Cruzamiento artificial en chile (*Capsicum annum* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. pp 45-57.
- Reyes, A., López, M., Ruíz, E., Latournerie, L., Pérez, A., Lozano, M., y Zavala, M. 2014. Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*, 48(3):293.
- Roselló, S., Jordán, C., y Nuez, F. 1994. El virus del bronceado del tomate (TSWV). Etiología y control. *Phytoma España*, 64:33-45.
- Ruiz, L., Medina, L., & Martínez, E. 2011. El chile habanero: su origen y usos. *Revista Ciencia*, pp.70-77.
- Robledo, P., y Martín, V. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 624.
- Saeed, M., Francis, C. and Clegg, M. 1986. Yield component analysis in grain of sorghum. *Crop Science*, 26:246-351
- Salaya, D. 2010. Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántula de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. pp. 11-12
- Santana, N. 2019. Banco de germoplasma de chile habanero, único en México: CICY. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Disponible en: <https://www.cicy.mx/component/k2/item/8483-boletin-40-banco-de-germoplasma-de-chile-habanero-unico-en-mexico-cicy>. (Consultado el 03 de agosto de 2019).

- Santana, N., Canto, A., Balam, E., Avilés, S., y Zetina, G. 2018. Mejoramiento genético de chile habanero: selección y registro de variedades mejoradas. Informe técnico, Centro de Investigación Científica de Yucatán. pp. 67-75
- Santana, N., Díaz, P., y Zúñiga, J. 2014. Chile habanero. Gaceta siidetey, 48:37.
- Santoyo, J. y Martínez, C. 2014. Tecnología de producción de chile habanero en casa sombra en el sur de Sinaloa. Centro de validación y transferencia de tecnología de Sinaloa y Fundación Produce Sinaloa. pp. 07-23.
- SENASICA. 2016. Agricultura protegida. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/conoce-que-es-la-agricultura-protegida?idiom=es>. (Consultado el 14 de diciembre de 2016).
- Shimray, A., Pranabjyoti, S., Anal, M., Debnath, P., Singh, R., Kharga, S., & Senjem, S. 2019. Effect of spacing and nutrient management on growth and yield of king chilli (*Capsicum chinense* Jacq.) grown under protected condition. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8(8):2761-2770.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Chile habanero de la península de Yucatán. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/index.php?option=comcontent&view=article&id.chile-habanero-de-lapeninsula-de-yucatan&catid=72:infogramas&Itemid=422>. (Consultado el 29 de noviembre de 2017).
- SIAP. 2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). (Consultado en agosto de 2017).
- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap> (Consultado en agosto de 2018).
- SIAP-SAGARPA. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Disponible en: [www.siap.sagarpa](http://www.siap.sagarpa) (Consultado el 29 de noviembre de 2019).

- SIAP-SAGARPA. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Disponible en: [www.siap.gob.mx/](http://www.siap.gob.mx/). (Consultado el 23 de octubre de 2018).
- Soto, R., Silvertooth, J., and Galadima, A. 2006. Crop phenology for irrigated chiles (*Capsicum annuum* L.) in Arizona and New Mexico. College of Agriculture and Life Sciences. The University of Arizona. Vegetable Report. Disponible en: <http://www.ag.arizona.edu/pubs/crops/az1419/contents.html>. (Consultado el 31 de mayo de 2019).
- Steel, R. G. D. y Torrie J. H. 1980. Principles and procedures of statistics. Mc. Graw-Hill, New York. p. 481.
- Torres, A., Morales, A., Ramírez, F., y Cervantes, L. 2017. Utilización de acolchado plástico y aplicación de hierro foliar en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivado en malla sombra infectado con virus. Acta Universitaria, 27(5):3-10.
- Trujillo, A. y Pérez L. 2004. Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Diversidad Varietal. Campo Experimental Uxmal, CIRSE-INIFAP. Folleto Técnico. p.24.
- Trujillo, J., Gutiérrez, A., y Pérez, L. 2004. Características morfológicas de flor y fruto de nueve genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) colectados en Yucatán, México. Primera Convención Mundial del Chile. pp. 37-42.
- Tun, D. 2001. Chile habanero: características y tecnología de producción. México: SAGARPA-INIFAP. Folleto Técnico. pp. 14-21.
- Tucuch, C., Alcántar, G., Ordaz, V., Santizo, J., & Larqué, A. 2012. Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y tamaño de partículas de sustratos. Terra Latinoamericana, 30(1):9-15.
- Uvalle, G. 1985. Técnicas de producción de cultivo de chile habanero en la zona Henequenera. Tesina de licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán, México. 43 p.

- Vázquez, P. y Navarro, M. 2018. Use of organic alternatives in the production system of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under greenhouse conditions. African Journal of Agricultural Research, 13(21):1091-1094.
- Villa, R., y Bracamonte, S. 2012. Procesos de aprendizaje y modernización productiva en el agro del noroeste de México: los casos de la agricultura comercial de la Costa de Hermosillo, Sonora y la agricultura orgánica de la zona sur de Baja California Sur. Estudios Frontera, 14(27):1-27.
- Vizual, M. 2011. El chile habanero. Disponible en: <http://www.chiles.habaneros.com>. (Consultado el 22 de Junio de 2019).
- Waizel, J., y Camacho, R. 2011. El género *Capsicum* spp. Revista Aleph Zero, 60:67-69
- Wall, M. 1994. Postharvest handling of fresh chiles. Coop. Extension Service. NMSU. Guide. p. 235.
- Watkins, J., y Cantliffe, D. 1983. Mechanical resistance of the seed coat and endosperm during germination of *Capsicum annuum* at low temperature. Plant Physiology, 2:46-150.
- Watkins, J., Cantliffe, D., Huber, D., y Nell, T. 1985. Gibberellic acid stimulated degradation of endosperm in pepper. Horticultural Science, 10(1):61-65.
- White, R. 2000. Principles and practice of soil science. The soil science. The soils a natural resource. Blackwell Science. 348 pp.
- Wurr, D., Fellows, J., and Phelps, K. 2002. Crop scheduling and prediction principles and opportunities with field vegetables. Advances in Agronomy, 6:201-234.