



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**PROGRAMA DE POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD**

GENÉTICA

**MEJORAMIENTO DE CHILE DE
ÁRBOL Y SOLEDAD A TRAVÉS DE
CRUZAS INTERVARIETALES**

MANUEL ARNULFO CORRALES RODRÍGUEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2018

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

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

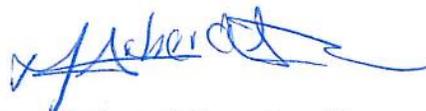
Mejoramiento de chile de árbol y soledad a través de cruzas intervarietales

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

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 29 de noviembre de 2018



Firma del
Alumno (a)



Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

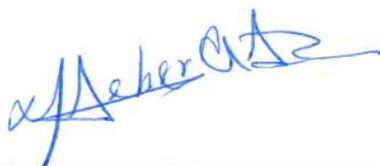
La presente tesis titulada: **Mejoramiento de chile de árbol y soledad a través de cruza intervarietales** realizada por el alumno: **Manuel Arnulfo Corrales Rodríguez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón

ASESOR



Dr. Tarcisio Corona Torres

ASESOR



MC. Moisés Ramírez Meraz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2018

MEJORAMIENTO DE CHILE DE ÁRBOL Y SOLEDAD A TRAVÉS DE CRUZAS INTERVARIETALES

Manuel Arnulfo Corrales Rodríguez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

Desde el punto de vista económico, en México, el cultivo de chile tiene una gran importancia ya que anualmente se utilizan para su producción aproximadamente 161 mil hectáreas, además, por ser centro de domesticación de *Capsicum annuum*, el país cuenta con una amplia diversidad reflejada en los más de 60 tipos de chile. La utilización de estos tipos de chile puede ser en verde o secos, existiendo aquellos que pueden ser usados de ambas formas o exclusivamente en una de ellas. Dos de los tipos de chile importantes son el chile de Árbol y el Soledad, el primero con origen en Jalisco, se ha extendido su producción desde hace más de 60 años a regiones como la costa de Nayarit y sur de Sinaloa, adquiriendo una distancia genética de estos últimos con los de Jalisco. En el caso del chile Soledad, de ser cultivado en el estado de Veracruz, se ha extendido a Oaxaca, Tamaulipas y norte de Puebla, en este último lugar, es posible que haya tenido cierta mezcla con el tipo de chile "Serranito". En la mayor parte de la superficie cultivada de chile en el país se utilizan materiales mejorados para la producción de los tipos de mayor importancia económica, y son relativamente pocas las variedades nativas de chile utilizadas. El mejoramiento genético se ha realizado exclusivamente de forma intra-tipo (dentro de razas), sin embargo, la utilización de cruzas inter-tipos (entre razas) para el mejoramiento genético es una opción. En el caso del chile de Árbol y Soledad, estos podrían ser utilizados en cruzas para incrementar la diversidad, con la ventaja de disminuir el problema de recuperar características como forma de fruto, dado que los dos tipos presentan formas muy similares. En trabajos previos se formaron dos poblaciones de chile de árbol (A3 y A4), dos de chile Cola de Rata (CR1 y CR2) y dos de chile soledad (S5 y S6), donde los dos primeros tuvieron su origen en los Altos de Jalisco, los dos siguientes en la costa de Nayarit y Sinaloa y los últimos en el norte de Puebla, cuyas cruzas presentaron una heterosis significativa. Con el objeto de determinar el posible potencial de las cruzas

inter-tipos (CRxA4, A3xS5 y A4xS6) en el mejoramiento de chile de árbol y soledad, se generaron las cruzas regresivas hacia ambos progenitores de cada craza, y se realizó un ciclo de selección a partir de cada población retrocruzada, así como de las tres cruzas poblacionales. Los cinco progenitores, tres cruzas simples, seis retrocruzas y nueve poblaciones producto del primer ciclo de selección se evaluaron bajo condiciones de campo. Las variables evaluadas fueron rendimiento, número de frutos por planta, peso por fruto, largo y ancho de fruto, grosor de pericarpio, días a floración, longitud de pedúnculo, altura de planta y cobertura de área foliar, con las cuales se realizó un análisis de varianza, una comparación de medias, un análisis de correlación de Pearson y se realizaron los contrastes entre progenitores con cada generación siguiente. En general la tendencia fue un incremento en rendimiento en las cruzas simples cuya heterobeltiosis fue significativa. Las seis cruzas regresivas presentaron un incremento con respecto a las cruzas simples, destacando CR(CRxA4) y S5(A3xS5). Finalmente, los nueve materiales generados del primer ciclo de selección, presentaron una disminución del rendimiento con respecto a las cruzas regresivas, superior a los progenitores y valores aproximados a las cruzas simples. En cuanto a los contrastes realizados para rendimiento, con respecto a los progenitores, tanto las tres F₁ como las seis cruzas regresivas y las nueve poblaciones del primer ciclo de selección fueron significativamente superiores. De acuerdo a lo anterior, es posible utilizar las cruzas intervarietales en el mejoramiento de chile de árbol y soledad.

Palabras clave: *Capsicum*, chile de árbol, chile soledad, mejoramiento genético, selección.

IMPROVEMENT TREE CHILI AND SOLEDAD CHILI THROUGH INTERVARIETAL CROSSES

Manuel Arnulfo Corrales Rodríguez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

From an economic standpoint, the cultivation of pepper in Mexico is very important due to the fact that, approximately, 161 thousand hectares are used for its production annually. Furthermore, because it is considered to be a center for the domestication of *Capsicum annuum*, the country possesses an ample diversity of pepper, reflected in the more than 60 different kinds available. These types of pepper can be used in their green or dry forms, including some that can be used in both of these states. Two of the most important types of pepper are the tree chili and the soledad chili, the first originating from Jalisco and having seen its production extended in the last 60 years to the regions of the coast of Nayarit and the south of Sinaloa, acquiring certain genetic differences from those grown in Jalisco in the process. Soledad chili was originally cultivated in the state of Veracruz, but this has extended to include the states of Oaxaca, Tamaulipas and Puebla; in the northern regions of the latter, it is possible that the soledad chili was merged with the pepper "serranito". In the greater part of the surface used for the cultivation of pepper in the country, improved materials are used for the production of those types of pepper that hold a greater economic importance, and very few native varieties of pepper are used in turn. Genetic improvement has been exclusively performed using intraspecies crosses, although the use of interspecies crosses is also an option. Both tree chili and soledad chili could be used in crosses to increase diversity, with the advantage that this diminishes the problem of retrieving certain characteristics of the fruit, such as its shape, given that both types present similar shapes. In previous works, two populations of tree chili were formed (A3 and A4), as well as two populations of "cola de rata" chili (CR1 and CR2), and two of soledad chili (S5 and S6). The first two came from the heights of Jalisco, the second two from the coasts of Nayarit and Sinaloa, and the last two from the north of Puebla; all populations presented a significant degree of heterosis. With the purpose of determining the possible potential of interspecies

crosses (CRxA4, A3xS5 and A4xS6) in the improvement of tree chili and soledad chili, regressive crosses towards both parents of each cross were generated, one selection cycle starting from each backcrossed population was realized, and another one starting from each of the three population crosses was performed. The five parents, three simple crosses, six backcrossings and nine populations produced by the first selection cycle were evaluated under field conditions. The variables evaluated were performance, number of fruits per plant, weight per fruit, fruit length, fruit width, pericarp thickness, blooming days, peduncle length, plant height, and foliar area coverage. These variables were used to perform a variance analysis, a measurement comparison, a Pearson correlation analysis, and contrasts among parents for each subsequent generation. In general, the observed trend was an increased performance in the simple crosses possessing a significant heterobeltiosis. The six regressive crosses presented an increased performance with respect to the simple crosses, with CR(CRxA4) and S5(A3xS5) standing out. Finally, the nine materials generated in the first selection cycle presented a decrease in performance with respect to the regressive crosses, but superior to the parents and with similar values to the simple crosses. Regarding the contrasts executed to measure performance with respect to the parents, all three F₁, six regressive crosses and nine populations of the first selection cycle were found to be significantly superior. According to these findings, it is possible to use interspecies crosses for the improvement of tree chili and soledad chili.

Key words: *Capsicum*, tree chili, soledad chili, genetic improvement, selection.

AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados**, en particular al postgrado de Recursos Genéticos y Productividad (Genética) por abrirme las puertas y continuar con mi formación académica.

Al pueblo de México quien a través del **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACyT) financió y me permitió realizar mis estudios de maestría.

Al **Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón**, profesor consejero, por haberme guiado con vocación y paciencia a lo largo de mis estudios.

Al **Dr. Tarsicio Corona Torres** por sus comentarios, revisiones de tesis, aportación de conocimientos a través de sus cursos.

Al **MC. Moisés Ramírez Meraz** por su valiosa colaboración para atender todas las dudas generadas a lo largo de la investigación y apoyo en los trabajos de campo realizados en las instalaciones del INIFAP.

A mis compañeros y amigos **Julio César Ayllón Benítez** y **Gildardo Pérez Mireles** por su amistad y compañía durante estos dos años de estudio.

A todos y cada uno de las personas que de alguna manera estuvieron a mi lado haciendo más agradable mi estancia en el COLPOS.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Gloria Mercedes Rodríguez Ruíz y Manuel Corrales Peña.

Por su apoyo incondicional que me han brindado hoy y siempre, por ellos soy quien soy, siempre serán mi ejemplo a seguir. Gracias por todo.

A MI HIJO

Luis Manuel Corrales Wong.

El motor que me impulsa siempre a seguir adelante.

A MIS HERMANOS

Wendy Susana e Ignacio Corrales Rodríguez.

Siempre los llevo en mi corazón.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
I- INTRODUCCIÓN	1
II- OBJETIVOS	4
2.1- Generales	4
2.2- Específicos	4
III- HIPÓTESIS	5
IV- REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1.- Importancia.....	6
4.1.1.- Importancia en México	6
4.1.2.- Chile Verde	8
4.1.3.- Chile Seco.....	8
4.2.- Origen y distribución	9
4.3.- Domesticación	10
4.4.- Taxonomía.....	11
4.5.- Descripción botánica del género <i>Capsicum annum</i> L.....	13
4.5.1.- Chile de Árbol.....	13
4.5.2.- Chile Soledad.....	14
4.6.- Problemática del cultivo de Chile.....	15
4.6.1.- Tecnología de producción	15
4.6.2.- Adaptabilidad	16
4.6.3.- Plagas y Enfermedades	17
4.7.- Mejoramiento Genético.....	17
4.7.1.- Mejoramiento convencional.....	17
4.7.2.- Ingeniería genética.....	18
4.7.3.- Mejoramiento actual.....	18
4.8.- Mejoramiento genético en especies autógamas.....	19
4.8.1.- Selección Masal	19
4.8.2.- Selección individual.....	20
4.8.3.- Selección Recurrente	20
4.8.4.- Hibridación	20

4.8.5.-Pedigrí	22
4.8.6.- Retrocruzas	22
4.8.7.- Descendencia de una sola semilla	23
4.8.8.- Mutación.....	23
4.9.- Antecedentes de cruzas inter-tipos de chiles de árbol y soledad	23
V- MATERIALES Y MÉTODOS	25
5.1.- Material vegetal	25
5.2.- Formación de cruzas regresivas	25
5.3.- Primer ciclo de selección	26
5.4.- Evaluación de progenitores, cruzas simples, retrocruzas y primer ciclo de selección.....	27
5.5.- Análisis estadístico	28
VI- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1.- Análisis de Varianza	30
6.2.- Rendimiento (REND)	32
6.3.- Número de frutos por planta (FXP)	35
6.4.- Peso por fruto (PXF)	37
6.5.- Largo de Fruto (LF).....	38
6.6.- Ancho de Fruto (AF)	39
6.7.- Grosor del Pericarpio (PERI)	41
6.8.- Días a Floración (FLOR).....	43
6.9.- Longitud de Pedúnculo (PEDU).....	45
6.10.- Altura de planta (ALT) y Cobertura de área foliar (COB).....	47
VII. CONCLUSIONES	51
VIII. LITERATURA CITADA.....	52

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. Progenitores y cruas simples, utilizados como material vegetal.....	25
CUADRO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de diez variables evaluadas a frutos en progenitores, cruas simples, retrocruas y primer ciclo de selección. Contrastes de progenitores Vs F1, Retrocruas, C1, C1F1 y C1Retrocruas.	31
CUADRO 3. Comparación de medias de las variables rendimiento, peso por fruto y número de frutos por planta y heterobeltiosis.....	34
CUADRO 4. Correlación de Pearson entre diez variables evaluadas a planta y fruto...	37
CUADRO 5. Comparación de medias de las variables largo de fruto, ancho de fruto y grosor de pericarpio y heterobeltiosis.	39
CUADRO 6. Comparación de medias de las variables floración y longitud de.....	44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Principales países productores de chile verde (toneladas ha ⁻¹).....	6
FIGURA 2. Principales países productores de chile seco (toneladas ha ⁻¹).	9
FIGURA 3. Diferentes complejos formados por especies del género <i>Capsicum</i>	12
FIGURA 4. A-) Frutos de chile Cola de Rata (CR), B-) Fruto de chile de árbol en verde, C-) Frutos de chile de árbol en etapa de madurez.	14
FIGURA 5. A-) Fruto de chile Soledad en verde, B-) Frutos de chile Soledad en etapa de madurez.	15
FIGURA 6. Cortes transversales de frutos de chile.....	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA 7. Frutos de chile Cola de Rata y chile de Árbol. A: población CR; B: población A4;.....	48
FIGURA 8. Frutos de chile de Árbol y chile Soledad. A: población A3; B: población S5;.....	49
FIGURA 9. Frutos de chile de Árbol y chile Soledad. A: población A4; B: población S6; C: F1(A4xS6);	50

I- INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum*, pertenece a la familia *Solanaceae* (Prohens and Rodríguez-Burruezo, 2010), con centro de origen en Sudamérica (Eshbaugh, 1993), está compuesto por 32 especies (Barboza, 2011), y de estas, cinco son domesticadas: *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* L., y *C. pubescens* Ruiz et Pav. (Pickersgill, 1991; Bosland, 1994). *C. annuum* es la especie más importante, tanto por la superficie cultivada en el mundo (Andrews, 1993), como por su valor nutricional y usos diversos como en la industria alimenticia, de cosméticos y medicinales; nuestros antepasados lo utilizaban como moneda, tributo y método de castigo (Eshbaugh, 1975; Long-Solís, 1986; Liu *et al.*, 2013).

C. annuum L. fue domesticada en México, y es por ello que su amplia diversidad en el país se compone de más de 60 tipos de chile (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). En cuanto a producción a nivel mundial, México ocupa el segundo lugar en producción de chile verde (3,297 millones de toneladas) y treceavo en chile seco (120 mil toneladas) (SIAP, 2018).

Los frutos de chile se pueden consumir tanto en seco como en verde (Pozo *et al.*, 1991; SIAP, 2018). Dentro de los chiles verdes más importantes se encuentran: los chiles jalapeño, morrón, poblano, serrano, pasilla, y en menos grado el chile de árbol y soledad. Estos tipos de chile en conjunto representan el 43.93% del área nacional cosechada. Los estados de mayor producción de chile verde en México son: Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas (SIAP, 2018). Por otra parte, los chiles secos más importantes son: el chile ancho, guajillo, pasilla, de árbol y puya. Entre los estados con mayor producción se encuentran: San Luis Potosí, Zacatecas y Oaxaca (SIAP, 2018).

Según estadísticas del SIAP (2018) para el cultivo de chile en México, se utilizan principalmente semillas mejoradas para la producción de los chiles más importantes económicamente, sin embargo, tipos de chile como el de árbol y soledad, de menor importancia económica, solo se utilizan materiales nativos o criollos. Es por ello, que la gran variabilidad morfológica y genética que existe de chile es poco aprovechada en programas de mejoramiento genético (Bosland y Votava, 2000), ya que independientemente de la metodología empleada, generalmente el mejoramiento se ha hecho de forma intra-tipo. Por tanto, existe la posibilidad de contar con diferentes tipos de chile como fuente de genes útiles para incrementar rendimiento o mejorar alguna característica en particular, y esto podría realizarse a través de retrocruzas limitadas tal como ha sido propuesto para maíz (Márquez-Sánchez, 2008).

Los tipos de chile de árbol y soledad (serranillo), son dos tipos de chile que tienen formas similares: delgados, elongados, puntiagudos y de tamaños entre 3-16 cm de largo (Zegbe-Domínguez *et al.*, 2012; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). En el caso del chile de árbol, puede ser comercializado tanto en verde como en seco, dado que su pericarpio permanece liso y firme, en tanto que en el chile soledad es comercializado exclusivamente en verde, ya que en seco no presenta una apariencia atractiva.

Dentro del tipo de chile de árbol han sido determinadas las diferencias genéticas entre poblaciones cultivadas por largo tiempo en regiones contrastantes, tales como las cultivadas en los Altos de Jalisco Vs las de la Costa de Nayarit y sur de Sinaloa, y cuyas cruzas han mostrado una heterosis significativa (Garfias, 2015), de aquí que, con la cruce de estas poblaciones podría incrementarse la variabilidad para iniciar un programa de selección, y dado que los chiles de árbol y soledad presentan forma de

fruto similar, puede ser posible mejorarlos recíprocamente, cruzando, retrocruzando y seleccionando estos materiales.

Por otro lado, previamente se hicieron colectas de chiles criollos del tipo Soledad de la zona serrana del estado de Puebla, así mismo del tipo de árbol en la zona que comprende los Altos de Jalisco y las costas del sur de Sinaloa y Nayarit, en estos últimos estados los chiles de árbol toman el nombre de Cola de Rata. Mediante un análisis molecular con microsatélites se comprobó la existencia de distancia genética entre ellos, a la vez, se realizaron cruzas inter-tipos entre los tipos de chile de árbol con soledad e intra-tipo cruzando chile de árbol de Jalisco con chile de árbol de Nayarit-Sinaloa, observándose heterosis significativa en ambos casos. Con tres de las cruzas antes mencionadas y sus progenitores se realizó el presente trabajo con los siguientes objetivos:

II- OBJETIVOS

2.1- Generales

- Determinar el potencial que tienen las cruzas entre chile de árbol y Soledad, al igual que las cruzas entre poblaciones de chile de árbol de distintas regiones en su mejoramiento genético.

2.2- Específicos

- Comparar, con respecto a los progenitores, el avance en la selección a partir de cruzas y retrocruzas de poblaciones de chile de árbol y soledad de distintas regiones.
- Comparar, con respecto a los progenitores, el avance en la selección a partir de cruzas y retrocruzas de poblaciones de chile de árbol de regiones contrastantes.

III- HIPÓTESIS

- Combinando parcialmente germoplasma de chile de árbol y soledad se pueden generar materiales que por selección se logren avances en el rendimiento sin que haya variación en las características morfológicas del fruto. Resultados similares se pueden obtener utilizando germoplasma del mismo tipo de chile de árbol, pero de regiones contrastantes para realizar las cruzas.

IV- REVISIÓN DE LITERATURA

4.1.- Importancia

Dentro de los cultivos más importantes en el mundo se encuentra el chile (*Capsicum* spp.), con una superficie cosechada que supera los 1.9 mil millones de hectáreas, que generan una producción aproximada de 34.5 mil millones de toneladas de frutos, lo cual, ubica el rendimiento mundial de chile en 17.79 t ha^{-1} . El continente asiático produce el 68.19% del total, donde destaca China como el principal país productor aportando 17,458,282 toneladas (FAOSTAT, 2016).

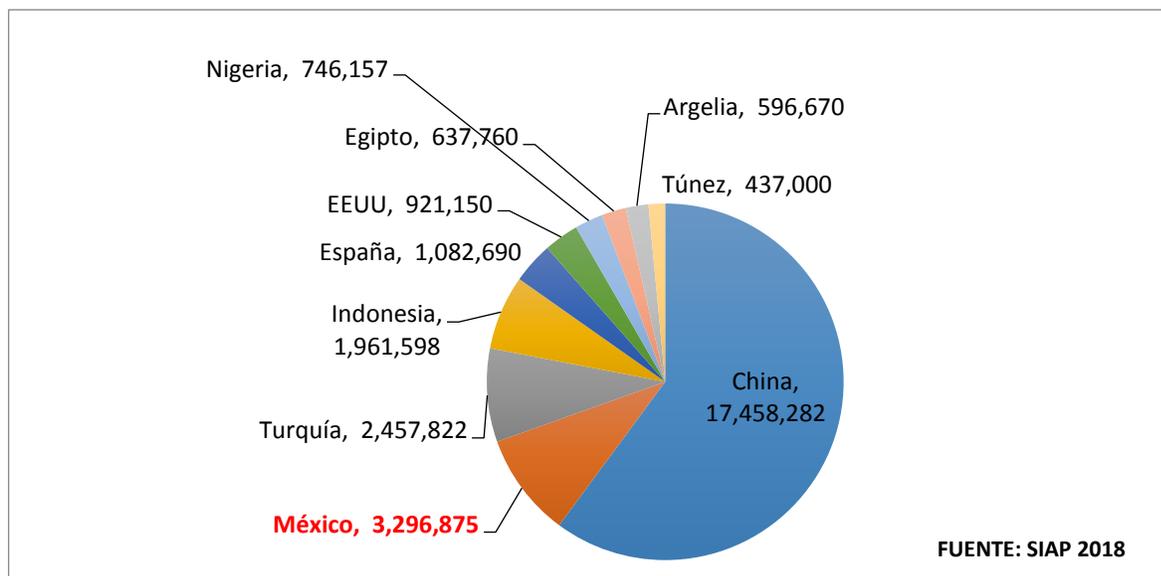


FIGURA 1: Principales países productores de chile verde (toneladas ha⁻¹).

4.1.1.- Importancia en México

México destina 26.9 millones de hectáreas para la agricultura en sus diversos tipos de cultivos, de las cuales solo el 0.60% está destinado al cultivo de chile (161 285 ha). Con esta superficie se posiciona en segundo lugar a nivel mundial en la producción de chiles en verde con 3.29 millones de toneladas cosechadas (Figura 1) (SIAP, 2018); con un promedio de 20.39 t ha^{-1} , y el 3er lugar en superficie cultivada (161,285 ha). Países

Bajos (306 t ha⁻¹), Bélgica (304 t ha⁻¹) y Reino Unido (282 t ha⁻¹) lideran los tres primeros lugares en cuanto a rendimiento por hectárea se refiere (FAOSTAT, 2016), debido a su producción en condiciones de agricultura protegida.

Andrews (1993) propone a *C. annuum* como la especie más importante por su contribución económica. En el 2017 México exportó gran parte de su producción a 13 países, de los cuales el 99.7% tuvo como destino Estados Unidos de América (1,053,000 toneladas) (SIAP, 2018).

El producto chileno tienen gran demanda en México, según datos del SIAP 2018 el consumo per cápita de Chile fue de 18.1 kg.

La participación de semilla mejorada va en aumento día con día debido a la baja rentabilidad de los cultivares criollos o nativos, del total de la producción en el 2017 el 91.5% fue con semilla mejorada y solo el 8.5% con semilla criolla (SIAP, 2018).

En México el consumo de chiles forma parte de las tradiciones y culturas mexicanas, ya que los frutos de chiles se han utilizado desde hace más de 8000 años. Se pueden consumir tanto en verde como secos o pueden ser utilizados para la extracción de colorantes y oleoresinas para fines industriales.

El cultivo de chiles en la actualidad ha tomado gran importancia por las amplias propiedades para la salud humana, por ejemplo, contribuye en beneficios para el corazón, ya que funciona como anticoagulante natural que previene la posibilidad de un ataque cardíaco, estimula el sistema circulatorio y baja los niveles de presión arterial, además, tiene efectos antiinflamatorios, anti-irritantes y contribuye a la prevención del dolor (Kim *et al.*, 2009). Sin embargo, el interés en este cultivo no se centra únicamente en su importancia en la salud humana, también sobresale su importancia económica, ya

que la extracción de capsaicina es utilizada para la elaboración de cosméticos, pinturas, colorantes, así como también se usa para la elaboración de gases irritantes usados como defensa personal, y en programas de mejoramiento (Kraft *et al.*, 2014).

A nivel global se ha aumentado el consumo de chile, dado que es una de las principales especies con un alto contenido en vitamina A, B6 y C, así como también antioxidantes, flavonoides, β -caroteno, anticancerígenos y saborizantes; además de pigmentos, oleoresinas y alcaloides con potencial insecticida para su procesamiento industrial, entre otros (Liu *et al.*, 2013).

4.1.2.- Chile Verde

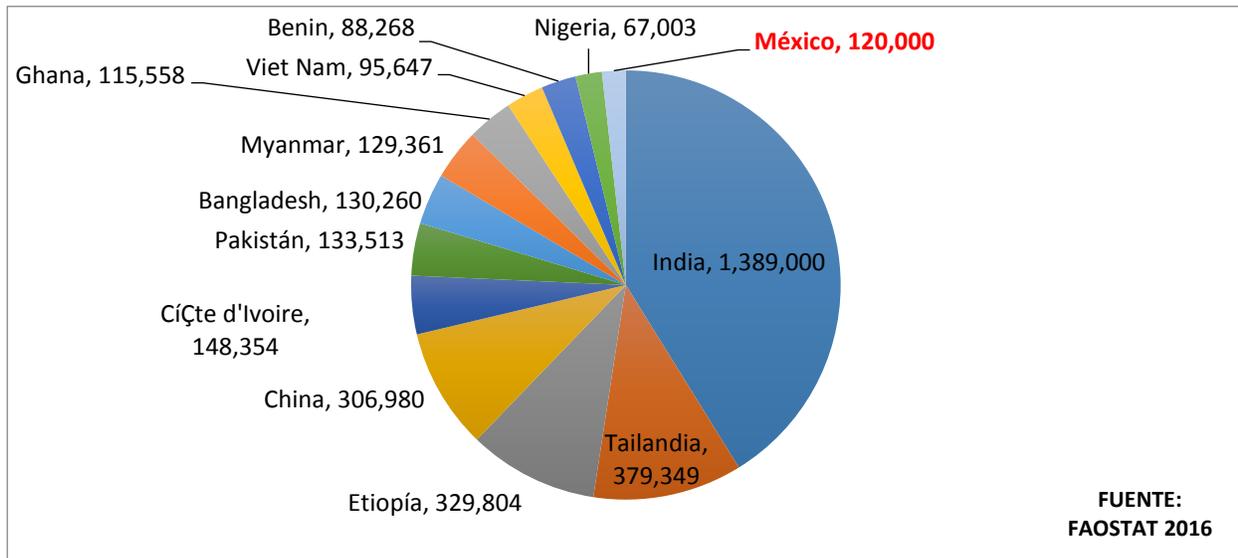
Los diversos tipos de chile pueden clasificarse en dos categorías dependiendo sus usos: chile verde y chile seco. Dentro de los primeros, los más importantes en México son: el chile jalapeño, morrón, poblano, serrano, pasilla, y en menos grado el chile soledad y chile de árbol. Por otro lado, en el caso del chile Soledad, su consumo es exclusivamente en verde, y se produce en los estados de Veracruz, Oaxaca, Tamaulipas y Puebla.

Las producciones de estos tipos de chile en conjunto aportan el 43.93% del área nacional cosechada. Los estados que destacan en producción de chile verde en México son: Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas (SIAP, 2018).

4.1.3.- Chile Seco

Para la producción de chile seco se destina aproximadamente 1.8 millones de hectáreas alrededor del mundo, con una producción promedio de 2.18 t ha⁻¹, donde Asia es el continente que más aporta esta especia. India produce 1,389,000 toneladas de chile seco, posicionándose como el principal productor de chile seco, Así mismo,

México ocupa el 13vo lugar en producción (120 mil toneladas) de chile seco (Figura 2), y los chiles secos que más se cultivan en el país, dada su importancia son: el chile ancho, mirasol o guajillo, puya y el chile de árbol. Los estados con la producción más



alta de chile seco son: San Luis Potosí, Zacatecas y Oaxaca (SIAP, 2018).

FIGURA 2. Principales países productores de chile seco (toneladas ha⁻¹).

El chile de árbol se puede consumir tanto en verde como en seco, los estados con más producción de este tipo de chile son: San Luis Potosí, Zacatecas y Oaxaca. (SIAP, 2018).

4.2.- Origen y distribución

En 1977 Eshbaugh, propuso que Bolivia es el centro de origen del género *Capsicum*, así también que las especies que han sido domesticadas provienen de esta zona geográfica.

El género *Capsicum* pertenece a la familia *Solanaceae* (Prohens and Rodríguez-Burruezo, 2010) y está compuesto por 32 especies reconocidas (Barboza, 2011), aunque solo 12 son utilizadas por el hombre (López-Riquelme, 2003). La mayoría de

ellas tiene su origen en el Sur de América (Eshbaugh, 1993), donde 22 de estas se consideran endémicas (Pickersgill, 1984).

C. annuum es la especie con mayor distribución en todo el mundo, por su amplia adaptabilidad a condiciones climáticas y edáficas, es posible encontrar esta especie desde el nivel el mar hasta los 2500 msnm de altitud (Zegbe-Domínguez *et al.*, 2012), es por ello la amplia diversidad morfológica de sus frutos.

4.3.- Domesticación

Existe evidencia sobre la posible domesticación del cultivo de chile en México, dado que se han encontrado restos de ellos en una cueva en el valle de Tehuacán, en el estado de Puebla, con antigüedad de hace aproximadamente 6000 A. C. (Pickersgill, 1969).

De las especies conocidas del genero *Capsicum*, cinco han sido domesticadas: *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* L., and *C. pubescens* Ruiz et Pav. (Pickersgill, 1991). Se reconocen al menos dos posibles regiones de domesticación: la primera es Mesoamérica con las dos primeras especies mencionadas y la segunda es América del Sur abarcando el resto de las especies domesticadas (Pickersgill, 2007).

En particular la especie *C. annuum* se cree que debió sufrir un proceso de domesticación en algún lugar de México (Kraft *et al.*, 2014). Varios estudios realizados con especies silvestres, domesticadas y semi-domesticadas, mediante el uso de isoenzimas y marcadores moleculares sugieren que México es el principal centro de domesticación de *C. annuum*; con tres posibles centros de domesticación, el primero y

más importante comprende los estados de Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo y Veracruz; el segundo centro está en la región Noroeste de México en el estado de Nayarit y el tercero en el estado de Yucatán (Loaiza-Figueroa *et al.*, 1989; Hernández, 1997; Aguilar-Meléndez *et al.*, 2009; Kraft *et al.*, 2014). Por otro lado, cabe mencionar que la domesticación de las plantas generalmente va acompañada por una reducción en su diversidad genética, esto como consecuencia del cuello de botella genético causado por la formación de un nuevo material de cultivo (Eyre-Walker *et al.*, 1998). Después que las plantas se consideran domesticadas, le procede una nueva reducción en su variación genética causada por el mejoramiento moderno de plantas (Tanksley y McCouch, 1997).

4.4.- Taxonomía

La taxonomía del género *Capsicum* desde sus inicios ha sido motivo de desacuerdos puesto que la incorporación de especies a dicho género se ha dado gradualmente después de ser instituido por Tournefort el término *Capsicum* en el año 1700 (Bravo, 1934), posteriormente Linneo en 1737 incluyó al género las especies *C. annuum* y *C. frutescens*, y 40 años más tarde añadió dos especies más: *C. baccatum* y *C. grossum* (Smith and Heiser, 1951).

Dentro del género *Capsicum*, podemos descomponer en dos grupos a sus especies, en donde la mayoría de ellas predomina el número cromosómico diploide $2n=2x=24$, a excepción de una especie (*C. ciliatum*) con número cromosómico básico $n=13$ (Pickersgill 1977, 1991); actualmente existen un estudio que refuerza la existencia de 13 especies con $2n=2x=26$ (Moscone *et al.*, 2007). Por otro lado, en especies

poliploides del género *Capsicum* hay poca investigación, aunque no es una rareza actualmente encontrarlos cultivados de forma tradicional ya que en un estudio realizado por Baran *et al.*, (2017) en Bengala Occidental, India, encontraron un cultivar poliploide ($2n=4x=48$) llamado "Dalle Khursani" que se cultiva desde hace más de cuatro décadas. Las especies del género *Capsicum*, comúnmente las podemos ver agrupadas en tres complejos para su diferenciación con base en la citogenética y la fertilidad cruzada: el primero es el complejo *Capsicum annuum* que comprende las especies *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, sus parientes silvestres y *C. galapagoense* Hunziker (Figura 3); entre estas especies existe un alto potencial de cruzamiento, aunque la compatibilidad puede verse afectada por factores como por ejemplo la dirección de los cruces (Panda *et al.*, 2004); el complejo *Capsicum pubescens* reúne especies silvestres y solamente a una especie domesticada: *C. pubescens*; y por último el complejo *C. baccatum* reúne las especies del complejo *Capsicum annuum* y las especies *C. baccatum* var. *pendulum*, y a *C. pubescens* (Pickersgill, 1991).

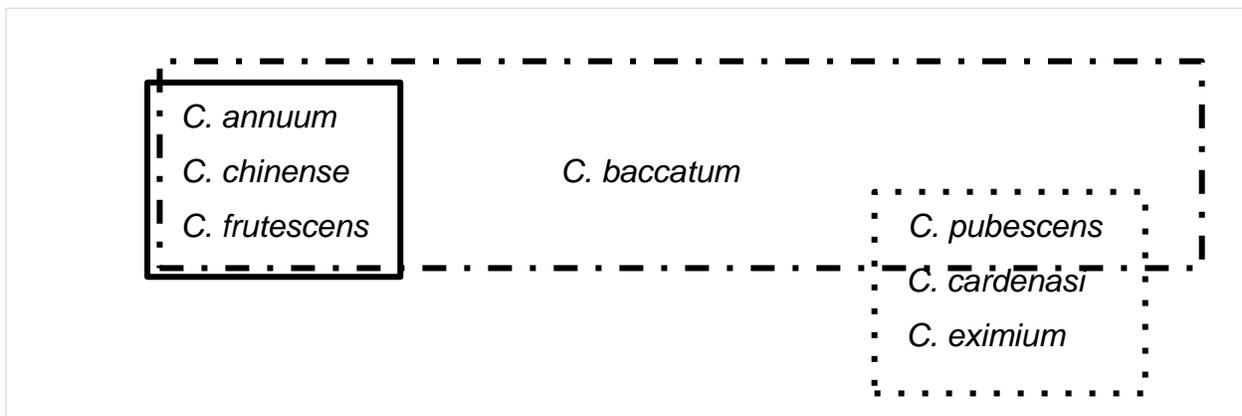


FIGURA 3. Diferentes complejos formados por especies del género *Capsicum*.

Actualmente existe un gran déficit en el aprovechamiento de los bancos de germoplasma y variedades comerciales para su utilización en programas de

mejoramiento genético, aunque poco a poco está llamando el interés de los fitomejoradores (Nascimento *et al.*, 2015; Rêgo *et al.*, 2015) ya que hay una gran variabilidad genética dentro y entre los distintos tipos de chile que ha sido caracterizada a través de: color, forma, longitud, sabor, aroma y nivel de pungencia (Bosland y Votava, 2000) que depende mayormente de las preferencias del consumidor, pero deben ser explotadas ya que la mayoría de los programas de mejoramiento de especies del género *Capsicum* se centran en variedades no pungentes y resistencia a factores bióticos que afectan el cultivo de chile (Ortiz *et al.*, 2010).

4.5.- Descripción botánica del género *Capsicum annuum* L.

Las plantas del género *Capsicum annuum* son de ciclo anual, con alturas que varían de 50-100 cm o en ocasiones más, esta especie posee numerosas ramas en forma erecta, angulosas y en ocasiones glabro o pubescentes, provistas de hojas ovadas, acuminadas o elípticas, de dimensiones variables, presenta pedúnculos solitarios, corola blanca aunque una variedad presenta manchas de color púrpura. El fruto es muy variable en cuanto a su forma, tamaño, color y sabores (Nuez *et al.*, 2003; Bravo, 1934).

4.5.1.- Chile de Árbol

Los frutos del cultivo de chile de árbol no crecen en forma de árbol como su nombre lo sugiere, aunque la planta es regularmente más alta que el promedio de las otras variedades. Son frutos de forma alargada y delgados, aproximadamente 6-16 cm largo y 0.2-1.0 cm de ancho (Figura 4), su superficie es de color rojo brillante y posee un pericarpio delgado (Zegbe-Domínguez *et al.*, 2012). Regularmente su consumo es en seco, aunque también se puede consumir en verde, se considera una raza de chiles

muy picante. Este cultivo lo podemos encontrar cultivado principalmente en las zonas de los altos de Jalisco, aunque también se cultiva en las costas de los estados de Nayarit y el sur de Sinaloa en donde toma el nombre de "Cola de Rata" (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).



FIGURA 4. A-) Frutos de chile Cola de Rata (CR), **B-)** Fruto de chile de árbol en verde, **C-)** Frutos de chile de árbol en etapa de madurez.

4.5.2.- Chile Soledad

Normalmente este tipo de chile se cultiva en condiciones de temporal en los meses de agosto-marzo en los estados de Puebla, Veracruz y Oaxaca y para su siembra solo se utiliza semilla criolla. La morfología del chile soledad es de textura lisa, color verde intenso antes de la madurez y rojo brillante en su madurez, sus frutos son bayas de forma elongada (Figura 5) y su pericarpio tiene un espesor de 1.0-2.0 mm, posee un

pedúnculo corto (3 cm aprox.) y glabro a pesar de que la planta presentar vellosidad en sus tallos y hojas. Esta raza de chile se consume exclusivamente en verde (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).



FIGURA 5. A-) Fruto de chile Soledad en verde, **B-)** Frutos de chile Soledad en etapa de madurez.

4.6.- Problemática del cultivo de Chile

El cultivo de chiles en México enfrenta una serie de problemas del tipo biológico, social, y económico que ocasionan una limitada producción en los rendimientos de los cultivares de chile (Zegbe-Domínguez *et al.*, 2012).

4.6.1.- Tecnología de producción

En México, el cultivo comercial de chile se puede clasificar en dos categorías contrastantes, que van desde altamente tecnificadas y sofisticadas en la región norte

del país en donde sobresalen los estados de Sinaloa y Sonora, hasta las plantaciones con sistemas de producción tradicional a consecuencia de la falta de infraestructura, apoyo económico, capacitación a productores, etc. Según datos del SIAP (2018), actualmente se puede observar una proporción aceptable de tecnificación en los campos de cultivo, ya que podría ser considerado una alternativa para aumentar la producción, dado que en el 2017 el 84.5% de los cultivos se sembraron en condiciones de campo abierto y el 15.5% fueron de agricultura protegida de la cual el 9.2% fue malla sombra y el 6.3% invernadero.

4.6.2- Adaptabilidad

Los materiales criollos o nativos generalmente son portadores de una proporción de genes que favorecen su adaptación a la zona donde comúnmente se cultivan, adquirida a través de generaciones de cultivo echas a partir de selección por el mismo productor, así mismo, contienen mayor diversidad de genes con resistencia a las principales plagas y enfermedades.

Por otro lado, los materiales criollos generalmente presentan un nivel de producción bajo; por tanto, cuando se realiza mejoramiento sobre dichos materiales se seleccionan los más promisorios en cuanto a rendimiento, comportamiento agronómico y calidad, sin embargo, estos materiales no presentan la misma respuesta favorable en múltiples ambientes a causa de la relación ambiente-planta (Carrillo *et al.*, 1991), es por ello que el uso de materiales mejorados esta relativamente reducido a ciertas zonas geográficas del país.

Actualmente los productores con cultivos tecnificados demandan semilla de alta competitividad y para ello importan semilla mejorada de Estados Unidos y otros países;

en México del total de la superficie cultivada de chile, el 8.5% utilizó semilla criolla o nativa y el 91.5% provino de semilla híbrida (SIAP, 2018).

4.6.3.- Plagas y Enfermedades

Las plagas y enfermedades son una limitante en la producción de chiles por las pérdidas económicas que estas generan. En relación a las enfermedades virales, estas comenzaron a tener importancia en México a partir de 1966, cuando se registraron las primeras pérdidas en el cultivo de chile "Serrano" en el estado de Tamaulipas (Galindo, 1971). Desde entonces, se ha registrado un aumento constante en la incidencia de este problema (Lee *et al.*, 2009; Laborde y Pozo, 1982), el cual en la actualidad se ha expandido a gran parte del país.

La marchitez del chile, causada por *Phytophthora capsici*, se considera el factor limitante más importante en la producción de chiles a nivel nacional (Ezziyyania *et al.*, 2005) y responsable de grandes pérdidas que podrían llegar hasta el 100% en la producción de chile (Ordoñez *et al.*, 2000).

4.7.- Mejoramiento Genético

4.7.1.- Mejoramiento convencional

El mejoramiento genético convencional se fundamenta en la selección artificial y cruzamientos (Méndez y Garro, 2018) para la obtención de caracteres deseables como: color, sabor, tamaño, rendimiento, precocidad, calidad, resistencia, etcétera, expresados en la progenie para fijar dichos caracteres en las siguientes generaciones (Villalobos, 2011).

4.7.2.- Ingeniería genética

Un aspecto importante para el mejoramiento genético de un cultivar consiste en la caracterización morfológica del germoplasma silvestre para su utilización, por lo tanto, las técnicas moleculares como marcadores microsatélites (SSR), AFLP y RFLP para la resolución de mapas genéticos, son de gran apoyo para conocer la diversidad genética dentro del género *Capsicum* (Ibiza *et al.*, 2012; Portis *et al.* 2006).

Actualmente se está generando una nueva era en el mejoramiento con la técnica de edición génica (CRISPR-cas), que facilitan la manipulación de genomas eucariotas, obteniendo cambios precisos y controlados de las secuencias génicas a partir de un sistema de enzimas de restricción que facilitan la obtención de características deseadas (Méndez y Garro, 2018; Ran *et al.*, 2013).

4.7.3.- Mejoramiento actual

El mejoramiento genético actual utiliza métodos de mejoramiento convencionales, basados en la selección y cruzamientos, apoyándose en el uso de la ingeniería genética y la biotecnología para ser más específicos al momento de mejorar algún carácter en un cultivo, el mejoramiento con fines comerciales (casas semilleras) está enfocado en la hibridación, y las instituciones gubernamentales (INIFAP) centran sus investigaciones en mejoramiento de variedades.

A pesar de los avances tecnológicos, en el cultivo de chile el progreso es demasiado lento en comparación con cultivos en otros géneros como por ejemplo el tomate, esto posiblemente porque el genoma del chile es mayor que el del tomate, en proporción 3:1 como lo reportan Park *et al.*, (2011) al comparar los genomas de tomate y chile mediante la acumulación de elementos "Ty3/Gypsy-like".

4.8.- Mejoramiento genético en especies autógamas

El mejoramiento de la gran mayoría de plantas autógamas se basa en la obtención de líneas puras, que una vez seleccionadas por sus características de rendimiento, adaptabilidad y de calidad, pasan a la categoría de variedades mejoradas (Márquez, 1988). El género *Capsicum* pertenece a las plantas con sistema de reproducción autógama, se pueden encontrar en forma homogénea o heterogénea, por tanto, dicha heterogeneidad es a causa de la segregación de algunos loci mutantes o de cruces naturales (Vallejo y Estrada, 2002).

En los cultivos con tipo de reproducción autógama, la heterosis no es bien aprovechada, no por la ausencia de esta, sino por los problemas en el momento de la producción masiva de semilla F_1 , entonces una alternativa es generar líneas puras para su aprovechamiento económico utilizando solo los efectos aditivos y los epistáticos de tipo aditivo X aditivo, con la ventaja de aún explotar efectos de heterosis al momento de hacer cruzamientos de dos líneas puras (Márquez, 1988).

Existen varios métodos utilizados para el desarrollo de un cultivar para plantas autógamas, los cuales son determinados por los objetivos del programa de mejoramiento (Bosland and Votava, 2000) y la existencia de variación genética de las poblaciones utilizadas como base.

4.8.1.- Selección Masal

Este método está basado ampliamente en el fenotipo que expresa el cultivar, para ello las poblaciones deben de contar con variabilidad genética y alta heredabilidad, para ser evaluados en ambientes en donde expresen sus rasgos y así poder realizar selección

hacia el rasgo de interés (Rêgo y Rêgo, 2016). La selección masal consiste en seleccionar las semillas de los frutos de las mejores plantas, guardándolas para cultivarlas la siguiente temporada, así las plantas mejores adaptadas a un área geográfica específica son seleccionadas para formar miles de cultivares mejorados (Bosland and Votava, 2000).

4.8.2.- Selección individual

La selección individual en comparación con la selección masal está dada en que en la primera se seleccionan ambos progenitores y en la selección masal solamente el materno. En plantas autógamias se seleccionan ambos progenitores puesto que se encuentran los dos sexos en una misma planta, y a diferencia de plantas alógamas, los progenitores de estas tienen el grado máximo de parentesco. (Márquez, 1988).

4.8.3.- Selección Recurrente

La selección recurrente es un método que involucra selección individual de plantas en una población, seguido de entrecruzamiento para formar una nueva población (Bosland and Votava, 2000).

Este método ha sido utilizado para el desarrollo de cultivares de chiles resistentes a *Verticillium dahliae* y *Phytophthora capsici* (Palloix *et al.*, 1990a,b).

4.8.4.- Hibridación

La hibridación es una estrategia para potencializar el mejoramiento genético, la cual permite obtener mejores rendimientos con poca interacción ambiental y una amplia adaptabilidad en cruces simples o dobles (Morfin, 1990), este procedimiento también es utilizado para la inserción de genes que proporcionen rasgos deseables a plantas cultivadas (Gonçalves *et al.*, 2011). La hibridación consiste en transferir polen de las

anteras de una planta macho o donadora, al estigma de otra femenina, previniendo la autopolinización a través de la emasculación de las flores, después de depositar el polen en el estigma de las flores, esta es etiquetada; una vez que el fruto esté en etapa de madures fisiológica se cosecha y la semilla es colectada (Bosland and Votava, 2000). La hibridación puede provenir de poblaciones tanto de la misma como de distintas especies, por lo tanto, puede tener el genotipo y fenotipo adecuados a los objetivos que se persigan, como aprovechar la F_1 como el paso inicial o intermedio para aplicar algún otro método de mejoramiento; por tal motivo las poblaciones pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedades sintéticas o también las poblaciones F_1 (Márquez, 1988).

La hibridación también puede darse de forma natural con el paso del tiempo y la cercanía entre cultivares, un ejemplo de ello es el chile más picoso del mundo llamado “Bhut Jolokia” (1,001,304 SHU), resultado de la hibridación natural interespecífica de *C. chinense* y *C. frutescens* (Bosland y Baral, 2007).

- **Heterosis**

El vigor híbrido o heterosis es un término utilizado en el mejoramiento de plantas o animales que consiste en exceder los límites impuestos por los progenitores en el comportamiento del rendimiento o algún rasgo en particular de la progenie (Falconer, 1981). Para obtener una óptima heterosis en un programa de hibridación es necesario que los progenitores sean divergentes o no emparentados genéticamente, lo que se conoce como grupos heteróticos (Hallauer y Miranda 1988).

En evidencia documentada sobre trabajos en maíz donde se menciona su origen,

hacen referencia de la selección participativa por parte de indígenas y posteriormente campesinos, para formar razas de maíz, que haciendo cruza interracial fueron dando origen a razas modernas de maíces, de las cuales se han obtenido actualmente híbridos altamente rendidores (Márquez-Sánchez, 2008).

4.8.5.-Pedigrí

Este método es considerado el método clásico en el mejoramiento de plantas autógamias (Márquez, 1988), se basa principalmente en la hibridación para obtener un número determinado de plantas a partir del cual se comenzará a hacer selección individual en la F_2 , una vez que el fruto esté en etapa de madures fisiológica se cosecha y la semilla es colectada. El método pedigrí involucra autofecundaciones así como el registro de ascendencia de cada planta seleccionada individualmente dentro y entre líneas (Bosland and Votava, 2000; Fehr, 1987).

4.8.6.- Retrocruzas

Las retrocruzas o cruza regresivas son un método muy efectivo para la transferencia de uno o varios genes. Consiste en usar un progenitor "elite" como progenitor recurrente, así como un progenitor donador con un carácter de interés (Bosland and Votava, 2000).

A partir de la generación F_1 , se realizan cruzamientos hacia el progenitor recurrente para recuperar genes de un tipo específico de chile. Un caso específico de retrocruza es el propuesto por Márquez-Sánchez (2008) al realizar mejoramiento sobre maíces criollos, donde realiza únicamente un ciclo de retrocruzamiento para generar variabilidad genética y posteriormente efectuar selección, lo cual llamó "retrocruzas limitadas".

Un ejemplo de éxito de mejoramiento por retrocruzamiento es el cultivar “Greenleaf Tabasco”, resistente al virus jaspeado del tabaco (TEV), hecho a partir de la hibridación interespecífica de *C. chinense* y *C. frutescens* seguido de retrocruzamiento repetido hacia *C. frutescens* (Greenleaf *et al.*, 1970).

4.8.7.- Descendencia de una sola semilla

Esta metodología consiste en el avance de generaciones sin recurrir a la selección, este avance puede realizarse en condiciones de invernadero (Fehr, 1987), puede ser utilizada entre otros objetivos, para fijar genes recesivos de resistencia a virus (Villalon, 1986) como para obtener líneas resistentes a bacterias y aumentar el rendimiento (Moreira *et al.*, 2009).

4.8.8.- Mutación

La mutación puede ser considerada más que un método de mejoramiento, una forma de mejorar rasgos económicamente importantes o eliminar rasgos deletéreos (Bosland and Votava, 2000), mediante la producción de nuevos alelos mutantes de interés, exponiendo el material de interés a mutágenos físicos o químicos, generando variabilidad genética mutante y a través de selección en generaciones siguientes obtener individuos estables (Rêgo y Rêgo, 2016).

4.9.- Antecedentes de cruces inter-tipos de chiles de árbol y soledad

Considerando que las razas de chile de árbol y soledad presentan formas de fruto similares, se pensó en la posibilidad de utilizarlos para el desarrollo de un programa de mejoramiento a través de sus cruces.

En primer lugar, se caracterizaron morfológica y molecularmente las colectas de estos

tipos de chile. Considerando las diferencias que resultaron entre estos tipos de chile, se estudió la heterobeltiosis en las cruzas intratipo (entre chile de árbol y cola de rata) e intertipo (chile de árbol y soledad).

A partir de aquí se utilizaron las tres mejoras cruas simples para iniciar un programa de mejoramiento utilizando el método de retrocruza limitada hacia los progenitores de cada una de las cruas simples y mediante selección a partir de F1 y retrocruzas en donde se explotarían efectos genéticos de interacción y aditivos, tal como señalan Maramba *et al.*, (2008), determinar el potencial que existe en utilizar cruas entre poblaciones de chile de árbol y soledad para su mejoramiento genético.

V- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.- Material vegetal

Se utilizaron cinco poblaciones progenitoras de Chile: dos del tipo Árbol (A3 y A4) de la región de los altos de Jalisco, una población de árbol de la región de Nayarit y el sur de Sinaloa donde se le conoce como Cola de Rata (CR) y dos de Soledad de la región de la sierra norte de Puebla (S5 y S6) donde posiblemente ha presentado cierta recombinación con tipos regionales (serranitos), también se usaron las tres cruzas simples CRxA4, A3xS5 y A4xS6 (Cuadro 1).

CUADRO 1. Progenitores y cruzas simples, utilizados como material vegetal.

PROGENITORES	TIPO DE CHILE	ORIGEN	CRUZAS SIMPLES
CR	Cola de Rata	Sinaloa-Nayarit	F ₁ (CRxA4)
A3	De Árbol	Jalisco	F ₁ (A3xS5)
A4	De Árbol	Jalisco	F ₁ (A4xS6)
S5	Soledad	Puebla	
S6	Soledad	Puebla	

5.2.- Formación de cruzas regresivas

Con el objetivo de iniciar la selección, no solo de la F₁, sino de poblaciones con 3/4 de germoplasma recuperado hacia ambos progenitores de cada craza, se efectuaron las cruzas regresivas hacia cada progenitor de cada una de las tres cruzas F₁. Para lo anterior se establecieron las tres cruzas simples, y los cinco progenitores bajo condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados (COLPOS), campus

Montecillo, localizado en carretera México-Texcoco Km 36.5 Texcoco, Estado de México en el año 2016, para ello, se sembraron en charolas de unisel 100 semillas de cada una de las cinco poblaciones progenitoras y las tres cruza simples (Cuadro 1). Cuando las plantas presentaron una altura de 10 cm se trasplantaron 80 plántulas de cada población y de cada cruza simple, a vasos de unisel con capacidad de 1L. Posteriormente, cuando las plántulas de las distintas poblaciones se encontraban en etapa de floración, se realizaron las cruza regresivas, para lo cual se recolectó polen de las poblaciones F_1 , y se polinizaron flores de cada una de las plantas emasculadas de sus progenitores. Los frutos de cada retrocruza se cosecharon y con su semilla se formó un compuesto balanceado de las retrocruzas [CR(CRxA4), A4(CRxA4), A3(A3xS5), S5(A3xS5), A4(A4xS6) y S6(A4xS6)].

5.3.- Primer ciclo de selección

A partir de las tres cruza simples poblacionales, y de las seis retrocruzas, se realizó el primer ciclo de selección masal, el cual se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, en el periodo de diciembre 2016-Julio 2017. Para lo anterior se sembraron en invernadero 140 semillas en charolas de unisel de cada una de las cruza simples y retrocruzas. Cuando las plántulas tuvieron una altura de 10 cm se trasladaron 100 plántulas de cada material a bolsas negras con capacidad de 10 L; estas plantas fueron fertilizadas con 16-16-16 granulado, la aplicación fue manual, el control de plagas y enfermedades se realizó mediante un manejo integrado con i.a. myclobutanil, deltametrina, imidacloprid, abamectina, azoxistrobin y flonicamid; las labores agronómicas fueron realizadas de acuerdo al manejo convencional

proporcionado por el personal encargado del invernadero que consistió en guiado de las plantas con rafia agrícola y aplicación de riego y pesticidas con frecuencia semanal. Para realizar la selección de plantas dentro de los nueve materiales, se cosecharon los frutos por planta en estado de madurez fisiológica, obteniendo registros por cada una de las plantas de las siguientes variables: rendimiento total, número de frutos y peso por fruto. Con esta información se aplicó una presión de selección del 20%, para lo cual se consideraron parámetros de rendimiento y sanidad de las plantas. Con la semilla de las plantas seleccionadas de cada cruce y retrocruce se formó el primer ciclo de selección de cada uno de ellos [C1F₁(CRxA4), C1CR(CRxA4), C1A4(CRxA4), C1F₁(A3xS5), C1A3(A3xS5), C1S5(A3xS5), C1F₁(A4xS6), C1A4(A4xS6) y C1S6(A4xS6)].

5.4.- Evaluación de progenitores, cruces simples, retrocruces y primer ciclo de selección.

Con la finalidad de determinar el avance en rendimiento, así como las características morfológicas de fruto en el ciclo uno de selección de cada material con respecto a las generaciones previas, se estableció en el Campo Agrícola Experimental Las Huastecas, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el ciclo agrícola correspondiente a Octubre 2017-Abril 2018, un experimento bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en el cual se sembraron 200 semillas de cada material en charolas de poliuretano de 200 cavidades rellenas con sustrato estéril ("Cosmopeat"), mezclado con 200 g de Micorriza comercial. A los 43 días a partir de la siembra, cuando las plántulas tuvieron una altura de 20 cm se

trasplantaron a campo. La unidad experimental consistió de un surco de 3 m de largo con separación entre estos de 1.84 m, con doble hilera y 0.33 m entre plantas, para obtener una densidad de 32 600 plantas por hectárea. La preparación del terrero se hizo de acuerdo al paquete tecnológico de chiles serranos del Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP. Se utilizó un sistema de riego por goteo con aplicación de fertirrigación ajustado al Paquete Tecnológico para Producción de Chile. Con el fin de proteger las plantas del experimento de plagas, fue cubierto con agribón desde el trasplante hasta la floración y se usó un manejo integrado de plagas con ingredientes activos similares al usado en chile serrano (Ramírez *et al.*, 2015).

Las variables registradas fueron: días a floración (FLOR), días a partir del trasplante hasta el momento en que al menos el 50% de las plantas en una repetición estaba en anthesis; rendimiento (REND), se realizó pesando con una báscula digital el peso de los frutos de tres cortes, los cuales estaban en estado de madurez fisiológica. Largo de fruto (LF), ancho de fruto (AF), grosor del pericarpio (PERI) y longitud del pedúnculo (PEDU) se midieron en una muestra de 100 gr por parcela del segundo corte con un vernier digital. Finalmente, después de la cosecha, se midió la altura de planta (ALT) y cobertura de área foliar (COB) de tres plantas por repetición en todos los materiales.

5.5.- Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada variable evaluada se sometieron a un análisis de varianza de acuerdo a un diseño experimental de bloques completos al azar, la comparación de medias se hizo mediante la prueba de Túkey ($\alpha = 0.05$), así como también, se realizó una prueba de contrastes entre progenitores y las diversas generaciones. Además, se

estimó la heterobeltiosis para las variables: rendimiento (REND), número de frutos por planta (FXP), peso por fruto (PXF), largo (LF) y ancho de fruto (AF) y grosor de pericarpio (PERI), días a floración (FLOR), longitud de pedúnculo (PEDU), con la fórmula $HB = [(F1-BP)/BP] \times 100$. Donde: BP= media del mejor progenitor que interviene en la cruce F1 (P1 o P2). Así mismo, se evaluó la significancia de la heterobeltiosis, mediante la prueba de "t" (Wynne *et al.*, 1970) con la formula $t = \frac{F1_{ij} - BP_{ij}}{\sqrt{3/2(r)(CME)}}$. Donde: F1_{ij}= es la media de la cruce ij, BP_{ij}= media del mejor progenitor, r= número de repeticiones y CME= cuadrado medio del error.

VI- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1.- Análisis de Varianza

El Cuadro 2 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables: rendimiento (REND), número de frutos por planta (FXP), peso por fruto (PXF), largo de fruto (LF), ancho de fruto (AF), grosor del pericarpio (PERI), días a floración (FLOR), longitud de pedúnculo (PEDU), altura de planta (ALT) y cobertura de área foliar (COB), donde se puede observar que existe diferencia altamente significativa entre materiales para todas las variables evaluadas, con excepción de cobertura de área foliar (COB).

En trabajos realizados en cruzas con distintos tipos de chiles de *C. annuum*, se han encontrado resultados similares a los obtenidos en la presente investigación, lo que se debe a la divergencia genotípica y fenotípica entre los materiales utilizados, como es el caso de Luna-García *et al.* (2018) y Naresh *et al.* (2016) en sus trabajos para estimar heterosis en rendimiento y calidad de fruto y Butcher *et al.* (2013) al utilizar diversas especies del género *Capsicum*. Por otro lado, al utilizar chiles de la misma raza también se puede observar variación entre los materiales, como en los estudios realizados por Pech *et al.* (2010), Ben-Chaim y Paran (2000) y Mahmoud (2014), o incluso Rêgo *et al.* (2011) en su investigación con accesiones de *C. baccatum*.

CUADRO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de diez variables evaluadas a frutos en progenitores, cruza simples, retrocruzas y primer ciclo de selección. Contrastes de progenitores Vs F₁, Retrocruzas, C₁, C₁F₁ y C₁Retrocruzas.

CUADRADOS MEDIOS									
F.V.	g.l	REND		FXP	PXF	LF	AF	PERI	
MATERIALES	22	20.896 ***		225.040 **	0.137 **	1.985 ***	1.426 **	0.085 ***	
REPET	2	3.644		26.840	0.018	0.287	0.032	0.095 ***	
ERROR	44	0.062		9.235	0.233	0.411	0.726	0.107	
C.V.		15.009		16.197	10.227	6.893	0.7513	9.111	
GRUPOS									
PROGE. Vs F ₁	1	0.0000605 *		0.0299 *	0.0898	0.396	0.109	0.00987 *	
PROGE. Vs RETROCRUZAS	1	1.15E-11 ***		0.0000822 *	0.0000115 *	0.178	0.351	0.103	
PROGE. Vs C ₁	1	0.0000184 *		0.274	0.0000746 *	0.455	0.0861	0.00846 *	
PROGE. Vs C ₁ F ₁	1	0.00000744 *		0.00846 *	0.0369 *	0.054	0.749	0.617	
PROGE. Vs C ₁ RETROCRUZAS	1	0.000868 *		0.893	0.0000225 *	0.0307 *	0.0307 *	0.00106 *	

CONTINUACIÓN...

CUADRADOS MEDIOS						
F.V.	g.l	FLOR	PEDU	ALT	COB	
MATERIALES	22	81.570 ***	0.723 ***	181.400 *	136.560	
REPET	2	84.580 *	0.761 **	892.400 ***	69.920	
ERROR	44	4.459	0.349	10.019	10.204	
C.V.		5.450	9.651	11.517	12.058	
GRUPOS						
PROGE. Vs F ₁	1	0.00516 *	0.369	0.0165 *	0.0401 *	
PROGE. Vs RETROCRUZAS	1	0.000548 *	0.751	0.190	0.254	
PROGE. Vs C ₁	1	0.000405 *	0.895	0.0414 *	0.113	
PROGE. Vs C ₁ F ₁	1	0.000482 *	0.763	0.281	0.088	
PROGE. Vs C ₁ RETROCRUZAS	1	0.00425 *	1	0.0298 *	0.243	

*= significancia a 0.05; F.V: factor de varianza; C₁: ciclo uno de selección; C.V.: coeficiente de variación; g.l: grados de libertad; REND: rendimiento; FXP: número de frutos por planta; PXF: peso por fruto; LF: largo de fruto; AF: ancho de fruto; PERI: grosor de pericarpio. FLOR: días a floración; PEDU: longitud de pedúnculo; ALT: altura de planta; COB: cobertura de área foliar.

6.2.- Rendimiento (REND)

Los rendimientos de los distintos materiales evaluados se encontraron entre 7.37 y 18.32 t ha⁻¹, sin que hubiera diferencias estadísticas entre la mayoría de los materiales de las diferentes generaciones; únicamente las retrocruzas CR(CRxA4) y S5(A3xS5) superaron por completo a los cinco progenitores, a las cruzas F₁ y al primer ciclo de selección (Cuadro 3).

Así mismo, aunque no hubo diferencia en rendimiento entre progenitores (Cuadro 3), las dos poblaciones del tipo de chile soledad fueron las que presentaron los valores más bajos, sin embargo, en este caso habría que considerar que en el presente trabajo solo se realizaron tres cortes de chile, y dado que S5 y S6 son de ciclo tardío, aún faltó realizar al menos dos cortes más, representando aproximadamente 20% más de producción (M.C. Moisés Ramírez, comunicación personal). Lo anterior concuerda con los resultados de Domínguez-Beatriz *et al.* (2014) en su investigación al trabajar con densidades de chile Soledad, de aquí que los rendimientos reales de los progenitores fueron muy similares.

Por otro lado, entre las tres cruzas F₁ no se encontraron diferencias estadísticas, sin embargo, las tres superaron en más de 20% el rendimiento promedio del mejor progenitor de la crusa correspondiente, mostrando heterobeltiosis significativa (Cuadro 3). Esta significancia en heterobeltiosis era de esperarse dada la divergencia genética que hay entre tipos de chile diferentes, como son, en este caso, las cruzas de chile de árbol y soledad, tal como lo observaron Luna-García *et al.* (2018) y Butcher *et al.* (2013). En cuanto a la heterobeltiosis observada en la crusa entre chile CR y A4 (árbol x árbol), aunque los dos progenitores pertenecen al tipo de chile de árbol, como ya se

mencionó, provienen de regiones muy distintas, por lo que se espera que haya también divergencia genética por su adaptación a dichas regiones, con respecto a este caso también hay diferentes estudios donde han utilizado materiales del mismo tipo de Chile y han observado también heterobeltiosis significativa (Pech *et al.*, 2010; Mahmoud, 2014 y Ben-Chaim y Paran, 2000).

Con respecto a las retrocruzas, sus rendimientos estuvieron entre 14.45 t ha⁻¹ y 18.32 t ha⁻¹ (Cuadro 3) y fueron estadísticamente similares. Por otro lado, se podría esperar que estos rendimientos fueran menores a las F₁ correspondientes, sin embargo, como se puede ver en el Cuadro 3, estos fueron superiores. Si bien en las retrocruzas se presentan en forma conjunta efectos aditivos y de interacción, quedan no determinados los efectos epistáticos tal como han sido determinados en otros trabajos (Mahmoud, 2014; Mohamed *et al.*, 1995). Estos resultados coinciden con los obtenidos en las retrocruzas del trabajo de Mahmoud (2014) en su estudio de parámetros genéticos a través de medias generacionales, así como con los de Hassanuzzaman and Golam (2011), donde las retrocruzas presentaron también valores superiores a la F₁ y proponen que en los casos donde las retrocruzas fueron superiores a sus anteriores generaciones podría indicar acumulación de genes favorables para rendimiento y una segregación transgresiva.

Por otro lado, en los materiales del ciclo uno de selección, los rendimientos presentaron una diferencia de 3.94 t ha⁻¹ entre C1 S5(A3xS5) y C1 F₁(A3xS5) de mayor y menor rendimiento respectivamente, sin mostrar diferencia estadística significativa entre todos ellos; dichos valores tendieron a disminuir en forma proporcional a los rendimientos de

CUADRO 3. Comparación de medias de las variables rendimiento, número de frutos por planta y peso por fruto y heterobeltiosis.

MATERIALES	RENDIMIENTO		FXP		PXF	
	(t)		(Uni.)		(g)	
	MEDIA	HB (%)	MEDIA	HB (%)	MEDIA	HB (%)
PROGENITORES						
CR	11.7	bcd	56	ab	2.1	ab
A3	11.7	bcd	61	ab	1.9	b
A4	10.5	bcd	56	ab	2.1	ab
S5	9.0	cd	42	ab	2.1	ab
S6	7.4	d	39	b	2.0	ab
CRUZAS SIMPLES						
F ₁ (CRxA4)	14.5	abc	24.1	*	65	ab
F ₁ (A3xS5)	14.2	abc	22.0	*	16.1	*
F ₁ (A4xS6)	12.7	abcd	21.1	*	-1.6	ns
RETROCRUZAS						
CR(CRxA4)	18.1	a	66	ab	2.6	ab
A4(CRxA4)	14.5	abc	63	ab	2.2	ab
A3(A3xS5)	15.2	abc	59	ab	2.5	ab
S5(A3xS5)	18.3	a	70	a	2.5	ab
A4(A4xS6)	16.5	ab	65	ab	2.5	ab
S6(A4xS6)	16.1	ab	67	ab	2.3	ab
CICLO 1 DE SELECCIÓN						
C1 F ₁ (CRxA4)	13.3	abcd	65	ab	2.0	ab
C1 CR(CRxA4)	14.6	abc	60	ab	2.3	ab
C1 A4(CRxA4)	13.9	abc	63	ab	2.2	ab
C1 F ₁ (A3xS5)	11.2	bcd	46	ab	2.2	ab
C1 A3(A3xS5)	12.9	abcd	49	ab	2.5	ab
C1 S5(A3xS5)	15.1	abc	61	ab	2.5	ab
C1 F ₁ (A4xS6)	12.4	abcd	45	ab	2.6	a
C1 A4(A4xS6)	12.7	abcd	49	ab	2.5	ab
C1 S6(A4xS6)	12.2	abcd	52	ab	2.4	ab
C.V.	15.0		16.2		10.23	
DMS	6.3		29.0		0.73	

*= significancia a 0.05; ns= no significativo; HB: heterobeltiosis; C1: ciclo uno de selección; PXF: peso por fruto; FXP: número de frutos por planta; C.V.: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

las poblaciones F₁ o retrocruzadas de las cuales se seleccionaron, pero en general superaron a los progenitores e igualaron o superaron a las F₁, aunque fueron menores a los valores observados en las retrocruzadas; lo anterior se debe a la segregación

producida después de un ciclo de selección, que, en el cultivo de Chile, por ser autógama sería, después de un ciclo de autofecundación, de tal forma que los loci heterocigotos generarían tanto homocigotos como heterocigotos.

No obstante, las diferencias entre los distintos materiales con respecto a sus rendimientos no fueron claras, estas pueden apreciarse mejor considerando la prueba de contrastes (Cuadro 2), donde el rendimiento promedio de los progenitores fue significativamente inferior al promedio de las generaciones F₁, retrocruzas y C1 tanto total, como a los C1 generados a partir de las F₁ y los C1 provenientes de las retrocruzas, es decir que, con respecto a los progenitores, las distintas generaciones los superaron significativamente, por lo que podemos decir que existe un avance genético.

6.3.- Número de frutos por planta (FXP)

Los valores observados en la variable número de frutos por planta (FXP) en los distintos materiales, tuvieron una amplitud de 39-70 frutos por planta, y no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, a excepción del progenitor S6 con respecto a la retrocruza S5(A3xS5) (Cuadro 3). No obstante lo anterior, es necesario tomar en cuenta que los materiales con el menor número de frutos por planta fueron las dos poblaciones tipos serranillos (S5 y S6), y dado que, como ya se mencionó antes, faltaron al menos dos cortes por realizar en estas dos poblaciones, por tanto, es posible que el número real de frutos pudiera ser similar a los observados en Chile de árbol y cola de rata.

La característica de número de frutos que puede presentar una planta está relacionado directamente con el tamaño del fruto, de esta forma, plantas de frutos grandes presentan menor número de ellos, tal como es el caso de los chiles pimientos (de 8 a

17) en investigaciones donde se involucran cruzas dentro del mismo tipo de chile (Sood *et al.*, 2009), y chiles de diferentes tipos (serranos, jalapeños y miradores) con frutos pequeños presentan mayor número (de 50 a 70) como lo obtenidos por Luna-García *et al.* (2018). En el presente trabajo el tamaño de los frutos es muy similar entre los cinco progenitores (Cuadro 5), y tal como Pech *et al.* (2010) obtuvieron al cruzar materiales de chile dulce con tamaños muy similares, en este caso, con chiles morfológicamente parecidos, la variación también fue muy poca, de tal forma que, solo la cruce $F_1(CR \times A4)$ presentó una heterobeltiosis significativa (16%) como se muestra en el Cuadro 3.

En cuanto a los efectos genéticos que determinan el número de frutos por planta en chile pueden variar, en algunos casos los efectos de dominancia no han sido muy importantes (Mahmoud, 2014), y en otros tanto los efectos aditivos, de dominancia y epistáticos en conjunto han tenido relevancia (Hassanuzzaman and Golam, 2011).

Por otro lado, según la correlación entre variables (Cuadro 4), el número de frutos por planta (FXP) está altamente relacionada con el rendimiento (0.827*), y no obstante que no hubo variaciones significativas claras en esta variable entre los distintos materiales, al realizar la prueba de contrastes (Cuadro 2) se puede observar que si hubo diferencias estadísticas al contrastar el número de frutos por planta de los progenitores contra el número de las generaciones F_1 , las retrocruzas y $C1F_1$ (ciclo de selección uno a partir de la F_1). De acuerdo a lo anterior, el número de frutos por planta puede explicar en parte, las diferencias en rendimiento entre los progenitores y estas tres generaciones.

CUADRO 4. Correlación de Pearson entre diez variables evaluadas a planta y fruto.

	REND	FLOR	LF	AF	PERI	PEDU	PXF	ALT	COB	FXP
REND	1									
FLOR	-0.369*	1								
LF	0.242*	-0.181	1							
AF	0.016	0.122	-0.595*	1						
PERI	-0.019	0.163	-0.626*	0.577*	1					
PEDU	0.099	-0.280*	0.618*	-0.391*	-0.494*	1				
PXF	0.446*	0.057	0.039	0.195	0.189	-0.067	1			
ALT	0.189	-0.510	0.101	0.054	-0.141	0.179	0.01	1		
COB	0.256*	-0.145	0.141	0.058	-0.023	0.260*	-0.02	0.503*	1	
FXP	0.827*	-0.431*	0.217	-0.155	-0.146	0.205	-0.05	0.207	0.270*	1

REND: rendimiento; FLOR: floración; LF: largo de fruto; AF: ancho de fruto; PERI: grosor de pericarpio; PEDU: longitud de pedúnculo; PXF: peso por fruto; ALT: altura de planta; COB: cobertura de área foliar; FXP: número de frutos por planta.

6.4.- Peso por fruto (PXF)

De manera general, en la variable PXF no se encontraron diferencias estadísticas entre materiales a excepción del progenitor A3 y la población C1F₁(A4xS6), con 1.9 y 2.6 g por fruto respectivamente (Cuadro 3). No obstante, a simple vista los progenitores presentaron los menores pesos (1.9 a 2.1 g), estos no tuvieron diferencia con las cruzas F₁, situación que coincide con los resultados de Pech *et al.*, (2010) en cruzas de chile dulce. Por otro lado, los mayores pesos los presentaron las retrocruzas y los materiales C1 de selección, con valores de 2.2 a 2.6 g los primeros, y de 2.0 a 2.6 g los segundos, lo anterior se puede apreciar mejor si consideramos, por un lado, que el PXF se correlaciona medianamente con el rendimiento (Cuadro 4), tal como se aprecia en los

resultados de otros trabajos (Sharma *et al.*, 2010), y por otro lado, en la prueba de contrastes (Cuadro 2) se pueden observar diferencias significativas en todos ellos a excepción de Progenitores Vs F₁; esto podría explicar la diferencia en rendimiento entre progenitores y generaciones, y actuando conjuntamente con FXP en las poblaciones de retrocruzas y los ciclos C1 provenientes de la selección a partir de las cruzas F₁. Correlaciones similares entre número de frutos por planta y peso de fruto con el rendimiento las menciona Sharma *et al.* (2010).

6.5.- Largo de Fruto (LF)

En general, en la variable LF se pueden observar, aunque no claramente, diferencias estadísticas entre materiales, así como dentro de cada grupo generacional, ya que presenta una variación del 60.4% entre sus valores extremos y una DMS de 1.4 cm (Cuadro 5). De los cinco progenitores, S6 presentó los frutos más pequeños y fue significativamente diferente a CR y S5. Dentro de progenitores, S6 presentó el menor tamaño (5.03 cm), probablemente a consecuencia del cruzamiento que pudiera haber ocurrido entre el chile soledad, introducido y colectado en la sierra norte de Puebla donde se colectó, con el tipo de chile “serranitos” (chile de menor tamaño que los tipos Soledad y de Árbol) que era típicos de dicha zona (Dr. Víctor H. Aguilar, comunicación personal).

En diferentes estudios como los realizados por Ben-Chaim y Paran (2000) y Mahmoud (2014), se ha observado que la variable LF tiene una herencia aditiva, en tanto que, en otros resultados, además de este componente la variable largo de fruto también tiene un componente no aditivo (Pech *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2012). Por lo tanto, en

CUADRO 5. Comparación de medias de las variables largo de fruto, ancho de fruto y grosor de pericarpio y heterobeltiosis.

MATERIALES	LF (cm)		AF (mm)		PERI (mm)	
	MEDIA	HB (%)	MEDIA	HB (%)	MEDIA	HB (%)
PROGENITORES						
CR	6.97 ab		9.31 a		0.98	fg
A3	6.30 bcdef		9.46 a		1.12	cdefg
A4	6.40 abcdef		9.23 a		1.01	defg
S5	7.37 ab		8.74 a		1.01	efg
S6	5.03	fg	10.13 a		1.39	abc
CRUZAS SIMPLES						
F ₁ (CRxA4)	7.23 ab	3.73 ns	8.84 a	- 5.04 ns	1.08	cdefg 6.93 ns
F ₁ (A3xS5)	6.10 bcdef	-17.23 *	10.82 a	14.37 *	1.28 abcdef	14.28 *
F ₁ (A4xS6)	5.43	defg -15.16 *	9.56 a	- 5.62 ns	1.32 abcde	- 5.03 *
RETROCRUZAS						
CR(CRxA4)	7.43 ab		9.64 a		0.93	g
A4(CRxA4)	6.43 abcde		9.29 a		1.02	defg
A3(A3xS5)	7.73 a		8.80 a		1.04	defg
S5(A3xS5)	6.40 abcdef		9.29 a		1.35	abcd
A4(A4xS6)	6.53 abcde		9.74 a		1.20	bcdefg
S6(A4xS6)	5.20	efg	10.91 a		1.46	ab
CICLO 1 DE SELECCIÓN						
C1 F ₁ (CRxA4)	6.83 abc		9.22 a		1.02	defg
C1 CR(CRxA4)	7.00 ab		9.33 a		1.08	cdefg
C1 A4(CRxA4)	6.73 abcd		9.96 a		1.07	cdefg
C1 F ₁ (A3xS5)	6.10 bcdef		10.10 a		1.15	bcdefg
C1 A3(A3xS5)	6.87 abc		8.95 a		1.11	cdefg
C1 S5(A3xS5)	6.40 abcdef		9.86 a		1.29	abcdef
C1 F ₁ (A4xS6)	5.53	cdefg	10.77 a		1.32	abcde
C1 A4(A4xS6)	6.53 abcde		9.98 a		1.20	bcdefg
C1 S6(A4xS6)	4.67	g	10.87 a		1.56	a
C.V.	8.9		7.5		9.1	
DMS	1.4		2.3		0.3	

*= significancia a 0.05; ns= no significativo; HB= heterobeltiosis; C1: ciclo uno de selección; LF: largo de fruto; AF: ancho de fruto; PERI: grosor de pericarpio; C.V.: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

este estudio, donde el tamaño de los frutos de CR, A3, A4, y S5 son muy similares, las tres generaciones F₁ no presentaron diferencias con respecto a sus progenitores. En el

caso de las retrocruzas, los tamaños observados en lo general tendieron hacia el valor del progenitor al cual se retrocruzó, y en la generación del primer ciclo de selección, estos no tuvieron diferencias dentro de la generación, ni con sus respectivas retrocruzas o cruzas F_1 de donde se seleccionaron, incluso con sus progenitores. Una excepción a lo anterior se puede observar donde participa S6, que en todos los casos tendió a presentar los valores más bajos de LF.

Por otro lado, se encontró una leve correlación (0.242) entre LF y REND, así mismo se correlaciona esta variable con longitud de pedúnculo y negativamente con AF y PERI (Cuadro 4), sin embargo, Butcher *et al.* (2013) encontraron una relación entre LF y peso de fruto, en este caso solo podemos apreciar que LF tuvo un efecto positivo en el rendimiento, y al contrastar los grupos de generaciones solo encontramos diferencias entre progenitores Vs C1RETROCRUZAS (Cuadro 2), contribuyendo a la explicación de un mayor rendimiento de esta generación con respecto a sus progenitores (Cuadro 5).

6.6.- Ancho de Fruto (AF)

La variable ancho de fruto (AF) no presentó diferencias estadísticas significativas entre materiales, no obstante S6, que tuvo el menor tamaño (LF), fue el material que presentó el mayor AF, tanto en la población original como en las generaciones donde participó, (Cuadro 5). La variable AF no tiene correlación con el rendimiento, pero si está relacionada con PERI (Cuadro 4), sin embargo, presentó una relación negativa con las variables LF y PEDU. Lo anterior contrasta con lo obtenido por Butcher *et al.*, (2013), quienes encontraron una relación positiva entre AF y LF en la cruce de Paprika con chile Serrano, sin embargo, estos tipos de chile contrastan significativamente en estas

dos características. Caso contrario se puede observar en los resultados de Pech *et al.* (2010), que al utilizar poblaciones de chile dulce muy similares entre sí, no encontró diferencias entre progenitores ni sus cruzas, tal como lo observamos en el presente estudio, donde los chiles de árbol y soledad presentan características muy similares, tanto en los progenitores como en las generaciones posteriores (Cuadro 5). No obstante lo antes mencionado, la crusa $F_1(A3XS5)$ fue la única que presentó una heterobeltiosis significativa (14.37%).

En cuanto al efecto que pudiera tener el AF en el rendimiento, al igual que sucedió en el caso de LF, en la prueba de contrastes (Cuadro 2), únicamente hubo diferencias entre la generación C1RETROCRUZAS con respecto a los progenitores. Por tanto, el AF explica también en parte, el avance en el rendimiento de los ciclos C1 con respecto a sus progenitores.

6.7.- Grosor del Pericarpio (PERI)

El grosor del pericarpio de los frutos de chile fue muy similar en las poblaciones CR, A3, A4 y S5, en tanto que S6 presentó un valor estadísticamente superior (Cuadro 5). En cuanto a las distintas generaciones, en el caso de las tres cruzas simples F_1 , únicamente A3xS5 (cruza inter-tipo) presentó una heterobeltiosis significativa (14.28%), tal como Payakhapaab *et al.* (2012), quienes obtuvieron heterobeltiosis en el grosor del pericarpio en una sola crusa de nueve evaluadas, resultados que se relacionan con los de Mohamoud, (2014), quien señala que para PERI los efectos importantes fueron los de interacción. Por otra parte, no hubo diferencias estadísticas entre los progenitores y las distintas generaciones que estas generaron (F_1 , RETROCRUZAS, O C1). No

obstante, estas escasas diferencias en PERI, al realizar la prueba de contrastes observamos que existe diferencia estadística al comparar los progenitores contra las generaciones F₁, C1 y C1Retrocruzas (Cuadro 2), además, existe correlación media significativa entre PERI y AF (Cuadro 4), lo que concuerda de forma clara con los resultados de S6 (Figura 9B), ya que esta población, y sus generaciones F₁, RETROCRUZAS Y C1, presentaron los valores más altos tanto para AF como para PERI. Con estos resultados, se puede considerar que en el grosor de pericarpio también podrían estar jugando un papel importante los efectos aditivos, dado que la tendencia que mostraron las generaciones donde participó la población S6 fue aumentar gradualmente los valores del grosor de la pared del fruto, lo que estaría en concordancia con Rodrigues *et al.* (2012), que indican la importancia de los efectos aditivos en el grosor del pericarpio en chile *C. baccatum*.

La variable grosor de pericarpio (PERI) está relacionada de igual manera, pero de forma negativa con LF y PEDU (Cuadro 4), lo que pudiera indicar que este tipo de chile es de pared de fruto gruesa y con diámetros mayores y a su vez frutos de longitud menor y pedúnculo corto (Figura 9B). Rêgo *et al.* (2011) en su investigación con *C. baccatum*, encontraron correlación positiva de PERI con PXF indicando que frutos con pericarpio grueso, tienden a causar variación positiva en el peso de los frutos, aunque en la presente investigación al trabajar con distintos tipos de chile contrastamos con dichos resultados, al igual que Butcher *et al.* (2013) al estudiar la heterosis en cruza de chile serrano y paprika.



FIGURA 6. Cortes transversales de frutos de chile.

En un programa de mejoramiento de *Capsicum* el grosor del pericarpio es un rasgo muy importante, ya que si el tipo de chile a mejorar tiene su destino el mercado en seco, es preferible hacer selección hacia frutos con el pericarpio delgado, ya que simplifica el proceso de deshidratación de los frutos (Martín y González, 1991) y minimiza las condiciones apropiadas para el crecimiento de hongos en el fruto, en cambio, si el destino es para mercado en verde, lo ideal es seleccionar frutos con pericarpio grueso, lo cual propicia ventajas como: un posible aumento en el rendimiento al momento de la cosecha, y una mayor resistencia a heridas durante el manejo y traslado de los frutos (Lannes *et al.*, 2007).

6.8.- Días a Floración (FLOR)

De los cinco progenitores utilizados en el presente estudio, los más tardíos fueron los tipos de chile soledad (S5 y S6), aunque en general, no se encontraron diferencias estadísticas dentro de generaciones, la población S5 (chile soledad), dentro de progenitores, fue estadísticamente más tardío que A3 y A4 (chile de árbol). Del mismo modo, entre materiales de las distintas generaciones, dicho progenitor resultó ser más

CUADRO 6. Comparación de medias de las variables floración y longitud de pedúnculo y heterobeltiosis.

MATERIALES	FLOR (días)		PEDU (cm)	
	MEDIA	HB (%)	MEDIA	HB (%)
PROGENITORES				
CR	86.33 abc		3.53 abcdef	
A3	79.66 bc		4.07 abc	
A4	79.00 bc		4.17 abc	
S5	94.66 a		3.53 abcdef	
S6	91.33 ab		2.70 f	
CRUZAS SIMPLES				
F ₁ (CRxA4)	81.33 abc	- 5.79 *	4.33 ab	3.84 ^{ns}
F ₁ (A3xS5)	80.33 bc	-15.13 *	3.60 abcdef	-11.54 *
F ₁ (A4xS6)	80.33 bc	-12.04 *	3.27 bcdef	-21.58 *
RETROCRUZAS				
CR(CRxA4)	79.00 bc		4.00 abcde	
A4(CRxA4)	73.00 c		3.90 abcde	
A3(A3xS5)	80.00 bc		3.83 abcde	
S5(A3xS5)	82.00 abc		2.97 def	
A4(A4xS6)	83.33 abc		3.73 abcdef	
S6(A4xS6)	85.00 abc		2.93 ef	
CICLO 1 DE SELECCIÓN				
C1 F ₁ (CRxA4)	78.33 bc		4.03 abcd	
C1 CR(CRxA4)	73.00 c		3.53 abcdef	
C1 A4(CRxA4)	75.66 c		4.03 abcd	
C1 F ₁ (A3xS5)	76.33 c		3.57 abcdef	
C1 A3(A3xS5)	84.33 abc		3.77 abcdef	
C1 S5(A3xS5)	86.00 abc		3.37 abcdef	
C1 F ₁ (A4xS6)	84.33 abc		3.13 cdef	
C1 A4(A4xS6)	82.66 abc		4.40 a	
C1 S6(A4xS6)	85.66 abc		2.70 f	
C.V	5.5		9.65	
DMS	14.0		1.09	

*= significancia a 0.05; ns= no significativo; HB= heterobeltiosis; C1: ciclo uno de selección; FLOR: días a floración; PEDU: longitud de pedúnculo; C.V.: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

tardío que F₁(A3xS5) y F₁(A4xS6), las retrocruzas CR(CRxA4), A4(CRxA4) y A3(A3xS5) y a los materiales del primer ciclo de selección C1F₁(CRxA4), C1CR(CRxA4), C1A4(CRxA4) y C1F₁(A3xS5) (Cuadro 6). La floración en las tres

cruzas F_1 resultaron con valores cercanos al progenitor más precoz, indicando dominancia parcial. Estos resultados coinciden con los reportados por Geleta *et al.* (2004) y Luna-García *et al.* (2018) en *C. annuum*, donde los híbridos resultaron cercanos o incluso más precoces que los progenitores con menos días a floración en el primero y mucho más precoces en el segundo. En cuanto a las retrocruzas y los ciclos C1, también presentaron valores de floración menores a los progenitores más tardíos, destacando la cruce $F_1(CR \times A4)$, ya que los tres ciclos C1 de esta fueron más precoces que A4 (progenitor más precoz de la cruce). En el caso de los C1 provenientes de las otras dos cruces, presentaron valores intermedios con respecto a sus progenitores (Cuadro 6). La variación de días a floración entre generaciones es más clara si consideramos el análisis de contrastes (Cuadro 2), donde se observan diferencias estadísticas en todos los contrastes con respecto a los progenitores.

6.9.- Longitud de Pedúnculo (PEDU)

La variable longitud de pedúnculo mostró una amplitud entre los distintos materiales de 1.7 cm, y una DMS de 1.09 cm, lo que nos indica que existen diferencias estadísticas significativas en la longitud promedio de pedúnculo de los frutos, entre los distintos materiales (Cuadro 6), aunque en el análisis de contrastes entre generaciones y progenitores no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 2). Entre los progenitores, los que presentaron un menor tamaño de pedúnculo fueron las poblaciones de los chiles tipo soledad, destacando S6 con pedúnculos de 2.7 cm (Cuadro 6). Por otro lado, no obstante que Ben-Chaim y Paran (2000), y Naresh *et al.*, (2016) encontraron heterosis en este carácter en algunas cruces de Chile, en el

presente estudio no hubo heterobeltiosis significativa. En la generación de retrocruzas, además de no haber variación entre los materiales de dicha generación, los valores en longitud del pedúnculo que presentaron estuvieron relacionados con el tamaño del pedúnculo del progenitor hacia el cual se realizó la retrocruza, por lo que se presentaron valores menores cuando se retrocruzó hacia poblaciones de chile soledad. En el caso de la generación C1, cuando se realizó selección a partir de retrocruzas se obtuvieron valores similares a los observados en estas, y como ya se mencionó con anterioridad, también son similares al progenitor al cual se retrocruzó, como es el caso del progenitor S6 y C1S6(A4xS6) que ambos expresaron frutos con el pedúnculo más corto (2.70 cm) a pesar de las generaciones.

La variable PEDU se correlaciona medianamente con LF (Cuadro 4), tal como fue encontrado en los trabajos de Ix-Nahuat *et al.* (2013) y Martín y González (1991); lo anterior se puede apreciar en las figuras 8, 9 y 10, donde los materiales de frutos con menor tamaño, presenta pedúnculos de menor tamaño y viceversa.

Esta variable es importante dado que, el presentar frutos con pedúnculo largo facilita el manejo en la cosecha, así como también la realización de polinizaciones, por tanto, es recomendable considerar esta variable al momento de seleccionar algún material para hacer mejoramiento genético de alguna raza de chile.

Por otro lado, los materiales del tipo soledad se diferencian de los de árbol porque, este último presenta un pedúnculo largo y el cáliz abraza al fruto, característica que provee mayor sostén del fruto a la planta, en cambio el tipo soledad, su cáliz es corto y abraza superficialmente al fruto, razón por la cual cuando llega a madurez fisiológica su tendencia es desprenderse fácilmente, esto aporta un beneficio cuando su destino es la

agroindustria ya que se requieren frutos sin pedúnculo o con fácil desprendimiento (Martín y González, 1991).

6.10.- Altura de planta (ALT) y Cobertura de área foliar (COB)

En general, al analizar la comparación de medias para las variables altura de planta (ALT) y cobertura de área foliar (COB), no encontramos diferencia estadística entre materiales. Sin embargo, para ambas variables, al realizar la prueba de contrastes entre los diferentes grupos de generaciones, se observó diferencia significativa en la comparación de Progenitores Vs F₁, de igual manera, la variable ALT también mostró diferencias en Progenitores Vs C1 y Progenitores Vs C1Rtrocruzadas (Cuadro 2).

Las variables ALT y COB tienen correlación entre ellas (0.503), así mismo COB está débilmente relacionada con el rendimiento y PEDU (Cuadro 4).



FIGURA 6. Frutos de chile Cola de Rata y chile de Árbol. **A:** población CR; **B:** población A4; **C:** $F_1(CR \times A4)$; **D:** $CR(CR \times A4)$; **E:** $A4(CR \times A4)$; **F:** $C1F_1(CR \times A4)$; **G:** $C1CR(CR \times A4)$; **H:** $C1A4(CR \times A4)$.



FIGURA 7. Frutos de chile de Árbol y chile Soledad. **A:** población A3; **B:** población S5; **C:** F₁(A3xS5); **D:** A3(A3xS5); **E:** S5(A3xS5); **F:** C1F₁(A3xS5); **G:** C1A3(A3xS5); **H:** C1S5(A3xS5).



FIGURA 8. Frutos de chile de árbol y chile Soledad. **A:** poblaci3n A4; **B:** poblaci3n S6; **C:** F1(A4xS6); **D:** A4(A4xS6); **E:** S6(A4xS6); **F:** C1F1(A4xS6); **G:** C1A4(A4xS6); **H:** C1S6(A4xS6).

VII. CONCLUSIONES

Las cruzas interraciales entre poblaciones de chile de árbol y soledad, tienen el potencial para establecer un programa de mejoramiento genético por selección a partir de su generación F_1 o de sus retrocruzas. Las ventajas del mejoramiento a partir de estas cruzas interraciales son: un incremento del rendimiento, conservación de la forma y tamaño comercial del fruto y, presentar mayor precocidad de los materiales, sobre todo con respecto a los materiales tardíos de chile soledad.

Para el caso del mejoramiento de chile de árbol, similares resultados se pueden obtener realizando cruzas intrarraciales, con poblaciones de este tipo de chile de regiones contrastantes, tal como es el caso de la cruce entre chile de árbol de la región de los Altos de Jalisco y de chile de árbol de las regiones de la costa de Nayarit y Sinaloa.

Las características que tuvieron una mayor contribución al incremento del rendimiento en las distintas generaciones fueron: número de frutos por planta, peso por fruto y grosor del pericarpio; y de igual manera aunque con menor contribución: longitud y ancho de fruto.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Meléndez, A., Morrell, P. L., Roose, M. L. and Kim, S. C. 2009. Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chilis (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. *American journal of Botany* 96(6): pp. 1190-1202.
- Aguilar-Rincón, V. H., T. Corona Torres, P. López López, L. Latournerie Moreno, M. Ramírez Meraz, H. Villalón Mendoza y L. A. Aguilar Castillo. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de postgraduados, INIFAP, ITConkal, AUNL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Andrews J. 1993. Diffusion of mesoamerican food complex to southeastern Europe. *Geograph Rev.* 83: pp. 194–204.
- Baran, J. T., Sarathi, S. P., Nath, S., Das, A., Jha, S. 2017. Morphological and cytogenetical characterization of ‘Dalle Khursani’: a polyploid cultivated *Capsicum* of India. *Scientia Horticulturae* 215: pp. 80-90.
- Ben-Chaim, A. and Paran , I. 2000. Genetic Analysis of Quantitative Traits in Pepper (*Capsicum annuum*). *J. AMER. SOC. HORT. SCI.* 125(1): pp. 66–70.
- Barboza, G. E. 2011. Lectotypifications, synonymy, and a new name in *Capsicum* (Solanoideae, Solanaceae). *PhytoKeys* 2: pp. 23–38.
- Bosland, P. 1994. Chiles: History, cultivation, and uses. Amsterdam: Elsevier Science BV.
- Bosland P. W. and Baral J. B. 2007. “Bhut Jolokia” The world’s hottest known chili pepper is a putative naturally occurring interspecific hybrid. *Hortscience* 42: pp. 222-224.
- Bosland, P. W. and E. Votava. 2000. Peppers: vegetable and spice *capsicums*. Crop production science in horticulture. 12. CAB International.
- Bravo, H. H. 1934. Estudio botánico acerca de las solanáceas mexicanas del género *Capsicum*. *Anales del Instituto de Biología* 5: pp. 303-321.
- Butcher, D. J., Crosby, M. K., Sun, Y. K., Patil, B., Jifon, J. L. and Rooney, L. W. 2013. Heterosis in different F1 *Capsicum annuum* genotypes for fruit traits, ascorbic acid, capsaicin and flavonoids. *Scientia horticulturae* 159: pp. 72-79.
- Carrillo, N. C., Vallejo, F. A. y Estrada. E. I. 1991. Adaptabilidad y estabilidad fenotípica

- de líneas e híbridos de pimentón, *Capsicum annuum* L. Acta agronómica 41(1-4): pp. 21-36.
- Domínguez-Beatriz, A., Quevedo-Guerrero, A., Tinoco-Alfaro, C., Alvarado-Gómez, L. y Velásquez-Silvestre, M. 2014. Densidades de siembra en chile soledad (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de temporal en la lima, Veracruz. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 2: pp. 275-278.
- Eshbaugh W. H. 1993. Peppers: History and exploitation of a serendipitous new crop discovery. In: Janick J, Simon JE, editors. *New crops*. New York, USA: Wiley. pp. 132-139.
- Eshbaugh, W. H. 1977. The taxonomy of the genus *capsicum* (*solanaceae*). *Capsicum* 77: pp. 13-26.
- Eshbaugh, W. H. 1975. Genetical and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum- Solanaceae*). Bulletin of the Torrey Botanical Club 102: pp. 396-403.
- Eyre-walker, A., Gaut, R. L., Hilton, H., Feldman, D. L. and Gaut, B. S. 1998. Investigation of the bottleneck leading to the domestication of maize. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 95: pp. 4441-4446.
- Ezziyiania, M., Requena, M. E., Pérez-Sánchez, C. y Candela, M. E. 2005. Efecto del sustrato y la temperatura en el control biológico de *Phytophthora capsici* en pimiento (*Capsicum annuum* L.) Anales de biología 27: pp.119-126.
- Falconer, D. S. 1981. Introducción a la Genética Cuantitativa. Editorial Continental, México. pp. 303-304.
- FAO. 2016. Base de datos estadísticos. Agricultura. Datos agrícolas. Producción. Cultivos primarios [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org> (Revisado en abril de 2018).
- Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development: theory and technique, Vol 1. Macmillan, New York. 736 p.
- Galindo-Alonso, J. 1971. Estudio preliminar sobre el mosaico del chile serrano (*Capsicum annuum*) en el Noroeste de México. *Sociedad Americana de Fitopatología: División caribe* pp. 45-46.
- Garfias S. D., 2015. Caracterización de colectas de chile de Árbol y Soledad con microsatélites y análisis de la heterosis de sus cruzas (tesis de maestría) Colegio

de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México

- Geleta, L. F., Labuschagne, M. T. and Viljoen, C. D. 2004. Relationship between heterosis and genetic distance based on morphological traits and AFLP markers in pepper. *Plant Breeding* 123: pp. 467-473.
- Gonçalves, L. S., Rodrigues, R., Bento, C. S., Robaina, R. R., *et al.* 2011. Herança de caracteres relacionados à produção de frutos em *Capsicum baccatum* var. pendulum com base em análise dialélica de Hayman. *Rev Ciênc Agron* 42: pp. 662-669.
- Greenleaf W. H., Martins J. A., Lease J. G., Sims E. T. and VanBlaricom L. O. 1970. Greenleaf Tabasco, a new tobacco etch virus resistant "Tabasco" pepper variety (*Capsicum frutescens* L.). Leaflet. Alabama Agricultural Experiment 81: pp. 1-10.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda F. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. The Iowa State University Press, Ames, Iowa. 468 p.
- Hasanuzzaman, M. and Golam, F. 2011. Gene actions involved in yield and yield contributing traits of chilli (*Capsicum annum* L.). *Austr. J. Crop Sci.* 5(13): pp. 1868-1875.
- Hernández, V. S. 1997. Taxonomía Origen y Domesticación de los Chiles (*Capsicum* Spp.). Boletín informativo, SAGAR. pp.28.
- Ibiza, V. P., Blanca, J., Cañizares, J. and Nuez, F. 2012 Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59: pp. 1077-1088.
- Ix-Nahuat, J. G., Latournerie-Moreno, L., Pech-May, A. M., Pérez-Gutiérrez, A., Tun-Suárez, J. M., Ayora-Ricalde, G., Mijangos-Cortes, J. O., Castañón-Nájera, G., López-Vázquez, J. S. y Montes-Hernández, S. 2013. Valor agronómico de germoplasma de chile dulce (*Capsicum annum*) en Yucatán, México. *Universidad y ciencia tópico húmedo* 29(3): pp. 231-242.
- Kim, S., Ha, T. Y. and Hwang, I. K. 2009. Analysis, bioavailability, and potential healthy effects of capsanthin, natural red pigment from *Capsicum spp.* *Food Rev. Int.* 25: pp. 19-213.
- Kraft, K. H., Brown, C. H., Nabhan, G. P., Luedeling, E., Luna Ruiz, J. J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Hijmans, R. J., & Gepts, P. 2014. Multiple lines of evidence

- for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in México, Proceedings of the National Academy of Sciences 111: pp. 6165–6170.
- Laborde, C. J. y Pozo, C. O. 1982. Presente y pasado de chile en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (SARH-INIA) 80 p.
- Lannes, S. D., Finger, F. L., Schuelter, A. R., Casali, V. W. 2007. Growth and quality of Brazilian accessions of *capsicum chinense* fruits. Sci Hortic 112: pp. 266-270.
- Lee Y. H., Jung, M., Shin, S. H., Lee, J. H., Choi, S. H., Her, N. H., Lee, J. H., Ryu, K. H., Paek, K. Y. and Harn C. H. 2009 Transgenic peppers that are highly tolerant to a new CMV pathotype. Plant Cell Reports 28: pp. 223-232.
- Liu, S., Li, W., Wu, Y., Chen, C., Lei, J. 2013. De novo transcriptome assembly in chili pepper (*Capsicum frutescens*) to identify genes involved in the biosynthesis of capsaicinoids. PLOS One 8: pp. 1-8.
- Loaiza-figueroa, F., Ritland, K., Laborde Cancino, L. A. and Tanksley, S. D. 1989. Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanaceae) in Mexico. Plant Systematics and Evolution 165: pp. 159-188.
- Long-Solís, J. 1986. *Capsicum* y Cultura: la Historia de Chile. Fondo de Cultura Económica. México. 203 p.
- López-Riquelme, O. G. 2003. Chili: La especia del nuevo mundo. Ciencias 69: pp. 66-75.
- Luna-García, L. R., Robledo-Torres, V., Vásquez-Badillo, M., Ramírez-Godina, F. y Mendoza-Villareal, R. 2018. Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de heterosis para rendimiento y calidad de frutos. ITEA (en prensa) xx:1-16.
- Mahmoud, I. M. 2014. Inheritance of some important traits in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal plant production 5(11): pp. 1931-1943.
- Maramba F., Desalegne, L., Harjit-Singh, Fininsa, C. and Sigvald, R. 2008. Genetic components and heritability of yield and yield related traits in hot pepper. Research journal of agriculture and biological sciences 4(6): pp. 803-809.
- Márquez, S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Métodos-teoría-resultados. Tomo II. A.G.T. Editor. México, D.F.

- Márquez-Sánchez, F. 2008. De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I: recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 5: pp. 151-166.
- Martín, N. C. y González W. G. 1991. Caracterización de accesiones de chile (*Capsicum spp.*). *Agronomía mesoamericana*. 2: pp. 21-39.
- Méndez, L. y Garro, G. 2018. Una nueva era de la biotecnología en el mejoramiento genético. *Investiga TEC* 3-4
- Mohamed, M. A., Khereba, A. H., Abo-EL-Hassan, E. and Zaky, M. H. 1995. Genetical studies on sweet pepper: I-Genetic behaviour of yield character. *Egypt. J. Hort. Sci.* 22: pp. 49-64.
- Moreira, S. O., Rodrigues, R., Araújo, M. L., Sudréc, P., Riva-Souza, E. M. 2009. Desempenho agrônômico de linhas endogâmicas recombinadas de pimenta em dois sistemas de cultivo. *Ciência Rural* 39: pp. 1387-1393.
- Morfin, V. A. 1990. Cruzas Simples Tropicales de Maíz Bajo Condiciones de Temporal. Memoria del XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Cd. Juárez Chih. Del 4 al 9 de septiembre. pp 277.
- Moscone, E. A., Scaldaferrro, M. A., Grabiele, M., Cecchini, N. M., García, Y. S., Jarret, R., Daviña, J. R., Ducasse, D. A., Barboza, G. E., Ehrendorfer, F. 2007. The evolution of chili peppers (*Capsicum-Solanaceae*): a cytogenetic perspective. *Acta. Hortic.* 745: pp. 137–169.
- Naresh, P., Rao, V. K., Lavanya, R. B., Anand, R. C., Venkatachalapathi, V. and Madhavi, R. K. 2016. Genetic analysis for fruit biochemical traits (capsaicinoids and carotenoids) and dry fruit yield in chilli (*C. annuum* L.). *Industrial crops and products* 94: pp. 920-931.
- Nascimento, N. F., Nascimento, M. F., Rêgo, E. R., Lima, J. A., Rêgo, M. M., Finge, F. L., Bruckner, C. H. 2015. Intraspecific cross-compatibility in ornamental pepper. *Acta Hortic* 1087: pp. 339-344.
- Nuez, V. F., Ortega, R. G. y Costa, G. J. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi Prensa. 607 pág.
- Ordoñez, M. E., Hohl, H. R., Velasco, J. A., Ramón, M. P., Oyarzun, P. J., Smart, C. D.,... Erselius, L. J. 2000. A novel population of *Phytophthora*, similar to *P.*

- infestans*, attacks wild *Solanum* species in Ecuador. *Phytopathology* 90(2): pp. 197-202.
- Ortiz, R. et al. 2010. Classifying vegetable genetic resources-A case study with domesticated *Capsicum* spp. *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V. 126: pp. 186-191.
- Palloix, A., Daubeze, A. M., Phaly, T. and Pochard, E. 1990a. Breeding transgressive lines of pepper for resistance to *Phytophthora capsici* in a recurrent selection system *Euphytica* 51: pp. 141-150.
- Palloix, A., Pochard, E., Phaly, T. and Daubeze, A. M. 1990b. Recurrent selection for resistance to *Verticillium dahliae* in pepper. *Euphytica* 47: pp. 79-89.
- Panda, R. C., Kumar, O. A., Raja Rao, K. G. 2004. Cytogenetic studies of some F1 hybrids between wild and cultivated taxa of *Capsicum* L. *Cytologia* 69: pp. 203-208.
- Park, M., S.H. Jo, J.K. Kwon, J. Park, J.H. Ahn, S. Kim, Y.H. Lee, T.J. Yang, C.G. Hur, B.C. Kang et al. 2011. Comparative analysis of pepper and tomato reveals euchromatin expansion of pepper genome caused by differential accumulation of Ty3/Gypsy-like elements. *BMC Genomics* 12: pp. 85.
- Payakhapaab, S., Boonyakiat, D. and Nikornpun, M. 2012. Evaluation of heterosis and combining ability of yield components in chillies. *Journal of agricultural science* 11(4): pp. 154-161.
- Pech, M. A., Castañón, N. G., Tun, S. J., Mendoza, E. M., Mijangos, C. J., Pérez, G. A. y Latournerie, M. L. 2010. Efectos heteróticos y aptitud combinatoria de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Revista fitotecnia mexicana* 33(4): pp. 353-360.
- Pickersgill, B. 2007. Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. *Ann Bot* 100: pp. 925-940.
- Pickersgill B. 1991. Cytogenetics and evolution of *Capsicum* L. In: *Chromosome Engineering in Plants: Genetics, Breeding, Evolution, Part B*. Tsuchiya T., and Gupta P. K. (eds.). Amsterdam. Elsevier. pp. 139-160.
- Pickersgill, B. 1984. Migrations of Chilli Peppers, *Capsicum* spp., in the Americas. In: *Pre-columbian plant migration. Papers of the peabody museum of archaeology and ethnology*. Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 105-123.

- Pickersgill, B. 1977. Chromosome and evolution in Capsicum. In: Capsicum 77 C.R. 3^{ème} congrés Eucarpia Piment INRA. E. Pochard (ed.). Avignon-Montfavet. pp. 27-37.
- Pickersgill, B. 1969. The archaeological record of chili peppers (*Capsicum* spp.) and the sequence of plant domestication in peru. *American Antiquity* 34: pp. 54-61.
- Portis, E. N. L., Sasvari, Z., Stigel, A., Barchi, L. and Lanteri, S. 2007. The desing of *Capsicum* spp. SSR assay via analysis of in silico DNA sequence, and their potential utility for genetic mapping. *Plant Sci.* 172: pp. 640-648.
- Pozo, C. O., Montes, H. S. y Redondo, J. E. 1991 Chile (*Capsicum* spp.) In: Ortega P. R., Palomino H. G., Castillo G. F., González H. VA, Livera M. M. (Editores). *Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos en México.* Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, México. pp 217-238.
- Prohens, J. and Rodríguez-Burruezo A. 2010. Advances in genetics and breeding of *capsicum* and eggplant. *On Genetics.*
- Ramírez, M. M, Arcos, C. G., Mata, V. H., Vázquez, G. E. y Méndez, A. R. 2015. Variedades e híbridos de chile y su manejo para el sur de Tamaulipas. *Campo Experimental Las Huastecas, CIRNE- INIFAP. Folleto Técnico.* 47 p.
- Ran, F.A., Hsu, P.D., Wright, J., Agarwala, V., Scott, D.A., & Zhang, F. 2013. Genome engineering using the CRISPR-Cas9 system. *Nature Protocols* 8(11): pp. 2281-2308.
- Rêgo, E. R. and Rêgo, M. M. 2016. Genetics and Breeding of Chili Pepper *Capsicum* spp.. In: *Production and Breeding of Chillii Peppers (Capsicum spp.)*. Springer, Cham.
- Rêgo, M. M., Sapucay, M. J., Rêgo, E. R., Araújo, E. R. 2015 Analysis of divergence and correlation of quantitative traits in ornamental pepper (*Capsicum* spp.). *Acta Horti* 1087: pp. 389-394.
- Rêgo, E. R., Rêgo, M. M., Cruz, C. D., Finger, F. L., Dias, V. C. 2011. Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). *Genet Resour Crop Evol* 58: pp. 909-918.
- Rodrigues R, Gonçalves, L. S. A., Bento, C. S., Sudré, C. P., Robaina, R. R. and

- AMARAL, A. T. 2012. Combining ability and heterosis for agronomic traits in chili pepper. *Horticultura Brasileira* 30: pp. 226-233.
- Sharma, V.K., Semwal, C. S. and Uniyal, S. P. 2010. Genetic variability and character association analysis in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticulture and Forestry* 2(3): pp. 58-65.
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Atlas Agroalimentario 2012-2018. <http://siap.gob.mx/> Consultado en Mayo de 2018.
- Smith, P. G. and Heiser C. B. 1951. Taxonomic and genetic studies on the cultivated peppers, *Capsicum annuum* L. and *C. frutescens* L. *American Journal of Botany* 38: pp. 362-368.
- Sood, S., Sood, R., Sagar, V. and Sharma, K. C. 2009 Genetic variation and association analysis for fruit yield, agronomic and quality characters in bell pepper. *International journal of vegetable science* 15(3): pp. 272-284
- Tanksley, S. D. and Mccouch, S. R. 1997. Seed banks and molecular maps: Unlocking genetic potential from the wild. *Science* 277: pp. 1063-1066.
- Vallejo, C. F. A. y Estrada, S. E. I. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia. Cali-Colombia. 402 pág.
- Villalon, B. 1986. Tambel-2 bell pepper. *HortScience* 21: pp. 328.
- Villalobos, V. 2011. Los transgénicos. Oportunidades y amenazas. Ed. bba. Estado de México.
- Wynne, J. C., Emery, A. D., and Rice, W. P. 1970. Combining Ability Estimates in *Arachis hipogea* L. II. Field performance of F1 Hybrids. *Crop Science* 10: pp. 713-715.
- Zegbe-Dominguez, J., Valdez-Cepeda, R. y Lara-Herrera, A. Importancia, diversidad genética y situación actual del cultivo de chile en México. In: Cultivo de chile en México. Simposio "Tendencias de producción y problemas fitosanitarios actuales". México 2012. 183 pág.