



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO**



**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES.**

CARACTERIZACIÓN DE HÍBRIDOS DE CHILE MANZANO.

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES.**

PRESENTA:

BRENDA AYALA ARIAS

Tutor académico: Dr. Jaime Mejía Carranza

Tutor adjunto: Dr. Luis Miguel Vázquez García

Tutor adjunto: Dr. Martín Rubí Arriaga

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Diciembre 2015.

DEDICATORIA

A Dios y mi familia, dedico el éxito de concluir el trabajo de investigación, que siempre están conmigo.

A mi esposo Pedro, a mis hijos Adán Galdino y Miguel Ángel por su comprensión y apoyo incondicional, para así poder concluir con este trabajo.

A mi madre Rosario quien con el ejemplo me motiva a salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo, conocimiento y experiencias para para la realización de esta investigación. Especialmente a la Maestra Angélica Cortés Terrazas, que siempre estuvo conmigo en buenos y malos momentos.

Dr. Jaime Mejía Carranza por la confianza que deposito en mi para el desarrollo de la investigación, su incondicional y paciencia.

Dr. Luis Miguel Vázquez García. Gracias por su sentido de responsabilidad que predica con el ejemplo y la motivación que me brindó.

Dr. Martín Rubí Arriaga. Gracias por su disposición y sus comentarios acertados.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1 Familia Solanáceas.....	14
2.2 Origen y distribución de <i>Capsicum pubescens</i> R. y P.....	15
2.3 Descripción botánica.....	18
2.4 Requerimientos climáticos y agronómicos	24
2.5 Manejo agronómico.....	27
2.6 Diversidad genética.....	35
2.7 Mejoramiento vegetal.....	37
2.8 Caracterización morfológica.....	40
2.9 Métodos básicos de la mejora vegetal.....	41
2.10 Heterosis.....	46
3. JUSTIFICACIÓN	48
4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	50
4.1 Hipótesis.....	50
4.2 Objetivo general	50
4.3 Objetivos específicos	50
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
5.1 Localización del experimento.....	51
5.2 Material biológico	52
5.3 Siembra y germinación.....	53
5.4 Trasplante y sustrato	54

5.5 Nutrición y riegos.....	55
5.6 Caracterización morfológica de progenitores	56
5.7 Selección de los progenitores	59
5.8 Hibridación manual	60
5.9 Establecimiento de híbridos F1.....	63
5.10 Variables a evaluar en los híbridos	63
5.12 Diseño experimental	65
5.13 Análisis estadístico.....	66
6. RESULTADOS	66
6.1 Caracterización morfológica a progenitores	66
6.1.1 Descriptores para la parte vegetativa de la plántula	66
6.1.2 Descriptores para la parte vegetativa de la planta madura	68
6.1.3 Descriptores para inflorescencia y fruto	73
6.1.4 Descriptores para semillas.....	78
6.1.5 Resumen de los caracteres morfológicos evaluados.....	80
6.2 Caracterización morfológica de los híbridos	83
6.3 Artículo.....	85
7. CONCLUSIONES	104
8. FUENTES CONSULTADAS	108
9. ANEXOS	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales especies con su lugar de origen y número de cromosomas. 17

Figura 2. Se describe la distribución genealógica y cromosomal del género *Capsicum*. 23

Figura 3. Resumen de las cruzas entre especies del género *Capsicum*. (Walsh y Hoot, 2001). 39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Capsicum pubescens</i> R. y P.	21
Cuadro 2. Cantidad de fertilizante utilizado para preparar 1000 litros de solución nutritiva.....	29
Cuadro 3. Principales problemas fitosanitario del chile manzano.	30
Cuadro 4. Proporciones de la mezcla utilizada como sustrato.	55
Cuadro 5. Formula de la solución nutritiva para 1000 litros de agua.....	56
Cuadro 6. Variables a evaluar en la caracterización morfología de progenitores..	57
Cuadro 7. Resultados de la prueba de “T” entre las tres colectas para las variables: largo y ancho de hoja cotiledónea, realizada con datos de 30 mediciones para cada colecta.	68
Cuadro 8. Prueba de “t” realizada para las variables ancho y longitud de hoja madura entre las tres colectas.	71
Cuadro 9. Cuadro comparativo entre las características de altura y ancho de la planta, longitud y diámetro del tallo entre las tres colectas (Prueba de t; $P \leq 0.05$). 72	
Cuadro 10. Comparativo estadístico para los días a floración entre las colectas..	73
Cuadro 11. Prueba de “t” realizada para las variables longitud de corola, longitud de anteras y longitud de filamento.....	74
Cuadro 12. Prueba de “t” realizada para las variables longitud pedicelo, largo y ancho de fruto, grosor del pericarpio.....	77
Cuadro 13. Prueba de “t” realizada para las variables peso de fruto y longitud de placenta.....	78
Cuadro 14. Prueba de “t” para las variables evaluadas a las semillas de chile manzano.....	79
Cuadro 15. Resumen de los caracteres morfológicos descritos en la caracterización.	80
Cuadro 16. Resumen de los híbridos obtenidos.....	83
Cuadro 17. Resultados de la germinación por materiales.	84

ÍNDICE DE IMAGEN

Imagen 1. Géneros de la familia <i>Solanácea</i> , que proporcionan algún beneficio al hombre.	15
Imagen 2. Morfología de la especie <i>Capsicum pubescens</i> R. y P.	20
Imagen 3. En las imágenes se muestra la variabilidad de colores de la flor (a), las formas y colores del fruto (b), así como los hábitos de crecimiento (c). (Fotos autor (2010 – 2012), (Fatalii.net, 1997).	36
Imagen 4. Centro Universitario UAEM Tenancingo. Mapa satelital Google earth, INEGI 2013.	51
Imagen 5. Proceso de hibridación en <i>C. pubescens</i>	60
Imagen 6. Polen viable para realizar las cruizas.	61
Imagen 7. Imagen del etiquetado del híbrido.	61
Imagen 8. Protección utilizada para evitar la contaminación por otro polen,	62
Imagen 9. Punto óptimo de cosecha de la fruta.	62
Imagen 10. Se muestra el color de hipocotíleo. A) Colecta FB de color verde, B) colecta FMC y C) colecta FML con hipocotíleo de color morado. (Foto Martínez, 2012).	67
Imagen 11. Se muestra la diferencia de la concentración de antocianinas entre A) la colecta de FB y las colectas B) FMC y C) FML. (Martínez, 2012)	69
Imagen 12. Densidad de amacollamiento, hojas y ramificación entre las tres colectas.	70
Imagen 13. Color de hoja, forma del margen de la hoja, longitud y ancho de la hoja madura en las tres colectas.	71
Imagen 14. Flores de las diferentes colectas, donde se ve la diferencia de color, tamaño y manchas en la corola (Martínez, 2012).	74
Imagen 15. Numero de flores por axila, color de la corola y posición de la flor entre las colectas.	75
Imagen 16. Se muestra el color del fruto en estado intermedio y punto de cosecha, así como la forma del fruto para las tres colectas.	76

Imagen 17. Comparativo entre las tres colectas del número de lóculos y color de la semilla (Martínez, 2012).....	78
--	----

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad genética de la vida abarca tres niveles de expresión: ecosistemas, especies y genes. México es catalogado como un país de alta diversidad biológica y cuenta con más del 65% del área del país por encima de los mil metros sobre el nivel del mar (Benítez D. y Bellot R., 2007). Esto hace posible la adaptación de variedades de Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica para la producción comercial.

En el país se cultiva alrededor de 70 variedades comerciales, sobresaliendo las especies de la familia *Solanáceas* (Fiananciera Rural, 2008); que incluye cultivos comestibles como papa (*Solanum Tuberosum L.*), jitomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), berenjena (*Solanum melongena L.*), tomate de cascara (*Physalis spp. L.*) y chile (*Capsicum spp.*) (FAO 2012).

A nivel mundial China, México y Turquía son los principales productores de chile (FAOSTAT, 2012), condimento básico en la dieta de la población de algunas sociedades, siendo América Latina el principal consumidor (FAO, 1998). Particularmente en México el chile es un cultivo representativo de nuestra cultura ha sido usado desde la época precolombina como condimento, moneda, castigo o un producto medicinal (Long-Solís, 1986), y hoy en día arraigado en todos los estratos socioeconómicos del país; utilizado de diversas formas como condimento en verde y seco, encurtido, colorante, en salsas y en la elaboración de algunos productos farmacéuticos.

Se estima que el 25% de la población mundial consume diariamente algún tipo de chile (Alonso *et al.*, 2008; Limón *et al.*, 2010). En México, se consume alrededor de 9 a 12 kg anuales *per capita* de chile (*Capsicum spp.*) un sus distintas especies, la mayoría del consumo es en fresco (Castellón, 2012).

Comercialmente se cultivan cinco especies de las cuales el chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) toma importancia en los mercados nacionales e internacionales debido a las propiedades médicas que le atribuyen. Es la hortaliza con mayor contenido de vitamina A y C (Maroto, 2002), además que contiene altos contenidos de alcaloides como la capsaicina (Chávez, 1999).

En el año 2010 la institución norteamericana Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS), dependencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), emitió la autorización para que se importe chile manzano desde septiembre del 2010, como resultado de la demanda por parte de los connacionales (SAGARPA, 2010).

El chile manzano en particular puede alcanzar un precio constante y en ciertos periodos de doble o triple al que se paga por el chile serrano (*C. annum*), por lo que se convierte en un cultivo atractivo para los productores (Pérez y Castro, 1998). La superficie sembrada a nivel nacional es de aproximadamente 1500 hectáreas a cielo abierto (Asociación Nacional de Productores de Chile Manzano, 2009); sin embargo a partir de 1994 se ha propuesto su cultivo en condiciones de invernadero bajo diferentes sistemas, que va desde el tradicional al uso de la hidroponía, para el año 2008 se reportan 98 hectáreas en invernadero cultivadas con *C. pubescens* y una cosecha de 901.4 toneladas que representa 7 millones

569 mil pesos (Montes, 2010) mismas que están distribuidas en el Estado de México, Michoacán, Puebla y Veracruz de acuerdo con lo anterior, el chile manzano es un producto con altas posibilidades de comercialización a nivel mundial.

El interés que despierta el cultivo conlleva a generar información del manejo agronómico y desarrollo de nuevas variedades adaptadas a una producción intensiva, con un producto homogéneo que cubra las necesidades del mercado. Para esto debemos de concientizar del valor de los recursos fitogenéticos con los que contamos en México; la FAO se refiere a ellos como la clave de la seguridad alimentaria, el desarrollo agrícola y la sostenibilidad (FAO, 1996); razón por la cual se hace indispensable producir nuevos genotipos de plantas basándose en la biodiversidad de la zona.

México como país presenta un lento desarrollo en relación al aprovechamiento de su diversidad, siendo esta área de investigación, de interés para los productores porque favorece la identificación de características comerciales e industriales en los cultivos, abre oportunidades para obtener resultados, aportar y fortalecer información al área científica, para establecer las bases del desarrollo de nuevas variedades.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Familia Solanáceas

La familia *Solanácea* de distribución cosmopolita, se compone de 98 géneros y unas 2,700 especies, muchas de las especies son de interés económico, ya sea como cultivos industriales (tabaco, *Nicotiana tabacum*), cultivos medicinales (belladona, *Atropa belladonna*), cultivos ornamentales (petunia, *Petunia hybrida*) y, especialmente como cultivos hortícolas, entre los que hay varios de significación mundial como papa, tomate, pimiento, chile y berenjena.

Las características principales de la familia son las de ser plantas generalmente herbáceas, aunque hay especies arbustivas y arbóreas; erguidas o decumbente. Las hojas son alternas simples y las flores son en general hermafroditas, hay especies monoicas, andromonoicas o dioicas (como por ejemplo, algunos *Solanum* o *Symonanthus*). La polinización es entomófila y las flores pueden ser solitarias o estar agregadas en inflorescencias cimosas, terminales o axilares, flores pentámeras perfectas, cuyos pétalos forman una corola tubular, al menos en la base, y los estambres se alternan con los cinco lóbulos de la corona. El ovario generalmente es bilocular, aunque también puede ser multilocular, con muchos óvulos en placentas axilares, y con un estilo terminal. Los frutos pueden ser bayas o cápsulas. En varias especies existe una reconocida producción de alcaloides o compuestos nitrogenados aromáticos, en algunos casos, se usan como drogas medicinales o estimulantes pero fácilmente pueden llegar a tener efecto en los animales y el hombre (CATIE, 2016).

Géneros de la familia Solanaceae

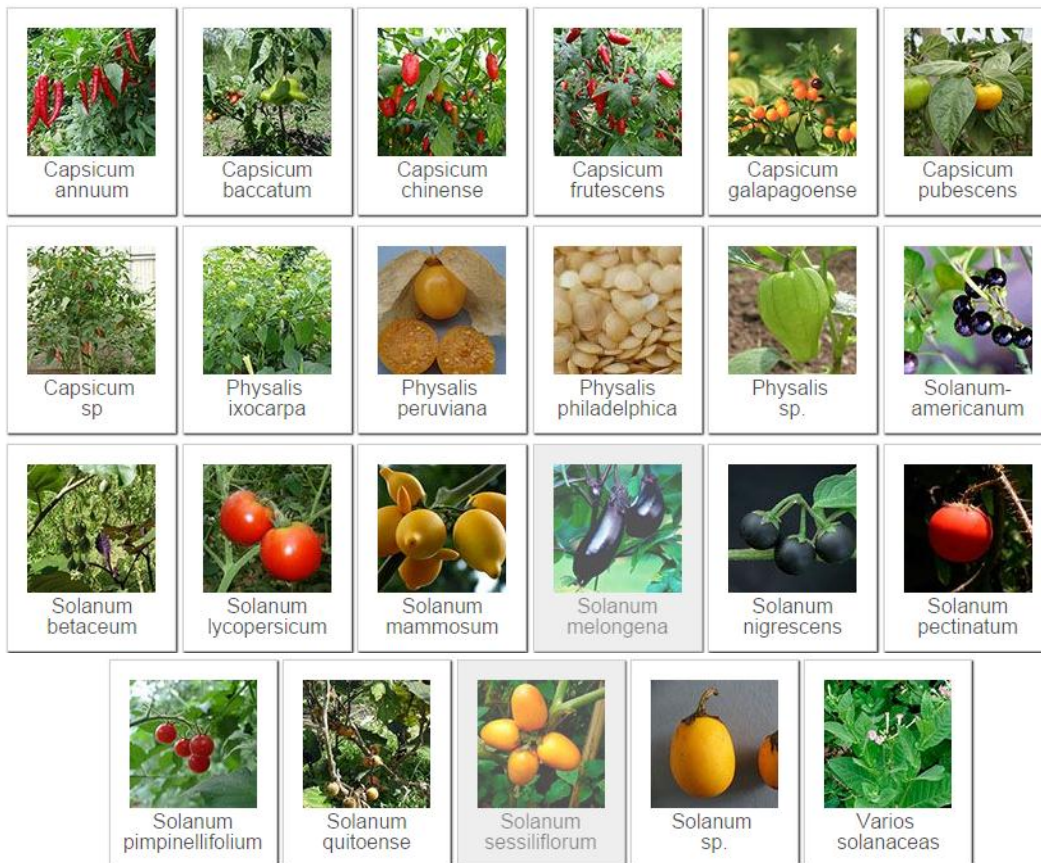


Imagen 1. Géneros de la familia *Solanácea*, que proporcionan algún beneficio al hombre.

(CATIE, 2016).

2.2 Origen y distribución de *Capsicum pubescens* R. y P.

El chile (*Capsicum spp.*), junto con el maíz (*Zea mays* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), la calabaza (*Cucurbita spp.*) son ejemplos de los elementos más importantes en la dieta mexicana; siendo esencial el picor del chile como condimento (López, 2009). El cultivo de *Capsicum spp.*, se originó en América Central y América del Sur, se han descrito 200 especies de este género pero solo 40 han sido reportadas por The plant list en el año 2013 sin embargo la mayoría identifican de 27 a 30 especies según al autor que las cite, a lo largo del

continente Americano se ubica una amplia variedad de especies pero concuerdan que se cultivan comercialmente solo cinco: *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq, *C. baccatum* L. y *C. pubescens* R. y P. (Eshbaugh, 1980; Heiser Jr y Pickersgill, 1969; Hernández et al; 1999; Loaiza-Figueroa, Ritland, Cancino y Tanksley, 1989; Viñals, Ortega y García, 1996). La especie *pubescens* fue reportada por primera vez por Ruiz y Pavón en 1799 (Viñals, et al., 1996).

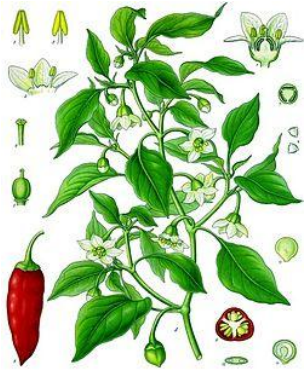



	
<p><i>Capsicum annuum</i> L. Köhler's Medicinal Plants, 1887</p>	<p><i>Capsicum frutescens</i> L. Heiser y Pickersgill, 1969</p>
	
<p><i>Capsicum chinense</i> Jacq. Royal Botanical Expedition, 1549</p>	<p><i>Capsicum baccatum</i> L. Weinmann, J.W. 1945</p>

Ilustración 1. Cuatro de las principales especies cultivadas en México.

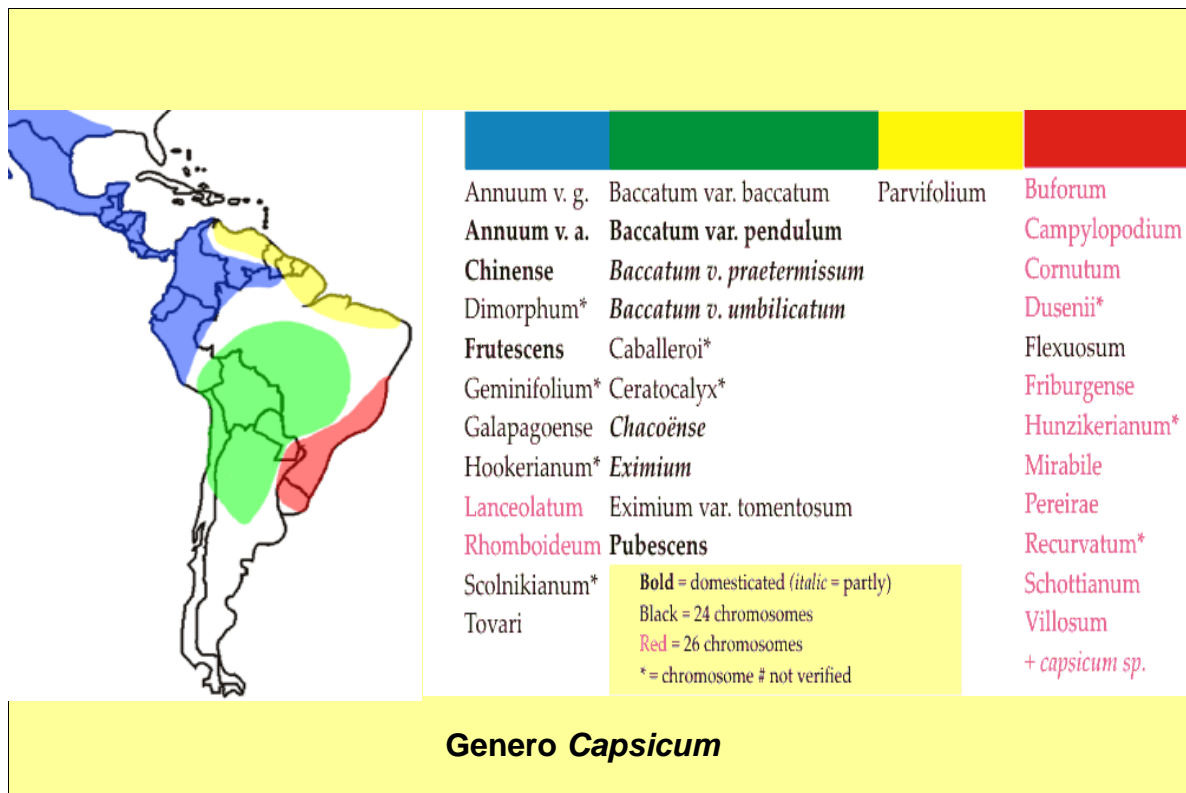


Figura 1. Principales especies con su lugar de origen y número de cromosomas.

En México el chile manzano es por su sabor de los condimentos más importantes en la zona centro del país, conocido como “chile manzano” en Estado de México, Puebla, Veracruz, en Querétaro se denomina chile perón o ciruelo y jalapeño de la sierra en Chiapas. El chile manzano fue introducido a México de América del sur (Perú, Bolivia y Ecuador y Cuba) a principios del siglo XX (Heiser y Smith, 1953; Loaiza-Figueroa, et al., 1989; Pozo, 1983), adaptándose a regiones con altitudes de 1700 a 2500 m, clima templado semifrío con lluvias en verano y seco en invierno, temperaturas mensuales arriba de 18°C en los meses cálidos y menores a 0°C en mese fríos, con precipitaciones mayores a 500 mm (Chávez, 1999). Especie distribuida desde la Sierra Norte de Puebla, Michoacán, Veracruz, Estado de México y Chiapas, principalmente (Pérez y Castro, 2010).

Capsicum pubescens es la única de las especies domesticadas de éste género que no tiene formas silvestres claramente identificada (Heiser Jr y Pickersgill, 1969).

2.3 Descripción botánica

La planta es hermafrodita con cierto porcentaje de autogamia (Martín y González, 1991), la floración inicia en el primer nodo de la bifurcación, y así sucesivamente en cada nodo (Bosland, 1996), con flores solitarias de corolas en gama de colores violeta en ocasiones con los borde blancos sin manchas difusas en la base de los pétalos; la flor de corola blanca fue reportada por Chávez (1995). El centro de la flor por lo general es blanco, en algunos casos se acumula néctar amarillo en esta posición y simula una mancha (Viñals, *et al.*, 1996), la corola por lo general presenta pétalos rectos, el cáliz se fusionan en la base de la corola. Las anteras tienen la misma longitud, en algunos casos parece haberse incrementado el porcentaje de autopolinización por la posición de las anteras en relación al estigma como lo menciona Pickersgill (1969), el ovario es súpero; en las axilas se encuentran uno o dos peciolos y raramente tres. La diferenciación floral ésta afectada por la temperatura del aire en particular durante la noche (Bosland, 1996).

El fruto es una baya carnosa y hueca llena de aire y semilla en la cual, el cáliz de los frutos maduros por lo general sin constricción anular en la unión con el pedicelo, venas prolongadas en dientes. La coloración en la base del fruto en estado inmaduro es verde, cuando madura se puede encontrar en amarillo,

naranja o rojo. La estructura del fruto varía en el número de lóculos desde uno hasta cuatro. La longitud del fruto es de 4 a 8 cm y diámetro de 2 a 6 cm; el grosor del pericarpio va de 2 a 6 mm. Los frutos contienen de 16 a 50 semillas, es el único chile del género *Capsicum* que posee semillas negras, las cuales son de forma ovalada y ligeramente onduladas en el borde (Chávez, et al., 1999; Martín y González, 1991; Pérez y Castro, 2010), por el proceso de domesticación el chile manzano ha perdido la capacidad de dispersión, ya que el fruto se madura hasta la cosecha. Lo cual nos permite señalar que la variación genética sobre todo en características de interés agronómico es producto de la combinación natural y la selección practicada por los productores (Chávez, 1995).

El cultivo presenta una raíz pivotante de origen seminal con múltiples raíces secundarias, el 80% se encuentra en los primeros 30 cm del suelo, cuando se cultiva en algún contenedor se concentra en los primeros 15 cm. Los tallos son leñosos y de crecimiento erecto, algunos ejemplares presentan abundante pubescencia, es de color verde excepto los primeros entre nudos, su ramificación es pseudo dicotómica. Las hojas son pecioladas y su filotaxia es alterna dística, es simple con forma cordada y ápice acuminado, los bordes lisos, vellosas y la nervadura reticulada perinerve.

Existen dos tipos de hábitos de crecimiento del chile manzano; uno es de porte determinado e indeterminado, diferenciados básicamente por la longitud de entrenudos y la maduración de los frutos. Estos dos tipos de planta se encuentran mezcladas en las diferentes poblaciones de chile manzano que existen en las

regiones altas y frías del país, las cuales es necesario caracterizar y formar variedades de uno u otro hábito de crecimiento (Pérez et al., 2002).



Raíz (Pérez, 2010)



Tallo (Autor, 2011)



Hoja (Autor, 2012)



Flor (Autor, 2011)



Fruto (Autor, 2011)



Semilla (Autor, 2012)

Imagen 2. Morfología de la especie *Capsicum pubescens* R. y P.

Con el avance de la tecnología hoy en día se puede decir que el número básico de cromosomas en el género *Capsicum* es $x=12$, para *Capsicum pubescens* R. y P. se identifica un número cromosómico de $2n = 24$ (Heiser Jr y Pickersgill, 1969; Shopova, 1966) con un par de cromosomas acrocéntrico (Viñals, et al., 1996), en general las especies de este género *Capsicum* son diploides (Sinha, 1950).

Sinónimos para *C. pubescens*:

- *Brachistus lanceifolium* Miers
- *Capsicum annuum* var. *violaceum* Voss
- *Capsicum lanceifolium* (Miers) Kuntze
- *Capsicum violaceum* Kunth nom. illeg.1

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Capsicum pubescens* R. y P.

Clasificación taxonómica	Reino	Vegetal
	Subreino	Embriophytas
	División	Tracheophytas
	Subdivisión	Pteropsidas
	Clase	Angiospermas
	Subclase	Dicotiledóneas
	Orden	Tubiflorales
	Familia	Solanaceae
	Genero	<i>Capsicum</i>
	Epíteto específico	<i>pubescens</i> Ruiz y Pavón

En el género *Capsicum* se identifican varios complejos: *C. annum*, *C. baccatum*, *C. pubescens*; la mayoría de las especies de este género son compatibles, sin embargo el complejo *C. pubescens* (*C. eximium*, *C. cardenasii* y *C. pubescens*) presentan incompatibilidad bilateral entre las especies que lo forman y con especies del género *Capsicum* presentan incompatibilidad unilateral; en los pistilos se inhibe la formación de tubo polínico de otras especies fuera del complejo *C. pubescens* sin embargo las cruza reciprocas son compatible (Onus y Pickersgill,

2004) al polinizarse *C. pubescens* con especie como *C. annum*, rara vez se obtienen frutos, y cuando esto sucede carecen de semillas, cuando se cruza con las otras especies cultivadas no hay formación de fruto, aunque con *C. chinense* puede formar embriones inmaduros. La incompatibilidad unilateral no es producto de selección natural si no de la divergencia genética (Onus y Pickersgill, 2004).

En el proceso de domesticación se identifica que género *Capsicum* modificó de su forma silvestre el tamaño, forma y en algunos casos el color del fruto; así como la capacidad de dispersarse, generando frutos no deciduos o incrementando la frecuencia de autopolinización por la modificación de la posición de las anteras en relación al estigma, en algunos chiles cultivados se presentan anteras y estigma al mismo nivel (Heiser Jr y Pickersgill, 1969).

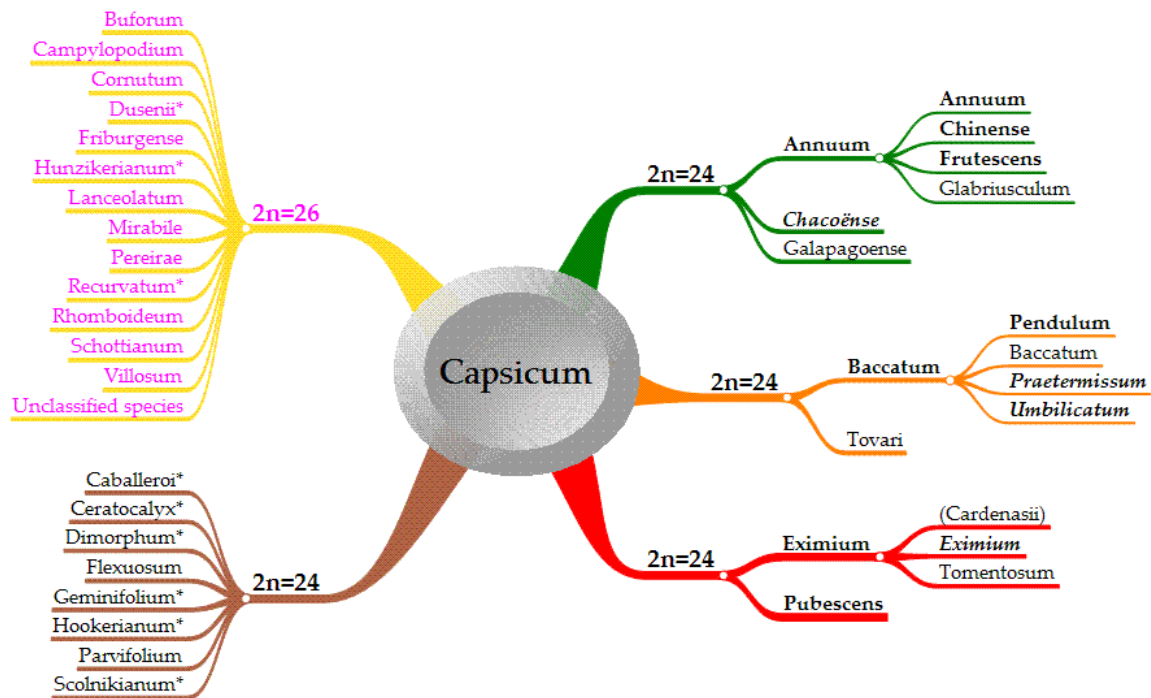


Figura 2. Se describe la distribución genealógica y cromosomal del género *Capsicum*.

Dentro de sus desventajas el chile manzano presenta alto porcentaje de aborto floral cuando se registran temperaturas menores a 5°C o mayores a 35°C, aún no se registra el dato preciso, pero el chile habanero registra el 40% de aborto floral (Ramírez, et al., 2005). El cultivo tolera heladas ligeras después de su primer año de vida (Bosland, 1996; Ramírez, et al., 2005).

El chile manzano contiene altas concentraciones de capsaicinoides, metabolito secundario que definen el sabor picante y el color del fruto. La capsaicina y dihidrocapsaicina (Topuz y Ozdemir, 2004), son compuestos que estimulan el sistema cardiovascular, funcionan como anticoagulantes, antiinflamatorio, antioxidante (López, 2009); la capsaicina es un compuesto que al entrar en

contacto con las neuronas sensoriales da como resultado la liberación de opioides, como las endorfinas, que son sustancias que bloquean el dolor, utilizadas para el tratamiento de dolores provocados por la artritis reumatoide y la neuropatía diabética (Castellón, 2012), esta sustancia ejerce múltiples efectos en la salud humana por su potencial para la prevención del cáncer y la pérdida de peso, así como la actividad antioxidante (Luo et al., 2011; Sánchez et al., 2010) ha tomado importancia en el sector farmacéutico; el cual demanda grandes cantidades de pulpa de chile manzano.

Además de tener vitamina A y vitamina C en mayor concentración que otras hortalizas (Dürüst et al., 1997; Maroto, 2002). El chile manzano contiene vitamina C que es un factor preventivo del cáncer, por la habilidad de inhibir compuestos N-nitrosos. El chile manzano presenta en algunos de sus cultivares el 50% de la concentración proporcionada por la guayaba, cultivo con el mayor contenido de vitamina C (Pérez et al., 2007).

2.4 Requerimientos climáticos y agronómicos

Temperatura: El rango de las temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo adecuado de la especie es de 18 a 22 ° C en el día y 10 a 12 ° C en la noche. A temperaturas mayores a los 35° C o menores a los 5° C provocan aborto floral y detienen el crecimiento vegetativo. La temperatura para la germinación es de 25 a 28 ° C lo cual sucede a los 8 días si la semilla es reciente, si las semillas tienen un tiempo mayor a 60 días cosechadas va disminuyendo el porcentaje de

germinación, dependiendo de las condiciones de almacenamiento que hayan tenido (Perez, 2002). Los productores de la zona recomiendan dejar remojando la semilla en agua todo un día.

Radiación: Con la radiación incidente del día, en el mes de Mayo, cuando se presentan los máximos valores de radiación, las hojas de la planta de chile manzano se tornan amarillas ya que ocurre la desnaturalización de la clorofila y los frutos presentan una pigmentación color marrón, por lo que la planta es cultivada bajo condiciones de sombra. La radiación óptima para el chile manzano es de 450 a 600 lúmenes (micromoles por m²-s o 2500 a 2700 pies candela) (Perez, 2002).

El chile manzano es poco exigente en intensidad luminosa, por lo que prospera fácilmente en asociación con otras especies que le proporcionen sombra, con un 70% de radiación solar tiene buen crecimiento de tallo y ramificaciones, pero se reduce el número de flores; por lo que se recomienda un sombreado del 30 al 50% (Pozo, 1983).

Humedad relativa y del suelo: La planta se desarrolla bien con humedad relativa de 70 a 80%. Arriba de este valor se tiene poca dehiscencia de anteras disminuyendo la polinización y fecundación de los óvulos, y en consecuencia se tiene menor número de semillas y a su vez menor tamaño de fruto. Con humedades relativas menores al 40% existe deshidratación de los granos de polen. Lo cual también ocasiona una baja polinización y formación de semillas (Perez, 2002; Ruiz, 2012).

Sustrato: *Capsicum pubescens* es un especie que se adapta a suelos andosoles, luvisoles, cambisoles, regosoles y acrisoles; sin embargo las condiciones óptimas para mejorar el proceso de absorción de la raíz y proveer un desarrollo y crecimiento adecuado, se requiere que el suelo tenga una textura franca - arenosa, profundos y con pH de 5.5 a 6.5 (G. Pérez y Castro, 2010). Estas condiciones favorecen el control de problemas fúngicos en la raíz. En estudios realizados en el Estado de México se obtuvieron mejores rendimiento al utilizar una mezcla de tezontle con vermicomposta (Ruiz, 2012), los productores recomiendan utilizar la combinación de tepojal mas hojarasca de encino en proceso de descomposición y estiércol de ganado vacuno composteado a una relación 1:1:1.

Reguladores de crecimiento: Se recomienda la aplicación de reguladores de crecimiento para asegurar la floración y el amarre de frutos como el Maxigrow y Bioforte (Ramírez, et al., 2005).

2.5 Manejo agronómico

La selección del material de propagación es el principio de un buen manejo agronómico, en el caso del chile manzano la semilla más apropiada es la que se obtiene directamente del fruto, esto se debe a que el contenido de humedad de la semilla es alto lo que favorece el rompimiento de la testa, emergiendo en un periodo de cinco a seis días. En semillas almacenadas por varios días se recomienda remojarlas en agua por un periodo de 12 a 24 horas, o dar un tratamiento químico a base de ácido sulfúrico o ácido giberélico a una concentración de 200 a 300 ppm, es importante aplicar un tratamiento fungicida para evitar daños por hongos.

Para el desarrollo de plántulas se puede utilizar charolas de 200 cavidades, donde pueden permanecer hasta la aparición de cuatro hojas verdaderas, utilizando un sustrato con pH neutro y rico en materia orgánica, posteriormente se recomienda trasplantar a un contenedor de capacidad aproximada a 200 ml, donde puede permanecer hasta que presenten 8 o 12 hojas verdaderas, según sea la altura de la colecta. Para el sustrato de desarrollo se puede mezclar turba y agrolita o tierra de monte con agrolita.

Es importante regular el pH del sustrato como una técnica preventiva para evitar fungosis en el tallo como: *Phytophthora capsici* L. *Fusarium spp.* y *Rizoctonia solani* (Pérez y Castro, 2010). Una de las prácticas utilizadas para regular el pH del sustrato y de esa forma asegurar condiciones adversas para el patógeno es aplicar cal agrícola alrededor del tallo con una dosis de 0.2 gramos, cuando la plántula presenta una hoja verdadera, además de regular la humedad del sustrato

la cual debe ser menor al 50%, la resequedad puede afectar el proceso de germinación. También se recomienda tener la charola en una sombra que proporcione aproximadamente 21,000 luxes (2,000 $lm-ft^2$). Para el desarrollo de la plántula de forma vigorosa se puede adicionar un fertilizante iniciador (2:1:1) con micronutrientes. La solución de Stainer al 25% puede ser otra alternativa de nutrición en almacigo.

Como contenedor final se recomienda uno con capacidad de 50 litros, con el interior color negro y el exterior blanco, para disminuir el efecto a la exposición del sol. Este contenedor debe tener al menos 4 perforaciones distribuidas para asegurar un buen drenaje. El arreglo de los contenedores se recomienda en hileras de 1.60 m por 50 cm de separación entre plantas, de tal manera que en 1,500 m² se colocan 13 hileras con 140 plantas en cada una, dando un total de 1,820 plantas, lo cual representa 1.2 plantas por metro cuadrado y equivale a 12,133 plantas por hectárea (Pérez y Castro, 2010).

Para la nutrición durante el desarrollo vegetativo del cultivo se recomienda utilizar la solución nutritiva de Stainer (1984), debe aplicarse en el sistema de riego por goteo. La solución se prepara en 1000 litros de agua. En la preparación se debe tenerse especial cuidado con la acidez, procurando un pH de 5.0 a 5.5 ajustado con ácido sulfúrico.

Cuadro 2. Cantidad de fertilizante utilizado para preparar 1000 litros de solución nutritiva.

FUENTE	CANTIDAD (g)
Ácido Fosfórico 85%	100.0 ml
Sulfato de potasio	870.0
Sulfato de magnesio	1230.0
Nitrato de potasio	750.0
Nitrato de calcio	1300.0
Sulfato ferroso	50.0
Sulfato de manganeso	10.0
Sulfato de zinc	5.0
Sulfato de cobre	5.0
Borax	20.0g

Durante los primeros 20 días después del trasplante la solución se debe aplicar a una concentración al 50%, durante los siguientes 30 días aplicar al 75%, posteriormente al 100%, no es recomendable aplicar dosis mayores ya que pueden ocasionar salinización del sustrato y aumentar la presión osmótica, la cual disminuirá la absorción de agua y puede provocar la deficiencia de magnesio, potasio y calcio (Pérez y Castro, 2010).

En relación al manejo fitosanitario en este cultivo se identifican los siguientes fitopatógenos para los cuales existen diversas estrategias de manejo según sea el objetivo de trabajo, siendo la principal la prevención con un monitoreo constante del cultivo.

Cuadro 3. Principales problemas fitosanitario del chile manzano.

Insectos	Enfermedades
Mosquita blanca <i>Trialeuodes vaporarium</i> W. <i>Bemisia</i> spp.	Secadera <i>Phytophora capsici</i> L. <i>Fusarium oxisporum</i> Schlecht
Araña roja <i>Tetranychus</i> sp.	Botritis <i>Botrytis cinerea</i> P.
Araña blanca <i>Polyphagotarsonemus latus</i> B.	<i>Fumagina</i> spp.
Caracol de jardín <i>Helix pomatia</i> L.	<i>Pseudomonas</i> spp.
Gusano del fruto <i>Heliotis virescens</i> F.	
Pulgón <i>Myzus persicae</i> S.	

Manejo agronómico sugerido para los principales problemas fitosanitarios del chile manzano.

Mosquita blanca: Esta plaga (*Trialeuodes vaporarium* W. y *Bemisia* spp como principales especies) es importante en los primeros 10 días después del trasplante, ya que los altos niveles poblacionales pueden causar virosis. Para evitar que la población se incremente es recomendable colocar platos o cinta de polietileno amarilla distribuidos en todo el invernadero por lo menos cada 5 m, los platos deben de ser cubiertos con una bolsa de plástico a la cual se le adhiere un pegamento especial como: adherex, adequim o el biotac, en el momento en que

se detectan 3 mosquitas por plato se debe de realizar una aplicación. Cuando la bolsa este saturada de insectos se recomienda cambiarla. Esta práctica facilita el monitoreo y determinar el umbral económico.

Una vez identificado el problema se puede combatir con el uso de productos a base de extractos de plantas como Protek, Biocrak y Bugclean a una dosis de 2 ml⁻L estos funcionan como repelentes; tratamiento químico recomendados son utilizar el Confidor (Imidacloprid) a una dosis de 1ml⁻L en el cuello de la planta después de los 10 días después del trasplante. Si el ataque de mosquita blanca es severo se recomienda una rotación de insecticidas.

Araña roja: *Tetranychus sp* ataca es por medio de la succión de la savia de las hojas y produce un manchado rojizo en ellas, posteriormente se vuelven amarillentas y caen con mucha facilidad, para prevenir su presencia se deben evitar temperaturas arriba de los 25°C y humedad relativa menor al 50%. El monitoreo consiste en realizar observaciones en las hojas intermedias de la planta, como practica preventiva se puede utilizar productos elaborados a base de canela. El control biológico se basa en la utilización de *Amblyseius californicus* MCGregor, *Phytoseiulus permisilis* Athias-Henriot, *Feltiella acarisuga* Vallot, *Cryosoperla carnea* Stephens y *Scolothrips sexmaxucatus*. En caso necesario aplicar AK 20 o agrimec (abamectina) a razón de 1.0 a 0.7 ml⁻L de agua respectivamente (G. Pérez & Castro, 2010). Estudios realizados en la región de Villa Guerrero sobre resistencia de araña roja a acaricidas convencionales en cultivo de rosal muestran que este acaro es resistente a abamectina y muestra baja resistencia a productos como Oxido de Fenbutatin y Clorfenapir, por lo cual

se recomienda utilizar estos productos pero de forma limitada (González, et al., 2010) .

Araña blanca: *Polyphagotarsonemus latus* B. genera los primeros síntomas como rizado de los nervios en las hojas apicales y brotes, y curvaturas de las hojas más desarrolladas; en ataques más severos se produce enanismo y una coloración verde intensa de las plantas. Se distribuye por focos dentro del invernadero y se dispersa rápidamente en épocas calurosas, requiere humedad relativa arriba del 80% y temperaturas superiores a 23°C. Para su control es conveniente evitar el goteo de la cubierta plástica y tener buena circulación del aire, en caso necesario aplicar abamectina, diazinon a una dosis de 1ml \bar{L} de agua.

Caracol de jardín: El cultivo de chile de manzano requiere de alta humedad relativa (70-80%) y temperaturas frescas (10-20°C), condiciones que permite que *Helix pomatia* L. prolifere. Los caracoles se alimentan de la epidermis de los tallos y frutos de la planta; en las primeras fases de desarrollo de los cultivos sus daños pueden ser de graves consecuencias al causar la muerte de ramas por las lesiones que provocan al raspar el tejido epidérmico. Para el control de este molusco se recomienda espolvoreado de sal o cal y aplicación de cerveza; sin embargo, la forma más eficaz es retirarlos al atardecer, momento en el cual se alimentan de las plantas.

Gusano del fruto: Este gusano se alimenta de las hojas y frutos por lo que se recomienda mantener cerrados los accesos del invernadero para evitar la entrada de la palomilla que ovipositan en las plantas. Para controlar *Heliothis virescens* F. se recomienda aplicar productos a base de *Bacillus thuringiensis* B. con dosis de

1gr ˘L de agua, también se pueden aplicar extractos vegetales a base de ajo y cebolla como bugclean, protek y biocrac que actúan como repelentes. En caso necesario se deben aplicar productos químicos como metomil (methomyl) y piretroides (permetrina y cipermetrinas) que son de bajo poder residual y permiten cosechar los frutos después de una semana de su aplicación.

Pulgón: *Myzus persicae* S. se distingue por estar presente durante todo el ciclo del cultivo y se alimenta de la savia de la planta; su población se incrementa en períodos de días nublados y frescos. Para su control se emplean trampas de color azul similar a las amarillas para mosquita blanca. También se puede aplicar el hongo *Bauveria* sp., que parasita a esta plaga o como última opción se pueden aplicar productos insecticidas de diferentes grupos toxicológicos.

En relación a las enfermedades se identifican:

Secadera: Es una enfermedad que de acuerdo a Pérez y Castro (2010) es provocada por *Phytophthora capsici* Leonian; sin embargo estudios sobre la etiología de dicha enfermedad en la región de Tenancingo y Coatepec de Harinas, se identifica a *Fusarium oxysporum* Schlecht como el patógeno (Vallejo, 2010). No obstante no escapa la posibilidad de que los causantes sean un complejo de patógenos incluyendo los ya mencionados. Esta requiere temperaturas de 22°C, humedad relativa mayor al 90% y sustratos muy húmedos, esta es la principal enfermedad a campo abierto. Los síntomas son marchitamientos vasculares iniciales y muerte posterior del tejido. Para la prevención de esta enfermedad se

recomienda aplicar cal al cuello de la planta además de utilizar fungicidas a base de cobre, azufre y clorotalonil y en casos curativos se puede aplicar metalaxil.

Botrytis: *Botrytis cinerea* Pers se presenta en plantas maduras, con humedad relativa mayor al 90%, particularmente cuando inicia la maduración frutos, cuando hay un follaje denso. En condiciones de alta incidencia la enfermedad llega a causar necrosis del tallo con promoción de brotes laterales no deseados abajo del área de daño. La mejor forma de controlar esta enfermedad es separando las plantas y efectuar oportunamente la poda de las hojas y brotes, así como disminuir la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva, para reducir el vigor excesivo de las hojas. Los productos que se utilizan para controlar esta enfermedad son a base de cobre, azufre y clorotalonil de manera preventiva y metalaxil (mancozeb) de forma curativa.

Fumagina spp.: Este patógeno se alimenta de los azúcares que excretan la mosquita blanca y el pulgón. Cuando es alta la población de estos insectos, el hongo se reproduce con gran rapidez y logra cubrir toda la hoja con una coloración negra de tal manera que ya no realiza la actividad fotosintética adecuada. En su control se aplica caldo bórdeles, el cual se prepara con 3 gramos de sulfato de cobre más 3 gramos de cal por litro de agua.

Pseudomonas spp.: La bacteria se presenta en forma de roña en las hojas y frutos, se encuentra presente en todo el ciclo del cultivo. Se recomienda aplicar oxitetraciclina (terramicina agrícola y agrimicin).

2.6 Diversidad genética.

La mayoría de los trabajos de mejoramiento genético se enfocan en el complejo *C. annum*, que incluye tres especies estrechamente relacionadas, *C. annum*, *C. chinense*, *C. frutescen*. Ya que el chile serrano (*C. annum*) es el más cultivado en el país. Sin embargo México por su geografía presenta vastas zonas micro ambientales que facilita el cultivo de otros géneros de interés económico como *C. pubescens*.

Para iniciar programas de mejoramiento genético el primer paso es identificar la diversidad genética de la especie de interés; entre mayor diversidad mayor la posibilidad de realizar mejoras en la productividad del cultivo.

En la zona centro del país se identifica una amplia gama de formas y tamaños de frutos de *C. pubescens* (Pérez, 2010). Dentro de los reportes descriptivos del género se presenta que los ancestros silvestres de *C. pubescens* no se han determinado, se sugiere que ha sido domesticados por adaptación (Bosland, 1996), tiene similitudes estrechas con *C. cardinales* y *C. eximium*, estas especies forman el complejo *pubescens*, se agrupan por el número de cromosomas, sin embargo difieren en sus características morfológicas y moleculares (Pickersgill, 1997).

En *C. pubescens* se identifica una amplia diversidad de frutos, en forma y color, no tanto como *C. annum*; además de otras características morfológicas de la planta como el hábito de crecimiento y el color de la corola.



Imagen 3. En las imágenes se muestra la variabilidad de colores de la flor (a), las formas y colores del fruto (b), así como los hábitos de crecimiento (c). (Fotos autor (2010 – 2012), (Fatalii.net, 1997).

2.7 Mejoramiento vegetal

Consiste en la identificación de las características sobresalientes o deseables en un cultivo para potencializar su expresión, por el vigor híbrido o heterosis, tales como mayor resistencia a las enfermedades, mejores valores nutricionales, sabores más agradables e intensos, mayor rendimientos entre otras (Cervantes, 2010).

Las técnicas de mejoramiento genético hoy en día son amplias, sin embargo es necesario identificar la disponibilidad de material, la diversidad genética que presenta el cultivo, y la variación genética de las especies silvestres en relación con las domesticadas, todo esto ofrece complejos de nuevos genes para el mejoramiento estratégico de tolerancia a factores adversos bióticos y abióticos (Bosland, 1996) y es importante para seleccionar la técnica más apropiada para el desarrollo de nuevas variedades. Básicamente, se pueden reducir a tres: selección, hibridación y aprovechamiento de aquellas mutaciones que se manifiestan de forma natural y espontánea.

Las tres últimas generan descendencia por la vía sexual y tiene el potencial de generar nuevas especies biológicas; es decir, en el momento en que un híbrido conserva sus nuevas características constantes recibe el estatus de nueva especie. Se reconoce la influencia del ambiente en la formación de híbridos, este es un proceso que se presenta en la naturaleza, en el momento que una planta se establece en un lugar diferente a su lugar de origen o de sus progenitores. La hibridación acelera la incorporación de genes resistentes a enfermedades y plagas gobernadas por genes dominantes simples; por ejemplo precocidad y calidad de

frutos. Para establecer estos sistemas de cruza manual se debe conocer perfectamente el ciclo del cultivo para sincronizar la presencia de flora de ambos progenitores (Bosland, 1996). Ya que el mejoramiento genético se realiza por el cruzamiento de plantas en plena floración provenientes de semillas, es recomendable evitar la autofecundación y recurrir a retrocruzas entre individuos alejados genotípicamente para conseguir una gran cantidad de semillas y descendientes vigorosos.

En 1865, el monje agustino austriaco Gregor Joham Mendel, formuló las leyes hereditarias que llevan su nombre, fruto de sus estudios tras un descubrimiento ocurrido en su jardín. Estas leyes actualmente son la base de la mejora vegetal natural. Dentro del mejoramiento genético lo primero que debemos considerar es la selección y el cruzamiento a las que recientemente se les ha añadido la ingeniería genética. En ellas se incrementaron diversas técnicas, todas ellas creadas en el siglo XX, diseñadas para crear nuevas fuentes de variación: mutación inducida, cambios cromosómicos, genómicos y cultivo de tejidos. Estas técnicas se recomiendan aplicar cuando las especies presentan poca diversidad genética.

Dentro del género *Capsicum* se han realizado hibridaciones entre las especies obteniendo lo siguientes:

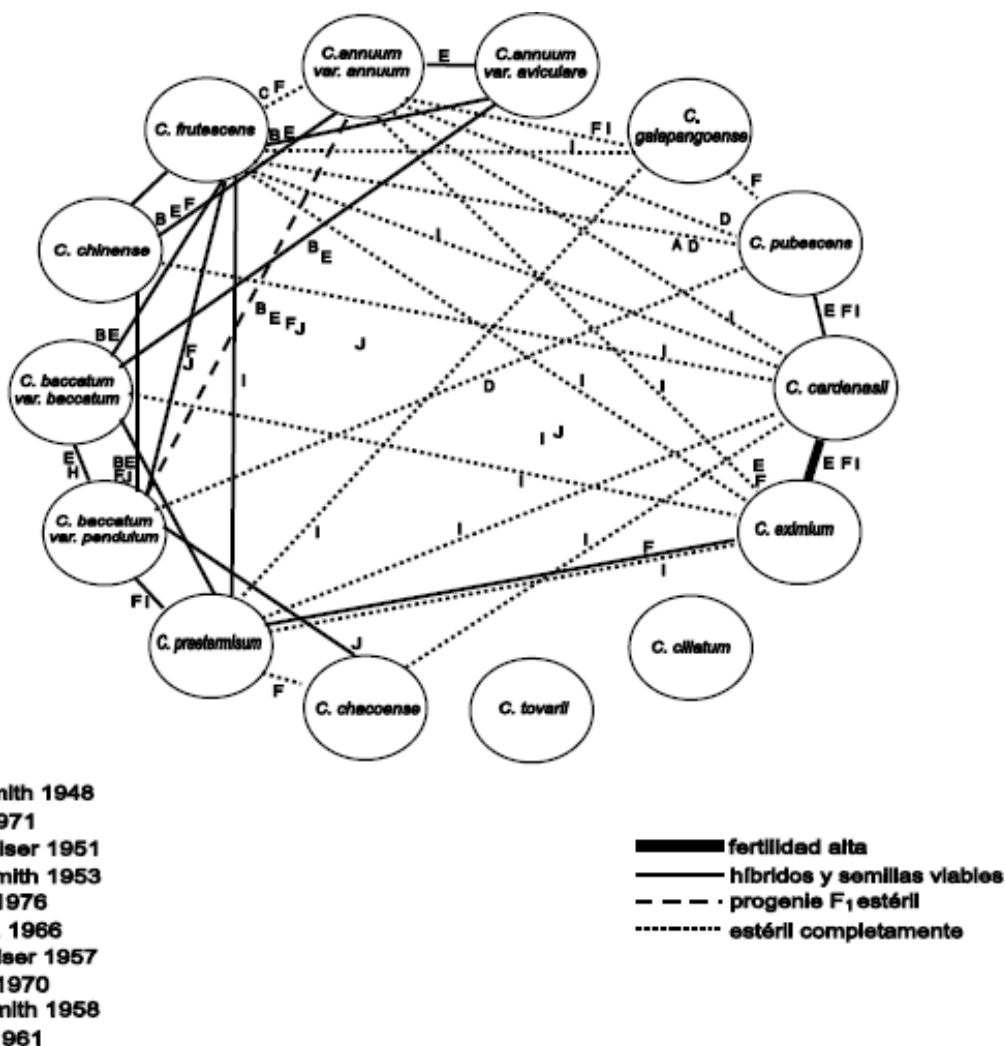


Figura 3. Resumen de las cruces entre especies del género *Capsicum*. (Walsh y Hoot, 2001).

Los trabajos de mejoramiento genético más avanzados en *Capsicum pubescens* se concentran en la Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, el Doctor Mario Pérez Grajales y un equipo de investigadores empezaron a realizar cruces; para el año 2002 contaban con 3 variedades: Amarillo Chapingo, Puebla,

Zongolica x Puebla, esta última, en proceso de registro; variedades aptas para la zona productora de Puebla y Texcoco.

2.8 Caracterización morfológica

La caracterización morfológica se basa en el fenotipo del cultivo, realizando su análisis a través de la medición de características de forma cualitativa y cuantitativa.

Para identificar la diversidad genética se realiza el análisis del fenotipo a través de la caracterización morfológica; por lo general se utilizan descriptores en las diferentes etapas de su desarrollo: estado vegetativo, reproductivo, fructificación y semilla (Pardey, 2006) de una muestra representativa, la cual puede ser afectada por la interacción con las condiciones ambientales (Sánchez, et al., 2003). Además de ser la base para el registro y certificación de nuevos materiales, esto asegura la identidad de los materiales utilizados durante el proceso de multiplicación.

De acuerdo al Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR, 1980), la caracterización consiste en registrar todas aquellas características morfológicas que son altamente heredables, que pueden verse fácilmente y que son expresadas en todos los ambientes. Según Engels (1979) una caracterización morfológica debe ser complementada con la información relacionada a las prácticas culturales y condiciones ambientales.

Los materiales a describir además deben crecer bajo condiciones uniformes, para asegurar de esta manera que si hay diferencia, no sean afectadas por el medio. Para los descriptores cuantitativos se debe expresar la unidad de medición a diferencia de los cualitativos que se pueden basar en tablas de color o esquemas definidos para la especie (Martín y González, 1991).

2.9 Métodos básicos de la mejora vegetal

Selección masal simple

Consiste en elegir las mejores plantas de una población que se mezclan para constituir la generación del año siguiente. La selección masal simple admite infinitas variantes, normalmente aplicadas en combinación con el cruzamiento. Tiene por inconveniente principal, que si la forma deseada no está en la población de partida, la selección es genéticamente inútil (Molina; et al, 2008).

Cruzamiento

Se utiliza cuando no disponemos de ninguna población para seleccionar el tipo buscado. Debemos entonces combinar en una misma variedad caracteres de varios orígenes, o simplemente introducir en nuestro material caracteres de otra variedad e incluso de otras especies que admiten las posibilidad de cruzamiento con la nuestra (Molina; et al, 2008).

Mutación inducida

Hasta la llegada del manejo del ADN en laboratorio, la mutación inducida fue la única fuente de nuevos genes. Se han utilizado mutágenos físicos (los más importantes han sido los rayos X, gamma y UV) aunque ahora se prefiere mutágenos químicos de baja toxicidad como el EMS (etil metasulfanato) (Ramírez, 2014).

Manipulación cromosómica

Pueden señalarse la duplicación de cromosomas de una especie como la colchicina, la obtención de aneuploides y de cambios estructurales en el cromosoma. La primera permite obtener variedades de una especie con distinto número cromosómico o bien auténticas nuevas especies mediante la duplicación de los cromosomas de un híbrido interespecífico, consiguiéndose un haploide (Benem, 2010).

Ingeniería genética

Consiste en la introducción de un gen de una especie a otra sin recurrir al cruzamiento, es decir mediante la transformación genética con el uso de un vector que pudiera ser plasmido o virus (Benem, 2010).

Hibridación

Es una técnica para generar recombinaciones, donde debemos considerar a la hibridación que emplea el fitotécnico, para acelerar o mejorar los procesos naturales en el desarrollo de nuevas variedades para usos específicos (Novak; et al, 1992) como identificar la forma en que se heredan los caracteres. Por lo tanto

es importante elegir plantas con caracteres contrastantes, tales como los distintos colores o formas del fruto para estudiar posteriormente la progenie y determinar cómo se comportan estos caracteres en la herencia. Cuando se trata de caracteres cualitativos y de herencia relativamente simple, también se habla del número de genes que determina la herencia. Por eso es importante antes de trabajar en mejoramiento genético de las plantas con fines económicos, lo primero es estudiar el material disponible y dentro de estas observaciones tomar en cuenta la variabilidad natural para empezar a realizar híbridos (Cardoso, 2009).

El proceso de hibridación entre dos especies se puede realizar con mayor precisión si se conoce la forma en que se hereda el carácter más simple que ha de transferirse. Aun con el conocimiento previo sobre la herencia, es posible que el resultado deseado no se vea inmediatamente, sino que después se deben seleccionar los materiales que presentan algún carácter deseado. Considerando la forma de reproducción de las plantas y la forma de herencia de algunos caracteres, se han establecido diferentes métodos de mejoramiento genético para el desarrollo de variedades.

Hay un procedimiento sistemático para obtener lo que se conoce como híbridos F_1 , probado en algunas especies; sin embargo los resultados de la hibridación pueden ser diversos, por ejemplo la aparición de caracteres intermedios o parentales en los híbridos F_1 dependiendo del tipo de herencia de dicho carácter. En general se espera que los caracteres multi-génicos presenten un padrón intermedio dependiendo de la relación entre los alelos, por lo tanto los híbridos serán mosaicos de estados (Fritz; et al., 1994). Otra opción es la aparición de

estados extremos o nuevos, lo cual sucede en algunos casos y podría ser la fuente de variación para la selección natural (Elstrand, 1996). Teóricamente se predice que en promedio los híbridos tendrán menor adaptación que los padres, pero es posible que al menos algunos estén mejor adaptados que ambos padres al mismo ambiente (Bartón, 2001).

La hibridación también juega un papel importante en la preservación de especies y diversidad sobre todo en situaciones donde una especie muy distribuida y con grandes poblaciones se hibrida con otras pequeñas poblaciones. En el método de hibridación para el mejoramiento de especies autofecundadas se cruzan dos variedades, se seleccionan en las descendencias segregantes; las plantas en las cuales se combinan los caracteres deseables de los progenitores, para su multiplicación y prueba. Mediante la hibridación se pueden combinar y recuperar las mejores características en una línea pura que se reproduzca idéntica a sí misma. Dentro de la progenie también se puede seleccionar individuos con una característica particular superior a sus progenitores, en características de naturaleza cuantitativa, como el rendimiento, el peso del fruto y tolerancia a condiciones ambientales adversas entre otras, cuya herencia está determinada por genes múltiples. En la mejora de la especie autofecundada, las variedades se polinizan de forma artificial (Cardoso, 2009).

La hibridación es la acción de fecundar dos individuos de distinta constitución genética, es decir, cruzar dos variedades o especies diferentes para conseguir reproducir en la descendencia alguna de las características de los progenitores. Es posible también obtener caracteres no deseados durante el proceso de

hibridación, es por ello que tras la hibridación sea necesario un proceso de selección artificial durante varias generaciones, eliminando las plantas con rasgos no deseados.

Los híbridos suelen mostrar mayor vigor que los progenitores, lo que da lugar a mayor rendimiento. Este fenómeno ha sido aprovechado en la producción a gran escala de determinados cultivos de importancia económica, tales como los granos básicos, hortalizas y plantas ornamentales. Cuando en el proceso de hibridación se obtiene el carácter deseado para acelerar el proceso de fijación de dicha característica, se procede a realizar la propagación asexual, para mantener los rasgos idénticos entre individuos (Sobral, 1996). El retrocruzamiento es una técnica de hibridación que permite añadir a una variedad ya existente y deseada, un rasgo útil de uno de los progenitores; es una técnica muy útil para incorporar a una especie cultivada, un carácter de resistencia a enfermedades o insectos. Esta técnica consiste en obtener un híbrido de dos especies o variedades para posteriormente cruzarlos con uno de ellos, en particular el que se considera con el rasgo de interés. Esta operación de retrocruzamiento se realiza varias veces, junto con una labor de selección, consiguiéndose finalmente tras una serie de generaciones una concentración de los rasgos deseados, y una recuperación del tipo original (Cervantes, 2010). La identificación de los progenitores masculinos y femeninos es el principio de la orientación de las cruzas; evitando siempre la llegada de polen extraño a cada planta mediante aislamiento espacial o protegiendo los órganos florales con bolsas de papel o tela espesa, para lo cual se hace un cuidadoso estudio de la estructura floral, determinar el momento de la dehiscencia de las anteras, así como el espacio de tiempo que el estigma

permanece receptivo y el polen funcional, tener cuidado en los procesos de emasculación y polinización para no dañar los órganos florales, utilizando los instrumentos necesarios, no eliminar los verticilos florales, pétalos, etc. a menos que sea indispensable para la manipulación.

El resultado del mejoramiento genético debe cubrir las necesidades de los agricultores, que exigen plantas altamente productivas, con resistencia o tolerancia a factores bióticos y abióticos, cambiar características de su fenotipo como tener hojas pequeñas o grandes, con entrenudos cortos o largos entre otras características morfológicas que facilitan el manejo agronómico y se reflejan en la disminución de los costos de producción, para determinadas especies.

2.10 Heterosis

Chen (2010) expresa que el fenómeno de heterosis se ha estudiado durante décadas por varias civilizaciones, hasta que Darwin (1876) inicia las investigaciones de una forma más sistémica (Birchle, et al., 2010) posteriormente se iniciaron en forma organizada y amplia, con especial énfasis en los cultivos extensivos como el maíz, a partir de allí se han realizado muchos estudios en muchas plantas con respecto al valor híbrido; el cual se ha tratado de explicar cómo hipótesis propuestas para la herencia genética. En el estudio de heterosis se utilizan dos términos fundamentales uno se determina como “dominancia”, que es el predominio de un alelos sobre otro que, aunque está presentes no se expresan externamente y el segundo término es “sobredominancias” que es la capacidad de

que el híbrido expresa fenotípicamente las características de sus progenitores por la interacción de los alelos en el híbrido (diferentes niveles de dominancia).

En poblaciones de plantas alógamas cada uno de los individuos que constituye dicha población es un híbrido diferente, por consecuencia cada uno de los individuos puede tener distinto grado de heterosis y por lo tanto diferente capacidad de rendimiento (Sánchez, 2011). Esto significa que una población constante presenta cierto grado de heterosis y por lo tanto, la disminución de vigor y depresión del rendimiento de las líneas autofecundadas obtenidas de cualquier población alógama, es estrictamente una manifestación de la expresión de la heterosis perdida que existía en la planta original; se menciona que las cruces interespecíficas generan cruces con un vigor híbrido sobre el promedio de los progenitores, sin embargo en cruces intraespecíficas los valores de vigor híbrido son menores (Birchle, et al., 2010; Prajapati, 2014).

Esto se ha observado en estudios realizados en cruces de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*, (Medeiros, et al., 2014).

La estrategia para aprovechar la heterosis se debe de enfocar en cubrir las necesidades de los clientes.

3. JUSTIFICACIÓN

La región sur del Estado de México presenta las condiciones climatológicas necesarias para el cultivo del chile manzano, sin embargo, pese a que este producto ha demostrado ser una alternativa viable para el desarrollo económico, este no ha alcanzado ni una mínima parte de la importancia que representan otros cultivos ya que existen diferentes factores que afectan la producción de *Capsicum pubescens*. Las principales barreras que han detenido la explotación se pueden enmarcar dentro de un apartado que es la ausencia de un manejo tecnológico adecuado para su producción que incluye principalmente a factores como uso de semillas criollas y materiales que producen un chile con características heterogéneas.

El chile manzano es una especie de importancia económica por ser un producto alimenticio que aporta beneficios a la salud humana, es una especie rica en alcaloides, los capsaicinoides son importantes para la salud humana por sus propiedades anticancerígenas y analgésicas; sólo son producidos por las plantas del género *Capsicum* (Sánchez, et al., 2010), y la especie *pubescens* es la que presenta los contenidos más elevados (Chávez, 1995).

En la zona sur del Estado de México se presentan las condiciones ambientales requeridas por *Capsicum pubescens* y además con una amplia gama de materiales que se cultivan o preservan por los habitantes, estos materiales pueden ser la base de generación de variedades que cubran los requerimientos de los agricultores, por lo tanto se deben estudiar la variación de los caracteres en el proceso evolutivo de la especie facilitando el proceso de selección artificial, ya que

la tasa de movimiento de los genes de una población a otra afectan de manera importante el desarrollo de nuevas variedades. Esta información se obtiene mediante observación de registro del desarrollo de ciertas características en los materiales de estudio o mediante un método alternativo como la utilización de marcadores moleculares, esta técnica permite realizar un análisis de parentesco en el cual se pueden identificar padres y después cuantificar el patrón de movimiento de los genes (Piñero, 2008), creando las bases para la selección de materiales y las técnicas de mejoramiento genético que mejor explote las características genéticas de los materiales (Sahagun, 1999).

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1 Hipótesis

Es posible el desarrollo artificial de híbridos intraespecíficos de fenotipos contrastantes, sin que influyan barreras físicas o fisiológicas.

4.2 Objetivo general

Analizar la capacidad de desarrollo de híbridos en tres colectas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P).

4.3 Objetivos específicos

- Caracterizar fenotípicamente a progenitores
- Realizar hibridaciones de fenotipos contrastantes directas y recíprocas de colectas contrastantes seleccionadas.
- Comparar características contrastantes morfológicas entre híbridos y progenitores.
- Caracterizar fenotípicamente a híbridos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

El experimento se estableció en el área de invernaderos del Centro Universitario UAEM Tenancingo con dirección en el kilómetro 1.5 de la carretera Tenancingo – Villa Guerrero que se localiza geográficamente a los 18° 58'2" de latitud norte y 99°36'44" de longitud oeste y a una altitud de 2064 msnm, en una superficie total de 420 m², para la primera etapa se utilizó una sección cubierta con una capa de grava de tezontle rojo de 5 cm de profundidad, y bajo una malla sombra del 40 %. En la segunda etapa del proyecto se estableció en una nave, con un sombreado del 20%.

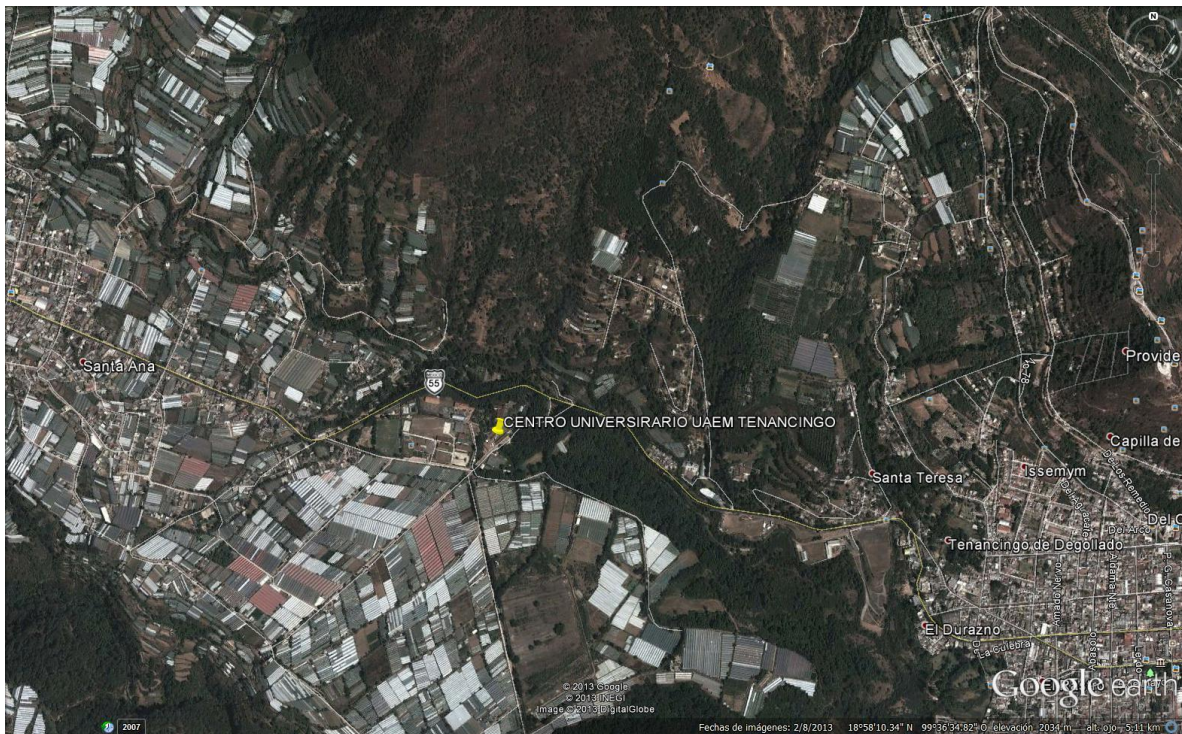


Imagen 4. Centro Universitario UAEM Tenancingo. Mapa satelital Google earth, INEGI 2013.

5.2 Material biológico

Se utilizaron tres colectas de chile manzano contrastantes para diferentes caracteres morfológicos cultivadas en la región sur del Estado de México; una colecta identificada como FB: colecta de corola blanca con entrenudos cortos, la segunda colecta FML: colecta de flor morada con entrenudos largos; ambas proceden de la comunidad de Francisco Zarco, Tenancingo material donado por don Augusto Zárate que ha trabajado con el cultivo por 15 años, realizando selección masal para la conservación de este material. El tercer material fue proporcionado por el Ingeniero Jacobo Madero identificada como FMC: colecta morada de entrenudos medianos, colectada en el municipio de Coatepec Harinas.

En lo subsecuente me refiero a los materiales colectados por el color de su corola, que es el carácter visual más contrastante que presenta y la longitud de sus entrenudos, sin embargo, es importante mencionar que presentan otras diferencias en relación al tamaño de la planta, tipo de crecimiento, tamaño del fruto, cantidad de fruto por planta y tiempo al inicio de floración, las cuales se describen a detalle en el momento de realizar la caracterización morfológica de los materiales colectados con la finalidad identificar caracteres contrastantes, los parámetros clasificados según la guía “Descriptores para Capsicum (Capsicum spp.)”, IPGRI (1995). En las cuales se evaluaron 70 caracteres morfológicos.

5.3 Siembra y germinación

Los chiles colectados en el punto de madurez fisiológica, se llevaron al laboratorio del Centro Universitario Tenancingo, donde se extrajeron las semillas. Posteriormente se realizaron pruebas previas en laboratorio para determinar su viabilidad. Se colocaron 25 semillas de chile manzano (*C. pubescens*) de cada colecta en cajas petri independientes, se utilizó papel sanitario como material absorbente y se agregaron 10 ml de agua de la llave en cada caja petri. La unidad experimental consistió en una caja petri de plástico con 25 semillas de una sola colecta con tres repeticiones cada una. El resultado para esta evaluación fue al menos un 90% de germinación en cada colecta.

Posteriormente se realizó la siembra en charolas de 200 cavidades, el sustrato se elaboró a base de hojas de encino de tamaño menor a 5 mm proporcionando nutrientes, aireación y el pH adecuado para el cultivo, el material fue cernido para uniformizar el tamaño de la partículas, mezclado con un 5% de cal agrícola y 5% de superfosfato simple.

Se llenaron las charolas y se humedecieron, enseguida se compacto el sustrato con los dedos colocando 2 semillas en cada cavidad recién extraídas del fruto, estas semillas se cubrieron con una capa de aproximadamente 2 mm del mismo sustrato. Las charolas se colocaron en un espacio con malla sombra del 50% y humedad relativa entre el 60% - 79%, se realizó el monitoreo de temperatura con un termómetros de máximas y mínimas. Se evaluó el porcentaje de germinación a los 20 días de haberse establecido el cultivo.

5.4 Trasplante y sustrato

Primer trasplante: Se preparó el sustrato mezclando de manera uniforme los siguientes materiales: tierra de hoja húmeda 20 kilos, cal dolomita 250 gr y fertilizante comercial con la fórmula 18 -46 – 00 250 g. La tierra de hoja se cernió para obtener un sustrato uniforme, enseguida se reincorporo la cal dolomita y el fertilizante, se revolvió hasta lograr una mezcla uniforme. Los contenedores fueron vasos de unicel con capacidad de 250 mililitros; se perforaron con dos orificios las bases de los vasos. Se tomaron al azar 30 plantas de cada colecta para hacer la caracterización.

Segundo trasplante: Plantas individuales de chile se establecieron en bolsas de plástico de 60 litros de capacidad, calibre 600, a una distancia entre contenedores de cincuenta centímetros en dos hileras y entre líneas de dos metros. Se emplea un sustrato compuesto de materia orgánica, tierra arenosa, cal y fertilizante, mezcla utilizada por los productores de la zona, los sustratos elegidos fueron bajo el criterio de fácil disponibilidad en esta zona y que se pueden emplear en el desarrollo de cultivos en contenedores, enriquecidos con un cierto porcentaje de material orgánico como vermicomposta.

Cuadro 4. Proporciones de la mezcla utilizada como sustrato.

Nombre	Proporción (%)
Mezcla local	90:10
<ul style="list-style-type: none">• Suelo arenoso• Material orgánico (Vermicomposta)	
Enriquecido con:	
<ul style="list-style-type: none">• 1.5% de Cal dolomita• 0.5% de Superfosfato simple.	

5.5 Nutrición y riegos

La fertilización fue en base la formula universal de Steiner, aplicando la solución nutritiva de la siguiente manera: durante los primeros 20 días después del trasplante (ddt) se aplicó la solución nutritiva diluida a una concentración de 25%. En los siguientes 30 días se aplicó al 50% y posteriormente al 100%.

En las charolas se regó cada tercer día, en el momento de trasplantarse en los vasos se supervisó diario el requerimiento hídrico, fertirregando cuando es necesario, ya en el contenedor final se le aplicó 500 ml suplementados en ocho riegos al día, después de seis meses del trasplante se incrementó la dotación de solución nutritiva en un 100%, continuando con los ocho riegos. Se utilizó un controlador de riegos para dosificación.

Cuadro 5. Formula de la solución nutritiva para 1000 litros de agua.

Fuente	Cantidad (g)
Ácido fosfórico 85%	150 ml
Sulfato de potasio	400
Sulfato de magnesio	420
Nitrato de potasio	250
Nitrato de calcio	650
Micromix (mezcla de micro elementos)	25

El cultivo de chile manzano llevó un manejo agronómico correspondiente (Pérez y Castro, 2010) al cultivo adaptándolo a las condiciones climáticas de la zona, basado en un registro de las condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa durante el desarrollo del cultivo con un data logger EL-USB-2® además de un monitoreo constante de las incidencias de plagas y enfermedades.

5.6 Caracterización morfológica de progenitores

Descriptores morfológicos son características altamente heredables y pueden ser fácilmente detectables a simple vista (IPGRI, 1995). El trabajo se basa en el uso de los descriptores para *Capsicum spp.* proporcionados por International Plant Genetic Resources Institute (IPGR). Este documento se divide en 5 secciones de acuerdo a la etapa de desarrollo de la planta, y cada sección incluye descriptores específicos.

Para la caracterización de los materiales se registran 70 descriptores en los progenitores, en las plantas previamente establecidas, tomando como unidad experimental una planta y se realizaron treinta mediciones por progenitor, completamente al azar.

Cuadro 6. Variables a evaluar en la caracterización morfología de progenitores.

Descriptores de la planta	Cualitativos	Cuantitativos
Parte vegetativa		
Plántula	Color del hipocótilo	Longitud de la hoja cotiledónea [mm]
	Pubescencia del hipocótilo	Ancho de la hoja cotiledónea [mm]
	Color de la hoja cotiledónea	
	Forma de la hoja cotiledónea	
Planta	Color del tallo	Altura de la planta [cm]
	Antocianinas del nudo	Ancho de la planta [cm]
	Forma del tallo	Longitud del tallo [cm]
	Pubescencia del tallo	Diámetro del tallo [cm]
	Hábito de crecimiento	Longitud de la hoja madura [cm]
	Densidad de ramificación	Ancho de la hoja madura [cm]
	Amacollamiento	Ciclo de vida
	Densidad de hojas	
	Color de la hoja	
	Forma de la hoja	
	Margen de la lámina foliar	
	Pubescencia de la hoja	

Inflorescencia y fruto		
Inflorescencia	Número de flores por axila	Días a floración
	Posición de la flor	Longitud de la corola [cm]
	Color de la corola	Longitud de las anteras [mm]
	Color de la mancha de la corola	Longitud del filamento [mm]
	Forma de la corola	Esterilidad masculina
	Color de las anteras	
	Color del filamento	
	Exserción del estigma	
	Esterilidad masculina	
	Pigmentación del cáliz	
	Margen del cáliz	
	Constricción anular del cáliz	
Fruto	Manchas o rayas antocianínicas	Días a la fructificación
	Color del fruto en el estado intermedio	Cuajado de fruto
	Color del fruto en estado maduro	Período de fructificación
	Forma del fruto	Longitud del fruto [cm]
	Forma del fruto en unión con el pedicelo	Ancho del fruto [cm]
	Cuello en la base del fruto	Peso del fruto [g]
	Forma del ápice del fruto	Longitud del pedicelo del fruto [cm]
	Apéndice en el fruto, vestigio de la floración	Espesor de la pared del fruto [mm]
	Arrugamiento transversal del fruto	Numero de lóculos
	Tipo de epidermis del fruto	Longitud de la placenta
	Persistencia del pedicelo con el fruto	
	Persistencia del pedicelo con el tallo	
Semilla		
Semilla	Color de la semilla	Diámetro de la semilla [mm]
	Superficie de la semilla	Peso de 1000 semillas [g]
	Tamaño de la semilla	Número de semillas por fruto

5.7 Selección de los progenitores

Se trabajó con progenitores de *Capsicum pubescens* R. y L. de los materiales antes descritos, se identificaron tres plantas de características de interés comercial: tamaño del fruto, porte de la planta y productividad.

Colecta 1: FB

El material presenta un hábito de crecimiento determinado de forma oval, con distribución casi simétrica de sus ramas, entrenudos cortos con flores de corola blanca, número de flores por entre nudo de dos a tres, con alto rendimiento de fruto y precocidad a la floración. Sus frutos sobresalen por la pungencia, su gama de color es de tonos amarillos.

Colecta 2: FMC

Es una planta de hábito de crecimiento intermedio entre nudos cortos y con flores de corola morada. Sobresale la forma de su fruto tendiendo a ser alargado (tipo habanero).

Colecta 3: FML

Esta colecta presenta plantas de entrenudos largos, con hábito de crecimiento erecto indeterminado, con flores de corola morada, frutos de grandes que presentan diferentes tonos de naranja.

Estas plantas se seleccionaron como progenitores, las cuales se autofecundaron para preservar el material y estas a su vez son los progenitores masculinos y femeninos, para realizar las cruzas directas y recíprocas (Sánchez, et al., 2010).

5.8 Hibridación manual

Para hacer las cruzas no hay un método descrito, sin embargo se diseñó la siguiente metodología:

- 1) Elección del botón floral antes de antesis, en *C. pubescens* la liberación de polen se presenta antes de que la flor este abierta por completo, así que se trabajan botones antes de que inicie la apertura de los pétalos; se retiraran dos pétalos de la parte inferior del botón y se emasculan. Solo se retiran dos botones para no generar una condición extrema en el momento de la recepción del polen.



Imagen 5. Proceso de hibridación en *C. pubescens*. A) Selección del botón floral, B y C) Corte para retirar dos pétalos, para posteriormente realizar la emasculación; D) Dejando libre el pistilo para la recepción del polen.

- 2) Se selecciona la flor que proporciona el polen viable, para esto se debe buscar anteras de color cremoso.



Imagen 6. Polen viable para realizar las cruzas.

- 3) Se coloca el polen en el estigma de flor receptora. Se utiliza herramienta para manipular las anteras, exclusivas para cada colecta, evitando la mezcla y contaminación del polen.
- 4) Se etiqueta indicando el sentido de la cruz, la fecha y la hora en que se realiza.



Imagen 7. Imagen del etiquetado del híbrido.

- 5) Finalmente se protege por 72 horas; para evitar la contaminación con polen de plantas vecinas por la incidencia de insectos, vientos u otros factores.



Imagen 8. Protección utilizada para evitar la contaminación por otro polen,

- 6) Se cosechan cuando el fruto presenta madurez fisiológica. Se extrae y contabiliza la semilla y se almacenan a temperatura ambiente. La calidad física de las semillas puede ser un factor de selección de estos materiales para asegurar la calidad de la plántula a producir y el porcentaje de viabilidad.



Imagen 9. Punto óptimo de cosecha de la fruta.

La polinización se inició a los 5 meses de haber establecido la huerta y semanalmente se fecundaron 5 flores por planta durante cuatro semanas, con la intención de obtener un total de 60 cruces. Etapa donde se evalúan dos técnicas de polinización, por el manejo del progenitor femenino. El primero consistió en la remoción completa de la corola en la emasculación y el segundo, solo removiendo dos pétalos.

5.9 Establecimiento de híbridos F1

Al obtener la primer generación filiar, se establecieron las semillas de cada híbrido en charolas de 200 cavidades con un sustrato a base de hoja de encino. Se obtiene la plántula y en el momento de presentar las primeras 4 hojas verdaderas se trasplantaron a un contenedor de mayor capacidad (250 mililitros). Se trasplantaron 12 plantas de cada colecta completamente al azar. En este momento se deja desarrollar, teniendo como objetivo forzar la ramificación esperando la aparición del primordio floral, modificando la iluminación y fertilización de la planta. Cuando la planta inicia la ramificación se trasplanta al contenedor final: macetas de plástico de 12", en las cuales se utiliza el sustrato elaborado previamente.

5.10 Variables a evaluar en los híbridos

Durante el desarrollo se evalúan las características de mayor interés agronómico que presentaron diferencias significativas entre las colectas siguiendo la metodología de la caracterización morfológica de los progenitores.

Longitud del tallo	Semillas por fruto	Ancho del fruto
Días a floración	Periodo de fructificación	Largo del fruto
Peso del fruto	Pubescencia en tallo	Densidad de ramificación.

Además de los que se enlistan enseguida, ya que han sido evaluados por otros autores, en estudios previos de caracterización (Pardey *et al.*, 2006).

Cualitativas	Cuantitativas
Posición de la flor	Ancho de la planta
Color de la corola	Ancho de la hoja
Exersion del estigma	Longitud de la hoja
	Longitud del pedicelo
	Numero de flores por axila
	Longitud de la corola
	Longitud del fruto
	Ancho del fruto
	Peso del fruto
	Espesor de la pared del fruto
	Número de lóculos

La altura a la primera bifurcación, la pubescencia, forma del tallo, densidad de ramificación se registra durante el primer flujo de floración. La altura de la planta se contabilizo cuando estaba al menos un fruto maduro en el 50% de las plantas.

El diámetro de la flor, color de la flor se registró, cuando inicio la floración en al menos el 50% de las plantas. Así mismo la posición de las anteras y el filamento

se registró en el momento de la antesis, tomando los datos en las primeras horas del día (8 a 10 am). Se contabilizaron 10 flores por planta con 6 repeticiones, de cada híbrido. El ancho y largo de la hoja se midió en cuatro hojas de cada planta, con 6 repeticiones.

Se cosecharon los frutos cuando estaban completamente maduros para medir el ancho, largo y peso del fruto, además de contabilizaron el número de lóculos, número de semillas y grosor del pericarpio. Se cosecho semanalmente hasta que termino el flujo de fructificación. Para el descriptor color del fruto se clasificaron los frutos en tres tonalidades: amarillo- naranja pálido, amarillo - naranja y naranja. La clasificación se realizó en el momento del corte.

5.12 Diseño experimental

Para la caracterización morfológica de los progenitores se establecieron 30 plantas de cada colecta distribuidas al azar. En las cuales se midieron 70 descriptores morfológicos. A la par se realizaron 60 cruza directas y 60 cruza recíprocas con igual número para cada combinación. Además de los testigos autopolinizados.

De las cruza realizadas se obtuvieron seis híbridos que se distribuyeron al azar, junto con los progenitores, para evaluar 20 caracteres morfológicos.

5.13 Análisis estadístico

Los caracteres morfológicos cuantitativos evaluados se analizaron mediante estadística descriptiva e inferencial (prueba de t para contraste de dos poblaciones), para lo cual se utilizó el programa Excel de MO 2010. Los caracteres cualitativos se analizaron por las escalas descritas en las guías de descripción varietal (IPGRI 1995).

Para la comparación de medias entre progenitores e híbridos se utilizó la prueba de Turkey para encontrar diferencia significativa entre híbridos para variables cuantitativas; además de la prueba de Duncan con entre híbridos y progenitores; para estimar el grado de asociación lineal entre las variables evaluadas se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson con su probabilidad asociada. Las estimaciones de heterosis (H) se realizaron con base en la fórmula $H = ((F_1 - MP) / MP) \times 100$, donde: F_1 fue el valor promedio de la crucea y MP fue el valor del mejor progenitor (Reyes, 1985)

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización morfológica a progenitores

6.1.1 Descriptores para la parte vegetativa de la plántula

La primera evaluación se realizó sobre la viabilidad de la semilla por medio de la cuantificación del porcentaje de germinación. La colecta de FB presento el 100 % de germinación, la colecta de FMC el 98% y la colecta de FML presento el 95%.

En relación a la evaluación de caracteres morfológicos:

La colecta de FB presento el color de hipocotíleo verde en comparación a las dos colectas de corola morada que presentaron una coloración morada del hipocotíleo. FMC y FB presentaron una pubescencia densa mientras que FML una pubescencia intermedia. En las tres colectas se presentan constantes los caracteres de color de la hoja y la forma lanceolada.



Imagen 10. Se muestra el color de hipocotíleo. A) Colecta FB de color verde, B) colecta FMC y C) colecta FML con hipocotíleo de color morado. (Foto Martínez, 2012).

En relación a las variables morfológicas cuantitativas, el ancho de la hoja cotiledónea muestra diferencia significativa entre la colecta de FB y las colectas de FMC –FMCL las cuales no muestran diferencia significativa (Prueba de t; $P \leq 0.05$). Los resultados del análisis en relación al largo de la hoja cotiledónea no muestra diferencia significativa entre las tres colectas.

Cuadro 7. Resultados de la prueba de “T” entre las tres colectas para las variables: largo y ancho de hoja cotiledónea, realizada con datos de 30 mediciones para cada colecta.

Descriptor	Colecta	Media (cm)	Varianza
Ancho de hoja cotiledónea (cm)	FB	12.37	13.27
	FMC	9.97	3.55
	FML	9.67	1.13
Largo de hoja cotiledónea (cm)	FB	27.47	20.12
	FMC	28.93	7.79
	FML	28.07	6.41

Descriptor	Relación	P (0.05)
Ancho de hoja cotiledónea (cm)	FB - FMC	0.01*
	FB - FML	5×10^{-4} *
	FMC- FML	0.47
Largo de hoja cotiledónea (cm)	FB-FMC	0.60
	FB -FML	0.51
	FMC – FML	0.83

6.1.2 Descriptores para la parte vegetativa de la planta madura

De los descriptores para la planta madura doce son cualitativos y siete cuantitativos, de estos 4 son constantes en los materiales; todos presentan un ciclo de vida perenne, así como un tallo cilíndrico color verde. Hay diferencia en

las antocianinas de nudo ya que la colecta FB no presento la coloración morada de la FMC y FML.



Imagen 11. Se muestra la diferencia de la concentración de antocianinas entre A) la colecta de FB y las colectas B) FMC y C) FML. (Martínez, 2012)

Referente a la pubescencia del tallo se modifica el comportamiento presentado en la plántula, la colecta de FB presenta escasa pubescencia en comparación con las colectas FMC y FML que presente una pubescencia densa. El descriptor de amacollamiento y ramificación muestra que en la colecta FB es densa, FMC es intermedia y FML escasa.

La colecta de FML presenta un hábito de crecimiento postrado indeterminado en comparación con las colectas FB y FMC que son de crecimiento erecto intermedio. La densidad de hojas en la colecta de FB es densa con un color verde a diferencia de las colectas FMC y FML que presentan una densidad intermedia y un tono verde oscuro en sus hojas.

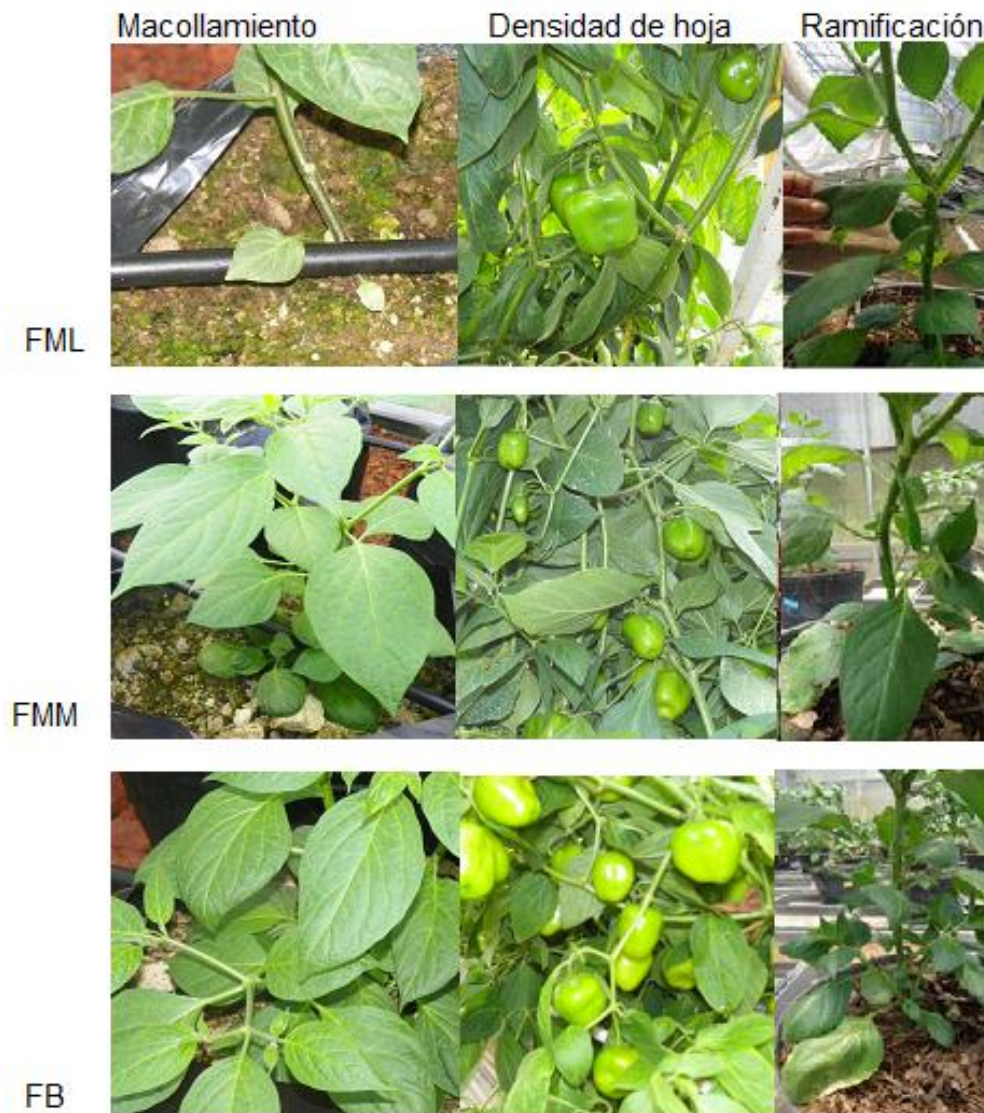


Imagen 12. Densidad de amacollamiento, hojas y ramificación entre las tres colectas.

Realizando un comparativo de la forma del margen de la hoja de las hojas, la colecta FB tiene forma ciliada a diferencia de las colectas FMC y FML presentan una forma entera. La pubescencia en las hojas para FMC y FML es intermedia y FB es escasa.



Imagen 13. Color de hoja, forma del margen de la hoja, longitud y ancho de la hoja madura en las tres colectas.

Entre la colecta FB y las colectas FMC y FML existe una diferencia significativa en las características de longitud y ancho, sin que haya diferencias estadísticas entre las dos últimas colectas (Prueba de t; $P \leq 0.05$).

Cuadro 8. Prueba de “t” realizada para las variables ancho y longitud de hoja madura entre las tres colectas.

Descriptor	Colecta	Media (cm)	Varianza
Longitud de la hoja madura (cm)	FB	17.4	8.06
	FMC	19.4	6.64
	FML	19.9	4.56
Ancho de la hoja madura (cm)	FB	9.1	1.40
	FMC	9.8	2.86
	FML	10.2	2.61

Descriptor	Relación	P (0.05)
Longitud de la hoja madura (cm)	FB – FMC	$4 \times 10^{-3*}$
	FB – FML	$5 \times 10^{-4*}$
	FMC - FML	0.32
Ancho de la hoja madura (cm)	FB - FMC	0.05*
	FB - FML	0.005*
	FMC – FML	0.30

La colecta FML presenta la mayor altura de planta en comparación con FML y FB, estas últimas colectas sin diferencia significativa entre ellas. Para el ancho de la planta las colectas FMC y FML fueron significativamente más angostas que la colecta FB (Prueba de t; $P \leq 0.05$). La longitud del tallo presenta diferencia significativa (Prueba de t; $P \leq 0.05$) entre las tres colectas. En relación al diámetro del tallo la colecta FMC presenta diferencia estadística con las colectas FB y FML.

Cuadro 9. Cuadro comparativo entre las características de altura y ancho de la planta, longitud y diámetro del tallo entre las tres colectas (Prueba de t; $P \leq 0.05$).

Relación	Descriptor ($P \leq 0.05$)			
	Altura de la planta (cm)	Ancho de la planta (cm)	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (mm)
FB –FMC	0.87	.06*	0.03*	0.07*
FB –FML	$1 \times 10^{-3*}$	$4 \times 10^{-3*}$	$4 \times 10^{-6*}$	0.95
FMC - FML	$2 \times 10^{-3*}$.44	0.04*	$3 \times 10^{-3*}$

6.1.3 Descriptores para inflorescencia y fruto

De los 16 caracteres morfológicos evaluados durante la floración 8 fueron constantes y 8 contrastantes entre las colectas. La colecta FB presentó precocidad para el inicio de la floración con un promedio de 5 mese 18 días, en comparación con la colecta FMC que inicio a los 6 meses y la colecta FML que inicio a los 6 meses 8 días; estadísticamente hay diferencia entre los resultados pero el valor de esta información trasciende más en relación al precio que puede obtener el producto en el mercado.

Cuadro 10. Comparativo estadístico para los días a floración entre las colectas.

Descriptor	Colecta	Media días	Varianza
Días a floración	FB	170.47	23.12
	FMC	181.33	31.67
	FML	185.6	0.69

Descriptor	Relación	P (≤ 0.05)
Días a la floración	FB – FMC	$3 \times 10^{-5*}$
	FB – FML	$2 \times 10^{-9*}$
	FMC - FML	0.01*

La colecta FB presente las flores más pequeñas entre los materiales sin que haya diferencias estadísticas entre las colecta FMC y FML, sin embargo se muestra que

en relación a la longitud de la corola las tres colectas tiene diferencias estadísticas; datos que pueden estar relacionados con el tamaño del fruto. Las tres colectas muestra diferencias en el tamaño de anteras, presentando la colecta de FB las anteras más pequeña; así como diferencia en el color las colectas FMC y FML presentan tonos morados y la colecta FB anteras amarillas. En relación a la longitud del filamento solo la colecta de FB fue diferente a la colecta de FMC.

Cuadro 11. Prueba de “t” realizada para las variables longitud de corola, longitud de anteras y longitud de filamento.

Relación	Descriptor ($P \leq 0.05$)		
	Longitud de la corola (mm)	Longitud de la antera (mm)	Longitud del filamento (mm)
FB –FMC	0.01*	0.08	0.02*
FB –FML	7×10^{-5} *	2×10^{-4} *	0.10
FMC - FML	2×10^{-2} *	0.02*	0.31



Imagen 14. Flores de las diferentes colectas, donde se ve la diferencia de color, tamaño y manchas en la corola (Martínez, 2012).

Las colectas evaluadas presentan corola blanca (FB) y morada (FMC y FML), además la mancha de la corola blanca en los tres materiales es blanca, en ocasiones se ven manchas amarillas pero es el néctar. El número de flores por axila presenta una variación entre la colecta FMC y FML que tienen solo una mientras que la colecta FB presenta dos. La forma de la flor es acampanulada en las tres colectas así como la posición de corola erecta.



Imagen 15. Numero de flores por axila, color de la corola y posición de la flor entre las colectas.

La colecta FB presenta exserción del estigma al mismo nivel que las anteras, a diferencia de las colectas FMC y FML que lo presentan exserto, característica que incrementa la probabilidad de que se presente la polinización cruzada. Los estigmas de la colecta FB y FMC son blancos a diferencia de la colecta FML que los presenta morados, esta característica se puede considerar discriminante para la identificación de materiales de corola morada. Ninguna colecta presenta esterilidad masculina. El margen del cáliz es intermedio, característica asociada con *C. Chinense* la pigmentación del cáliz para las tres colectas es ausente y presenta constricción anular.

Con relación a los descriptores de fruto 10 son constantes y 13 contrastantes entre las colectas. Los materiales presentan un promedio de 7 a 8 días para el prendimiento del fruto. El cuajado del fruto fue mayor en la colecta de FB y el periodo de fructificación en esta colecta es de 8 meses 24 días a diferencia de la colecta FMC y FML que presentan un promedio de 8 meses seis días, el dato se obtuvo comparando dos ciclos de producción.

En relación al aspecto visual del fruto, no se identifican manchas o rayas de antocianinas para las colectas en los periodos de baja intensidad lumínica, sin embargo en los meses de marzo a mayo algunos frutos presentan un rayado, aspecto que el consumidor los relaciona con el grado de picor. El color del fruto en estado intermedio es verde para las tres colectas y en estado maduro para la colecta FB es amarillo limón, la colecta FMC amarillo naranja y la colecta FML naranja. Las formas de los frutos se clasifican como acampanulada y en bloque.

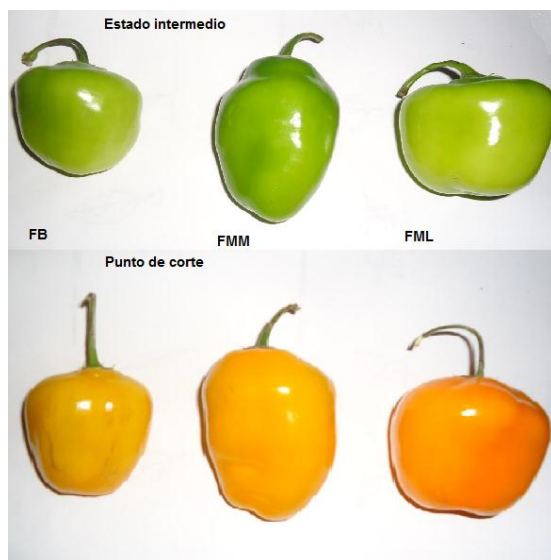


Imagen 16. Se muestra el color del fruto en estado intermedio y punto de cosecha, así como la forma del fruto para las tres colectas.

La longitud del pedicelo no presenta diferencia entre la colecta FMC y FML, sin embargo la colecta FB es la que presenta el pedicelo de mayor longitud. En relación al grosor del pericarpio, la colecta FML es la que presenta mayor espesor y la única colecta con diferencia estadística. El tamaño de fruto se consideró midiendo el largo y el ancho siendo la colecta FMC la de mayor longitud, el fruto de menor tamaño es presentado por la colecta FB.

Cuadro 12. Prueba de “t” realizada para las variables longitud pedicelo, largo y ancho de fruto, grosor del pericarpio.

Relación	Descriptor ($P \leq 0.05$)			
	Longitud del pedicelo (cm)	Largo del fruto (cm)	Ancho del fruto (cm)	Grosor de pericarpio (mm)
FB –FMC	.00029*	1×10^{-8} *	.63	.56
FB –FML	.016*	1.4×10^{-4} *	1×10^{-7} *	6×10^{-6} *
FMC - FML	.36	7×10^{-6} *	1×10^{-6} *	3.5×10^{-5} *

Las tres colectas presentan forma cordada en la unión del fruto con el pedicelo siendo este persistente en los frutos maduros e intermedio en unión con él tallo; el fruto no presenta cuello en la base del fruto y tienen el ápice hundido, así como el arrugamiento trasversal no presenta diferencia; su epidermis es lisa además de no presentar en el apéndice del fruto vestigio de la floración.

El número de lóculos en este cultivo es una característica que define la calidad del producto en el mercado; la colecta FB y FMC presenta en promedio 2 lóculos y la colecta FML presenta 3. Los resultados para el peso de fruto muestran que hay

diferencia entre las tres colectas, sobresaliendo la colecta FML. Los resultados de la longitud de la placenta en la colecta FMC son estadísticamente diferentes a la colectas FB y FML las cuales no muestran diferencia entre ellas.



Imagen 17. Comparativo entre las tres colectas del número de lóculos y color de la semilla (Martínez, 2012).

Cuadro 13. Prueba de “t” realizada para las variables peso de fruto y longitud de placenta.

Relación	Descriptor ($P \leq 0.05$)	
	Peso del fruto (g)	Longitud de placenta (mm)
FB –FMC	$2 \times 10^{-8*}$	$5 \times 10^{-4*}$
FB –FML	$10 \times 10^{-15*}$.72
FMC - FML	$4 \times 10^{-10*}$	$1.2 \times 10^{-3*}$

6.1.4 Descriptores para semillas

Son seis los descriptores evaluados en las semillas de las colectas, siendo constante en los tres materiales el tamaño, tipo de superficie y el diámetro de la semilla, sin embargo en relación al color la colecta FB presenta un tono marrón

claro, la colecta FML marrón y la colecta FMC negro. El contenido de semillas por fruto presento diferencia estadística entre las tres colectas sobresaliendo los materiales de la colecta FML con el mayor número de semillas a diferencia de la colecta FB que tiene el menor número de semillas. Esta característica se asocia positivamente con el peso, tamaño del fruto y grosor de pericarpio. En relación al peso de un muestra de 1000 semillas con sus respectivas repeticiones muestran que la colecta FB es la de menor peso y es diferente a las FMC y FML estadísticamente, sin que estas muestren diferencias entre ellas.

Cuadro 14. Prueba de “t” para las variables evaluadas a las semillas de chile manzano.

Relación	Descriptor ($P \leq 0.05$)			
	Tamaño de la semilla (mm)	Diámetro de la semilla (mm)	Numero de semillas por fruto	Peso de 1000 semillas
FB –FMC	.09	.09	$1 \times 10^{-4*}$.001*
FB –FML	.21	.84	$5 \times 10^{-5*}$.05*
FMC - FML	.04	.18	.05*	.68

6.1.5 Resumen de los caracteres morfológicos evaluados.

Cuadro 15. Resumen de los caracteres morfológicos descritos en la caracterización.

Descriptores de la planta	Cualitativos	Cuantitativos
Parte vegetativa		
Plántula	Color del hipocotíleo	Longitud de la hoja cotiledónea [mm]
	Pubescencia del hipocotíleo	Ancho de la hoja cotiledónea [mm]
	Color de la hoja cotiledónea	
	Forma de la hoja cotiledónea	
Planta	Color del tallo	Altura de la planta [cm]
	Antocianinas del nudo	Ancho de la planta [cm]
	Forma del tallo	Longitud del tallo [cm]
	Pubescencia del tallo	Diámetro del tallo [cm]
	Hábito de crecimiento	Longitud de la hoja madura [cm]
	Densidad de ramificación	Ancho de la hoja madura [cm]
	Amacollamiento	Ciclo de vida
	Densidad de hojas	
	Color de la hoja	
	Forma de la hoja	
	Margen de la lámina foliar	
	Pubescencia de la hoja	

Inflorescencia y fruto		
Inflorescencia	Número de flores por axila	Días a floración
	Posición de la flor	Longitud de la corola [cm]
	Color de la corola	Longitud de las anteras [mm]
	Color de la mancha de la corola	Longitud del filamento [mm]
	Forma de la corola	Esterilidad masculina
	Color de las anteras	
	Color del filamento	
	Exserción del estigma	
	Pigmentación del cáliz	
	Margen del cáliz	
	Constricción anular del cáliz	
Fruto	Manchas o rayas antocianínicas	Días a la fructificación
	Color del fruto en el estado intermedio	Cuajado de fruto
	Color del fruto en estado maduro	Período de fructificación
	Forma del fruto	Longitud del fruto [cm]
	Forma del fruto en unión con el pedicelo	Ancho del fruto [cm]
	Cuello en la base del fruto	Peso del fruto [g]
	Forma del ápice del fruto	Longitud del pedicelo del fruto [cm]
	Apéndice en el fruto, vestigio de la floración	Espesor de la pared del fruto [mm]
	Arrugamiento transversal del fruto	Numero de lóculos
	Tipo de epidermis del fruto	Longitud de la placenta
	Persistencia del pedicelo con el fruto	
	Persistencia del pedicelo con el tallo	

Semilla		
Semilla	Color de la semilla	Diámetro de la semilla [mm]
	Superficie de la semilla	Peso de 1000 semillas [g]
	Tamaño de la semilla	Número de semillas por fruto

	Con diferencia entre colectas
	Sin diferencia entre colectas

6.2 Caracterización morfológica de los híbridos

Los híbridos serán identificados con números continuos como se presenta en el siguiente cuadro, para facilitar el análisis de la información.

Cuadro 16. Resumen de los híbridos obtenidos.

Progenitores		Cruzas	Código
Femenino	Masculino		
FML	FB	FMLXFB	H1
FB	FMC	FBXFMC	H2
FB	FMC	FBXFMC	H3
FMC	FB	FMCXFB	H4
FMC	FB	FMCXFB	H5
FB	FML	FBXFML	H6

Entre los materiales hay una diferencia estadística en los porcentajes de germinación, encontrando una correlación entre la fecha de extracción de la semilla y la geminación, cada treinta días las semillas pierden el 10% de viabilidad.

Cuadro 17. Resultados de la germinación por materiales.

Código	Germinación	Fecha de extracción de semillas	Fecha de siembra
1	83.33%	01/03/2012	13/07/2012
2	58.33%	01/04/2012	
3	54.17%	01/04/2012	
4	91.67%	02/07/2012	
5	79.17%	01/03/2012	
6	62.50%	25/03/2012	

6.3 Artículo

Caracterización morfológica de híbridos de chile manzano

Morphological characterization of manzano pepper hybrids

**¹Brenda Ayala Arias¹, Jaime Mejía Carranza^{1*}, Imelda Martínez Estrada¹,
Martín Rubí Arriaga² y Luis Miguel Vázquez García¹**

¹Centro Universitario UAEM Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. Km 1.5, Carretera Santa Ana - Villa Guerrero, Tenancingo, Estado de México CP 52400 (Ayala_brenba@hotmail.com; pa-che-ca@hotmail.com; lmvazquezg@uaemex.mx). ²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, San Cayetano Morelos, Toluca Estado de México. C.P. 50000 (m_rubi65@yahoo.com.mx).

*Autor de correspondencia jmejia@uaemex.mx

Enviado a: Dra. Dora Ma. Sangerman-jarquín

Editora en jefa de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

RESUMEN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) cultivado en el centro de México presenta variabilidad genética aprovechable en programas de mejoramiento genético. El objetivo de la investigación fue evaluar dos métodos de hibridación y caracterizar morfológicamente los descendientes F_1 de las cruzas entre morfotipos de chile manzano. El experimento se desarrolló de 2012 a 2013 en invernadero con los progenitores identificados como flor blanca (FB), Flor morada - entrenudo largo (FML) y flor morada - entrenudo corto (FMC). Se hibridaron por los métodos "sin corola y "con corola" y la F_1 se evaluó a prendimiento de fruto y caracterización morfológica. Los resultados indicaron que la protección de la flor hibridada afectó el prendimiento de fruto en más del 50%. No hubo diferencias significativas entre cruzas directas ni recíprocas (t ; $p=0.42$), lo que sugiere ausencia de efectos maternos. La posición del estilo tanto en progenitores como en los híbridos fue heteromórfica, con 70-90% al nivel de las anteras. Los variantes de los caracteres color del tallo, color de la corola, color del filamento y color del estilo se encontraron en el progenitor FB y fueron recesivos a los correspondientes de FML y FMC. El porte bajo de la planta y hojas de menor tamaño presentes en los progenitores FB y FMC fueron dominantes en los híbridos y afectaron negativa y significativamente en el rendimiento de frutos y heterosis. Los resultados sugieren estrategias de mejoramiento genético adicionales en híbridos como selección de segregantes y retrocruzas que mejorar el tamaño del fruto.

Palabras clave: *Capsicum pubescens*; hibridación; morfotipos; variación genética.

ABSTRACT

Manzano pepper (*Capsicum pubescens* R and P) cultivated in the Central Mexico presents functional genetic variability in genetic improvement programs. The objective of the research was to evaluate two hybridization methods and characterize morphologically the descendants F_1 from crosses between morphotypes of manzano pepper. The development of the experiment was from 2012 to 2013 in greenhouse with parents identified as white flower (FB), purple flower – long internode (FML) and purple flower - short internode (FMC). The morphotypes were hybridized by the methods "without Corolla" and "with corolla" and the F_1 was evaluated to fruit set and morphological characterization. Results said that flower hybrid protection affected flower abscission and fruit set in more than 50%. There were no significant differences between direct and reciprocal crosses (t ; $p = 0.42$), suggesting an absence of maternal effects. The position of the style of both parents and hybrids was heteromorphic, with 70-90% to the level of the anthers. The variants of the characters stem colour, corolla colour, filament colour and style colour found in the parent FB were recessive to the corresponding ones to FML and FMC. The short size plant character and smaller leaves in parents FB and FMC were dominant in the hybrids and affected negatively and significantly in the yield of fruits and heterosis. The results suggest additional genetic improvement strategies in hybrids as selection of segregants and backcrosses that improve the fruit size.

Key words: *Capsicum pubescens*; hybridization; morphotypes; genetic variability.

INTRODUCCIÓN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R and P) con el potencial de ser una alternativa viable para el desarrollo económico de regiones como la del sur del estado de México, no ha alcanzado la importancia de cultivos como los florícolas por factores como la ausencia de un manejo tecnológico adecuado de su cultivo y productos de calidad heterogénea; esta última afectada entre otros factores por la variabilidad genética existente de los materiales autóctonos cultivados, los cuales contrariamente a la desventaja comercial, representan un amplio reservorio genético que puede ser aprovechado para la selección de diferentes atributos cualitativos y cuantitativos de importancia agronómica en esta especie (Pickersgill, 1997). Del género *Capsicum* se reporta una vasta diversidad entre sus especies, así como variabilidad dentro de éstas para caracteres de follaje y del fruto (Bosland and Vostava, 2000), la cual no necesariamente está relacionada con los centros de origen (Harlan, 1975). Por lo tanto la observación y registro de la variabilidad crean las bases para la selección de materiales y técnicas de mejoramiento genético, como la hibridación, que permitan su explotación (Sahagun, 1999). La hibridación en sentido amplio precisa a la descendencia de la cruce de individuos de poblaciones distinguibles entre sí en uno o más caracteres heredables (Harrison, 1990) y constituye una herramienta adecuada para el análisis de la segregación de caracteres e incluye efectos como el incremento de variación genética intraespecífica, origen y transferencia de variaciones genéticas, el origen de nuevos ecotipos o especies y el reforzamiento o rompimiento de barreras reproductivas. La amplia diversidad de micro climas en México favorece la existencia de variación dentro de especies y particularmente en la zona sur del

Estado de México, con nichos ecológicos diversos, se cultivan diferentes morfotipos de *C. pubescens*, los cuales representan un valioso reservorio de germoplasma que pudiera ser de utilidad en el mejoramiento de ésta especie. El objetivo de la presente investigación fue desarrollar híbridos de cruzas directas y recíprocas de tres morfotipos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) contrastantes en diferentes caracteres y evaluarlos para diferentes atributos cualitativos y cuantitativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció de 2012 a 2013 en invernaderos del Centro Universitario UAEM Tenancingo localizado a 18° 58' 2" N y 99° 36' 44" O y a una altitud de 2064 msnm, en Tenancingo, estado de México. El material biológico fueron tres colectas de la región sur del Estado de México contrastantes a diferentes caracteres morfológicos y que se identificaron como Flor Blanca Entrenudos Cortos (FB); Flor Morada Entrenudos Largos (FML) y Flor Morada Entrenudos Cortos (FMC).

Semillas extraídas de frutos en madurez fisiológica de cada morfotipo se sembraron en sustrato cernido a base de hojas de encino en germinadores de poliestireno de 200 cavidades. El sustrato se ajustó a pH de 5.5 con cal agrícola a razón de 600g por metro cúbico. Como fertilización de fondo se utilizó superfosfato de calcio simple (19.5%) a razón de 1kg por metros cúbico. Las charolas se colocaron en invernadero y bajo malla sombra del 50% con humedad relativa entre el 60% y 90%. El trasplante inicial a vasos de poliestireno de 250 ml se realizó cuando las plantas mostraron 10 hojas verdaderas (40 días después de siembra).

El trasplante definitivo se hizo en bolsas de plástico calibre 600 de 60L de capacidad cuando las plantas presentaron la primera bifurcación (80 días después de siembra). La densidad de plantación fue de 1.5 plantas por metro cuadrado. En ambos trasplantes el sustrato fue una mezcla de tierra arenosa, tepojal y materia orgánica, en una relación de 5:4:1 respectivamente. El pH se ajustó a 5.5 con cal agrícola a razón de 3kg por metro cúbico. Se dio una fertilización de fondo con superfosfato de calcio simple (19.5%) a razón de 2 kg por metro cúbico de sustrato. Las fertilizaciones periódicas se hicieron por el riego de acuerdo a la formula universal de Steiner (1984): 25% en plántula; 50% en etapa vegetativa y 100% en etapa reproductiva.

Se eligieron como progenitores tres plantas al azar por morfotipo y cuando la floración inició se hicieron las cruzas directas resultantes de acuerdo a $p(p-1)/2$ combinaciones y sus recíprocos, así como también autofecundaciones en los testigos. Se evaluaron dos métodos de hibridación por el manejo del progenitor femenino. El primero consistió en la remoción completa de la corola en la emasculación, mientras que en el segundo, solo se removieron dos pétalos de la flor. En todos los casos de hibridación, la emasculación se hizo en flores con anteras inmaduras previo a la antesis, lo cual ocurrió cuando los botones florales previos a su apertura exhibieron en su parte superior la coloración de los pétalos, etapa fenológica en la que el estilo y estigma están a la altura de las anteras y es indicador de receptibilidad; mientras que los progenitores masculinos fueron de flores del día que presentaron antesis con abundante polen de color cremoso e hidratado. La polinización fue mediante desprendimiento de antera del progenitor masculino y fricción de ésta en el estigma del progenitor femenino. Las flores

polinizadas manualmente y las autofecundadas fueron etiquetadas y aisladas con bolsas de organza por 72 horas para evitar contaminación con polen no deseado (Sánchez *et al.*, 2010). Se hicieron en total 60 cruzas directas y 60 reciprocas con igual número para cada combinación. El éxito de la fecundación se consideró con el desarrollo del ovario a los 10 días de la polinización, aunque el éxito de la crusa se consideró con el amarre del fruto y desarrollo a madurez fisiológica.

El contraste de progenitores e híbridos se hizo de acuerdo a 20 descriptores morfológicos cualitativos y cuantitativos de la Guía de Descriptores para *Capsicum* del IPGRI (1995) medidos a partir de cuando el 50% de las plantas presentaron por lo menos una flor abierta. Para planta se midieron forma y color del tallo, altura de la planta y largo y ancho de la hoja; para flor se midieron color de la corola, color y posición del filamento, diámetro de la corola, número y longitud de pétalos y longitud de la antera; mientras que para fruto se midieron longitud de pedúnculo, color del fruto, largo y ancho de fruto, grosor del pericarpio, número de lóculos y número de semillas por fruto. Los caracteres de flor se midieron en flores completamente abiertas después de la antesis, mientras que la evaluación de fruto fue en madurez fisiológica. Los datos de las variables evaluadas se analizaron mediante estadística descriptiva e inferencial con el programa Info Stat (Di Rienzo *et al.*, 2011). En los caracteres cualitativos se efectuó un análisis de frecuencias de acuerdo a las escalas descritas en la guía. Para obtener las significancias estadísticas de los caracteres cuantitativos se realizó un análisis de varianza para cada variable y donde hubo diferencias se utilizó la prueba de comparación de medias Duncan ($P \leq 0.05$). Para estimar el grado de asociación lineal entre las variables evaluadas se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson con

su probabilidad asociada. Las estimaciones de heterosis (H) se realizaron con base en la fórmula $H = ((F_1 - MP) / MP) \times 100$, donde: F_1 fue el valor promedio de la cruce y MP fue el valor del mejor progenitor (Reyes, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las flores hibridadas y las testigo autopolinizadas con protección de bolsas de organza presentaron en promedio un 25% de prendimiento de frutos a los 10 días después de la polinización (Figura 1), porcentaje bajo si se compara con el prendimiento observado en el testigo absoluto, que se dejó a polinización libre y sin protección que presentó el 90% de amarre (Figura 1). La hibridación en flores en botón a punto de apertura a las que se les desprendieron solo dos pétalos laterales presentó más del doble de prendimiento que aquellas a las que les fue removida la corola completa. Este último método fue el menos conveniente con solo un 12% de amarre, sin embargo, para ambos métodos de hibridación, el amarre de fruto fue por debajo del 25%. En el método de hibridación en el que se retiró completamente la corola, probablemente las estructuras florales colapsaron al quedar más expuestas a factores ambientes adversos. Otro factor pudo ser el daño mecánico al pistilo durante la manipulación por la emasculación y la polinización. Sin embargo, al atender a los testigos autopolinizados con protección, estos en promedio se vieron afectados a prendimiento de fruto en más del 50%, con respecto al testigo absoluto de polinización libre y sin protección, lo que sugiere que la cubierta utilizada para aislamiento de flores es el principal factor que afecta el prendimiento de los frutos. Resultados similares sobre

hibridación con prendimiento de fruto con éxito hasta producción de semilla de entre 40 y 50% son los reportados en algodón por Santhy *et al.* (2008).

Las flores seleccionadas como progenitores femeninos y candidatas a emasculación fueron con botón cerrado próximo a abrir, debido a que en la mayoría de los casos en flor abierta (90%), las anteras aun sin dehiscencia completa ya habían liberado polen, dándoles un carácter de cleistogamia. Sin embargo, George (1999) señala que particularmente el género *Capsicum* aun cuando muchas de sus especies se autopolinizan, es difícil considerarlo como tal debido a diferencias observadas entre sus especies o incluso dentro de ellas, muchas veces influidas por el ambiente.

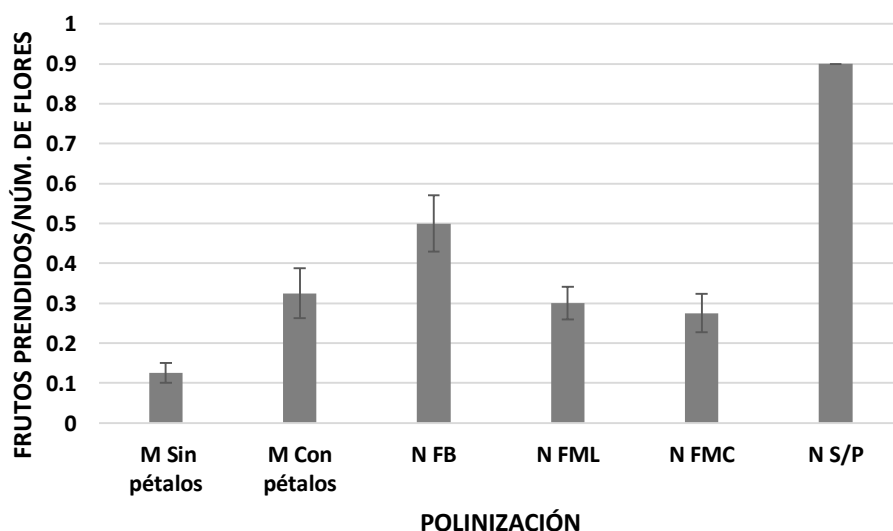


Figura 1. Proporción de frutos prendidos por número de flores con dos métodos de hibridación manual y polinización libre. Barras de error son error estándar.

De los híbridos con fruto prendido a los 10 días de la polinización, su número para desarrollo a fruto fisiológicamente maduro disminuyó debido a abortos en el proceso, con un promedio de 5% de frutos obtenidos del total de las cruzas directas y recíprocas hechas (Cuadro 1). No hubo diferencias significativas entre cruzas directas ni recíprocas de acuerdo a prueba de t ($p=0.42$), lo que sugiere ausencia de efectos maternos por la dirección de las cruzas. Las cruzas correspondientes a FML x FMC en cualquier dirección no funcionaron con desprendimiento de ovario a los 10 días después de la hibridación. Contrariamente, Rêgo *et al.*, (2009), reportan diferencias significativas en los efectos recíprocos en 56 híbridos directos y recíprocos obtenidos con 8 progenitores de *C. baccatum*, lo que sugiere efectos maternos en cruzas de esta especie; incluso, los mismos autores mencionan la existencia de efectos citoplásmicos en diferentes especies de este género.

Cuadro 1. Proporción de éxitos a obtención de fruto maduro en cruzas directas y recíprocas entre tres genotipos progenitores de *C. pubescens*.

Cruza	Cruzadas exitosas (%)	
	Directa	Recíproca
FML x FB	2.8	8.6
FMC x FB	13.5	5.5
FML x FMC	0	0
Promedio	5.4	4.7

De seis caracteres cualitativos medidos, cuatro de ellos contrastantes, en color del tallo, color de la corola, color del filamento y color del estilo, se encontraron en el progenitor FB y fueron recesivos a los correspondientes de FML y FMC en los híbridos resultantes directos y recíprocos de FML x FB y FMC x FB (Cuadro 3). Sin embargo, el color del fruto fue contrastante para los tres progenitores y los híbridos mostraron valores intermedios a los de sus progenitores, lo que sugiere codominancia en la relación alélica de este carácter (Cuadro 2). La posición del estilo, tanto en los progenitores como en los híbridos resultaron heteromórficos, con valores, dependiendo del progenitor, del 70 al 90 % para la posición “al mismo nivel” de las anteras y de 10 a 30% para la posición excerta. La colecta FMC presentó los mayores valores para la posición excerta, mientras que los menores fueron para FB. De acuerdo a diferentes autores (Azurdia, 1995; Berke, 2000; Barrios *et al.*, 2007) la posición del estigma al nivel de las anteras facilita la autopolinización, mientras que cuando el estigma es excerto aumenta el porcentaje de polinización cruzada. Tal es el caso de morfotipos de chiles criollos (*C. annuum*) colectados en Yucatán que presentan comúnmente el estigma excerto, lo cual ha favorecido la polinización cruzada y por tanto resulta frecuente la formación de nuevas variantes o híbridos Latournerie, (2001). En *C. pubescens* el estigma en la mayoría de los casos al mismo nivel de las anteras posiblemente ha contribuido a la autofecundación, además de la característica de inicio de dehiscencia de las anteras antes de la apertura floral, características que han favorecido a los agricultores locales que propagan a esta especie por semilla, sin variaciones evidentes en los descendientes y por consiguiente el método de propagación ha contribuido a la conservación de sus diferentes genotipos. Sin

embargo, debe tenerse en cuenta que, independientemente de que *C. pubescens* sea autógama, los mecanismos de polinización natural por autofecundación o cruzada presentan una continua variación en sus frecuencias relativas.

Cuadro 2. Caracteres cualitativos en progenitores e híbridos F₁ directos y recíprocos de tres colectas contrastantes de chile manzano cultivadas en el sur del estado de México.

Genotipo	Planta		Flor			Fruto
	CT	CC	CF	Estilo		Color
				Posición	Color	
Progenitores						
FB	V	Blanco	blanco	AMN/Excerto	Blanco	AL
FMC	V/RP	Morado	blanco	AMN/Excerto	Morado	AN
FML	V/RP	Morado	morado	AMN/Excerto	Morado	N
Híbridos						
FML x FB	V/RP	Morado	morado	AMN/Excerto	Morado	N
FB x FML	V/RP	Morado	morado	AMN/Excerto	Morado	A
FB x FMC	V/RP	Morado	morado	AMN/Excerto	Morado	A
FMC x FB	V/RP	Morado	morado	AMN/Excerto	Morado	A

En variables cuantitativas de la planta, los híbridos se comportaron de manera similar a los progenitores FB y FMC, en las tres variables medidas de altura de la planta, largo y ancho de hoja. Incluso en altura de la planta, el híbrido FML x FB y su recíproco mostraron valores significativamente menores a FB, identificado

como el progenitor de menor porte (Cuadro 3). El largo de hoja de los híbridos en todos los casos fue del tipo del progenitor FB; mientras que para el ancho correspondieron al progenitor FMC, excepto para la cruce FB x FML, cuyo ancho correspondió al progenitor FB. Los resultados muestran que el carácter porte bajo, con hojas cortas y estrechas fueron dominantes sobre el de plantas con mayor altura como FML, la cual presenta significativamente mayor altura y largo y ancho de hoja. Estos resultados coinciden con lo reportado por Rêgo *et al.* (2009), quienes citan la presencia de genes no aditivos como responsables del tamaño del dosel de la planta en *C. baccatum*. Aunque en general la arquitectura de la planta es la suma de un número variado de rutas fisiológicas y genéticas que dan origen a una apariencia única para cada especie (Sussex and Kerk, 2001), el sistema de ramificación simpoidal (no dominancia apical) del género *Capsicum* y desarrollo de flores axilares únicas está regulado por el gene *FASCICULATA*, cuyo recesivo (*fa*) expresa un crecimiento determinado con flores múltiples en las axilas (Elitzur *et al.*, 2009). En la presente investigación los progenitores y descendientes también mostraron ramificación simpoidal con desarrollo de una o dos flores axilares, este último solo para el progenitor FB; y en referencia al porte de la planta este fue afectado por la longitud de entrenudos expresado en la altura de la planta y tamaño de la hoja (Cuadro 3).

De los caracteres cuantitativos correspondientes a floración solo se encontraron diferencias significativas en tiempo a inicio de floración (Cuadro 3), en donde la cruce FB x FML, fue un tercio de tiempo más precoz que FB, progenitor que se tiene descrito como de floración temprana. Esto representó una diferencia de 50 días, tiempo que desde el punto de vista comercial podría ser significativo. De

acuerdo con Elitzur et al. (2009), este carácter es afectado pleiotropicamente también por el gene *FASCICULATA*, lo que representa que haya amplia variación en las diferentes especies del genero *Capsicum* o incluso dentro de ellas como se observa en los variantes fenotípicos evaluados de *C. pubescens* (FB, FMC y FML).

De los siete caracteres evaluados en fruto, cinco (Lpd, Lg, Ps, Gpr y Nll) correspondientes al tipo del progenitor FB se expresaron en la mayoría de los híbridos evaluados (61%). Fueron excepción el caracter ancho de fruto (Ach) que en tres de los híbridos evaluados presentaron caracteres del progenitor FMC y solo la cruza FB x FMC presento un valor equiparable a FML, progenitor con el mayor ancho fruto. En la variable número de semillas, no hubo diferencias significativas entre los híbridos, pero si con los tres progenitores, al presentar en promedio 58% menor número de semilla que el progenitor con el menor valor (FB). Solo los híbridos FB x FMC y su recíproco, mostraron rendimientos similares al progenitor de menor rendimiento que es FB, ya que la cruza FB x FML y su recíproco mostraron valores aun significativamente menores que el mismo progenitor FB. De los cuatro híbridos obtenidos, directos y recíprocos, los correspondientes a FML x FB y su recíproco mostraron en cinco caracteres medidos valores significativamente menores al progenitor con los valores más bajos. Los cálculos de heterosis, mostraron de manera general una disminución del vigor de los híbridos con respecto al mejor progenitor, al observarse en la mayoría de los casos heterosis negativa (Cuadro 5), posiblemente como resultado de una estrecha relación entre los progenitores; ya que de acuerdo con Geleta et al. (2004), híbridos resultantes de progenitores estrechamente relacionados

muestran bajos valores de heterosis. Sin embargo, los mismos autores también mencionan valores similares para híbridos de progenitores distantemente relacionados. Contrariamente, citan que cruza con divergencia intermedia muestran mayores valores de heterosis para caracteres como, longitud, peso y rendimiento de fruto. Se observaron valores negativos de heterosis en caracteres de la planta, fruto y rendimiento. Aunque para caracteres de la flor los valores de heterosis fueron muy próximos a cero (Cuadro 5). Uno de los inconvenientes que se tiene en el cultivo de chile manzano y básicamente en el fenotipo más cultivado que es el FML utilizado en esta investigación, es el hábito de crecimiento indeterminado que obliga dar a la planta conducción para la arquitectura deseada, generando consumo de tiempo y recursos. Por lo tanto, la disminución de porte de la planta es una ventaja a partir de la heterosis negativa encontrada para este carácter; sin embargo, series de retrocruzas o desarrollo de líneas isogénicas (Alonso-Blanco y Koornneef, 2000; Thies y Fery, 2000) serán necesarias para mejorar el tamaño y rendimiento de fruto, que para el caso de este último presentó heterosis negativa de más de 50%. De acuerdo con Rêgo (2009) el carácter dosel de la planta en *C. Baccatum* es influido por efectos no aditivos, por lo cual podrían ser de dominancia o epistáticos.

Cuadro 3. Medias de diferentes caracteres de planta, flor y fruto en progenitores e híbridos F₁ directos y recíprocos de tres colectas de *C. pubescens* cultivadas en el sur del estado de México.

Genotipo	Planta			Flor					Fruto			Rt			
	Apl (cm)	Lhj (cm)	Ahj (cm)	Tfl (días)	Dcr (cm)	Lpt (cm)	Lft (mm)	Lpd (cm)	Lg (cm)	Ach (cm)	Ps (g)	Gpr (mm)	NS	NII	(Kg/p)
Progenitor															
FB	136b	14.6c	7.68b	150a	2.59a	1.63a	5.9a	3.3b	3.5b	3.6c	25.0c	3.8b	74b	2.1b	15.3b
FMC	143b	16.3b	7.73b	157a	2.75a	1.62a	5.9a	3.5b	4.2a	3.9b	27.6b	4.4a	87a	2.0b	21.2a
FML	165a	17.6a	8.72a	158a	2.86a	1.66a	5.9a	4.1a	3.7b	4.6a	40.7a	4.7a	94a	2.7a	25.7a
Cruzas															
FML x FB	116c	13.9c	7.15b	169a	2.86a	1.63a	6.1a	3.04b	3.2b	4.1b	24.0c	3.7b	36c	3.2a	5.6c
FB x FML	111c	13.2c	6.52c	97b	2.61a	1.55a	5.9a	2.55c	3.2b	4.1b	23.8c	3.8b	25c	2.5b	5.8c
FB x FMC	132b	13.6c	7.15b	159a	2.75a	1.65a	6.1a	3.50b	3.5b	4.5a	29.4b	3.4b	39c	2.6b	14.2b
FMC x FB	125b	13.4c	6.89b	164a	2.72a	1.56a	6.0a	2.90b	3.5b	4.0b	26.2c	3.2b	24c	2.5b	15.3b
CV (%)	8.19	8.24	13.75	12.14	9.83	11.26	9.5	18.68	11.5	9.6	21.8	20.3	24.5	24.1	17.6

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Duncan, $p>0.05$).

Cuadro 4. Heterosis con respecto al mejor progenitor de dos cruzas directas y su respectivo reciproco para catorce variables de planta, flor, fruto y rendimiento en *C. pubescens*.

Cruza	Heterosis (%)														
	Planta			Flor				Fruto					Rto		
	Apl	Lhj	Ahj	Tfl	Dcr	Lpt	Lft	Lpd	Lg	Ach	Ps	Gpr	NS	Nll	
FML x FB	-29.7	-21.0	-18.0	7.0	0.0	-1.8	3.4	-25.9	-13.5	-10.9	-41.0	-21.3	-61.7	18.5	-78.2
FB x FML	-32.7	-25.0	-25.2	-38.6	-8.7	-6.6	0.0	-37.8	-13.5	-10.9	-41.5	-19.1	-73.4	-7.4	-77.4
FB x FMC	-7.7	-16.6	-7.5	1.3	0.0	1.2	3.4	0.0	-16.7	15.4	6.5	-22.7	-55.2	23.8	-33.0
FMC x FB	-12.6	-17.8	-10.9	4.5	-1.1	-4.3	1.7	-17.1	-16.7	2.6	-5.1	-27.3	-72.4	19.0	-27.8
Promedio	-20.7	-20.1	-15.4	-6.4	-2.4	-2.8	2.1	-20.2	-15.1	-0.95	-20.3	-22.6	-65.7	13.5	-54.1

Apl= altura de la planta; Lhj= longitud de hoja; Ahj= ancho de hoja; Tfl= tiempo a floración; Dcr= diámetro de corola; Lpt= longitud de pétalo; Lft= longitud de filamento; Lpd= longitud de pedúnculo; Lg= largo de fruto; Ach= ancho de fruto; Ps= peso de fruto; Gpr= grosor del pericarpio; Ns= número de semillas por fruto; Nll= número de lóculos; Rto= rendimiento.

Las variables Apl, Lhj y Ahj se correlacionaron entre ellas con valores positivos altamente significativos, lo que demuestra su estrecha asociación y efecto en el porte y vigor de la planta (Cuadro 5). Las mismas variables también se correlacionaron positivamente y con valor estadístico con las variables de fruto de Lpd, Ps, Gpr, Ns y Rto, lo que denota una influencia directa del vigor de la planta en el tamaño del fruto. El número de semillas por fruto se correlacionó positiva y significativamente con el grosor del pericarpio, lo que asocia a este último carácter como el de mayor influencia en la cantidad de semillas obtenidas.

.

Cuadro 5. Matriz de correlación Pearson para 15 caracteres de planta, flor y fruto de progenitores e híbridos F₁ de *C. pubescens*

	Apl	Lhj	Ahj	Tfl	Dcr	Lpt	Lft	Lpd	Lg	Ach	Ps	Gpr	Ns	Nll	Rto
Apl	1														
Lhj	0.92**	1													
Ahj	0.95**	0.94**	1												
Tfl	0.4	0.29	0.43	1											
Dcr	0.38	0.46	0.46	0.64	1										
Lpt	0.67	0.6	0.75*	0.59	0.54	1									
Lft	-0.4	-0.51	-0.38	0.48	0.44	0.2	1								
Lpd	0.94**	0.85*	0.93**	0.53	0.54	0.86**	-0.13	1							
Lg	0.68	0.7	0.57	0.33	0.16	0.32	-0.42	0.6	1						
Ach	0.35	0.25	0.27	0.09	0.63	0.38	0.32	0.47	-0.06	1					
Ps	0.88**	0.79*	0.83*	0.27	0.55	0.58	-0.22	0.86**	0.39	0.71	1				
Gpr	0.73	0.92**	0.8*	-0.04	0.33	0.45	-0.62	0.65	0.57	0.21	0.64	1			
Ns	0.88**	0.93**	0.92**	0.27	0.22	0.65	-0.57	0.82*	0.74	0.01	0.62	0.86**	1		
Nll	-0.27	-0.21	-0.12	0.21	0.65	0.14	0.67	-0.08	-0.64	0.53	0.09	-0.19	-0.43	1	
Rto	0.95**	0.85*	0.84*	0.4	0.28	0.49	-0.45	0.85*	0.81*	0.24	0.79*	0.62	0.81*	-0.44	1

Apl= altura de la planta; Lhj= longitud de hoja; Ahj= ancho de hoja; Tfl= tiempo a floración; Dcr= diámetro de corola; Lpt= longitud de pétalo; Lft= longitud de filamento; Lpd= longitud de pedúnculo; Lg= largo de fruto; Ach= ancho de fruto; Ps= peso de fruto; Gpr= grosor del pericarpio; Ns= número de semillas por fruto; Nll= número de lóculos; Rto= rendimiento. *= significativo ($p \leq 0.05$); **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

7. CONCLUSIONES

En el proceso de hibridación, el aislamiento de flores polinizadas manualmente afectó en más del 50% el prendimiento de fruto, por lo cual, además del manejo que debe ser de alta destreza, también se debe considerar otros materiales diferentes al empleado para el aislamiento contra insectos u otros factores ambientales que promuevan polinización cruzada con polen extraño o muerte de la flor o fruto. La posición del estigma con respecto a las anteras tanto en progenitores como en los híbridos fue heteromórfica, con 70-90% al nivel de las anteras, lo que sugiere un alto porcentaje de autopolinización que ha permitido conservación de los morfotipos por semilla obtenida de polinización libre. Los variantes de cuatro de seis caracteres cualitativos medidos (color del tallo, color de la corola, color del filamento y color del estilo) se encontraron en el progenitor FB y fueron recesivos a los correspondientes de FML y FMC. Mientras que en caracteres cuantitativos los variantes de menor tamaño en las variables de altura de la planta y largo y ancho de hoja presentes en los morfotipos FB y FMC fueron dominantes en los híbridos y afectaron negativamente en el rendimiento de frutos y heterosis. Por lo tanto, la disminución en el porte de la planta en los híbridos obtenidos resultó favorable para aspectos de manejo de la planta, sin embargo, estrategias de mejoramiento genético adicionales como selección de segregantes y retrocruzas serán necesarios para mejorar el tamaño del fruto.

LITERATURA CITADA

- Alonso-Blanco, C. y Koornneef, M. (2000). Naturally occurring variation in *Arabidopsis*: an underexploited resource for plant genetics. *Trends in plant science*, 5(1), 22-29.
- Azurdia, C. G. (1995). *Capsicum* spp. En: Caracterización de algunos cultivos nativos de Guatemala. International Borrada for Plant Genetic Resources, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. Pág. 135-142.
- Berke, T.G. (2000). Hybrid Seed Production in *Capsicum*. Journal of new seeds, 1: 49- 67.
- Barrios, O., Fuentes, V., Shagarosdky, T., Cristóbal, R., Castiñeiras, L., Fundora, Z. y León, N. (2007). Nuevas combinaciones híbridas de *Capsicum* spp en sistemas de agricultura tradicional de Occidente y Oriente de Cuba. *Agrotecnia de Cuba*, 31(2): 327-335.
- Bosland, P.W. and Vostava, E.J. (2000). Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. CABI Publishing, New York, USA.
- Daskalov, S., y Mihailov, L. (1988). A new method for hybrid seed production based on cytoplasmic male sterility combined with a lethal gene and a female sterile pollenizer in *Capsicum annum* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(4): 530-532.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., González L., Tablada M. y Robledo C.W. (2011). Infostat: Programa de cómputo. Versión 24-03-2011. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

- Elitzur, T., Nahum, H., Borovsky, Y., Pekker, I., Eshed, Y., y Paran, I. (2009). Co-ordinated regulation of flowering time, plant architecture and growth by FASCICULATE: the pepper orthologue of SELF PRUNING. *Journal of experimental botany*, 60(3): 869-880.
- Geleta, L. F. and Labuschagne, M.T. (2004). Comparative performance and heterosis in single, three-way and double cross pepper hybrids. *J Agric Sci* 142:659-663.
- George, R.A.T. 1999. Vegetable Seed Production. CABI Publishing. 327 p.
- Harlan, J. R. (1975). Crops and man. American Society of Agronomy. Madison Wisconsin, USA. 306 p.
- Harrison, R. G. (1990). Hybrid zones: windows on evolutionary process. *Oxford surveys in evolutionary biology*, 7: 69-128.
- IPGRI-AVRDC-CATIE (1995). Descriptores para Capsicum (*Capsicum* spp). En: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia, Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Latournerie, L. C. S., Pérez, M.; Castañon, G.; Rodríguez, S. y Arias, L. (2001). Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* y *Capsicum chinense*).
- Pickersgill B. (1997). Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica*, 96(1): 129-133.
- Reyes, C. P. (1985). Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor, S.A. México. 460p.

- Rêgo, E. R., Rêgo, M. M., Cruz, C. D., Finger, F. L. and Casali, V. W. D. (2009). A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). *Euphytica*, 168 (2): 275–287.
- Rieseberg, L. H. (1997). Hybrid origins of plant species. *Annual review of Ecology and Systematics*, 28: 359-389.
- Sahagun, C. J. (1999). Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis exocarpa* Brot.). *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 5(1): 23-27.
- Sánchez, S. H., González, H. V., Cruz, P. A., Pérez, G. M., Gutiérrez, E. A., Gardea, B. A., y Gómez, L. M. (2010). Herencia de capsaicinoides en Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia*, 44(6): 655-665.
- Santhy, V., Khadi, B. M., Singh, P., Vijaya-Kumari, P. R., Deshmukh, R. K. and Vishwanathan, A. (2008). Hybrid seed production in cotton. CICR Technical Bulletin no: 35. Central Institute for Cotton Research Nagpur, India.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. pp. 633-650. In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture. Wageningen. The Netherlands.
- Sussex, I. M. and Kerk, N. M. (2001). The evolution of plant architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 4: 33–37.
- Thies, J. A., and Fery, R. L. (2000). Characterization of Resistance Conferred by the N gene to *Meloidogyne arenaria* Races 1 and 2, M. hapla, and M. javanica in Two Sets of Isogenic Lines of *Capsicum annum* L. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(1): 71-75.

8. FUENTES CONSULTADAS

- Alcántara, M. R. (2007). Breve revisión de los marcadores moleculares. *Ecología molecular*, 541-566.
- Alonso, R. A., Ponce, P., Quiroga, R., Rosales, M., Zuart, J., Moya, C., y Cabrera, A. (2008). Evaluación In Situ de la variabilidad genética de los chiles silvestres (*Capsicum* spp.) en la región Frailesca del estado de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 29(2), 49-55.
- Andrews, J. (1995). *Peppers: the domesticated Capsicums*: University of Texas Press. U.S.A.
- Bartón, H. N. (2001). The role of hybridization in evolution. *Molecular ecology*. Pp 551 - 568.
- Benem, N. N. (2010). *Asteracea: cladística y clasificación*. Timber press. Potland, Oregon. U.S.A
- Benítez D., H., Bellot R., M. (2007). SEMARNAT. *Instituto Nacional de Ecología, Biodiversidad: Uso, Amenaza y Conservación*. Retrieved from http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/395/benitez_bellot.html
- Birchler, J. A., Yao, H., Chudalayandi, S., Vaiman, D., and Veitia, R. A. (2010). Heterosis. *The Plant Cell*, 22(7), 2105–2112. <http://doi.org/10.1105/tpc.110.076133>
- Bosland, P. W. (1996). *Capsicum: Innovative uses of an ancient crop*. In J. Janick (Ed.), *Progress in new crop* (pp. 479 - 489). Arlington, VA, USA: ASHS press.

- Cardoso, D. L. R., Granado, M. F. Segeren, I. M. (2009). Caracterización citogénética, viabilidad de polén en las híbridaciones artificiales. *Horticultura Brasileña*. (pp. 27:40 - 44).
- Castañeda, P. R. (1985). *Fitogenotecnia, básica y aplicada*. México.
- Castellón, M. C., S. J. L.; Carrillo, R. J. C.; Vera G. A. M. (2012). Preferencias de consumo de Chiles (*Capsicum annum* L.) nativos en los valles centrales de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 27-35.
- Castro, S. P., Dávila, M. A. G. (2008). Caracterización morfológica de 93 accesiones de *Capsicum* spp del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. *Acta agronómica*, 57, 247-252.
- Cervantes. F.M.A. (2010). Híbridaciones en plantas hortícolas; Mejora vegetal. Escuela Familiar Agraria, Campomar.
- Chávez S. J. L. Diversidad morfológica e isoenzimática del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en México.
- Chávez S. J. L. (1995). Descripción de una población de chile manzano colectada en el sur del Estado de México. *Ciencia Agrícola Informa*, 3, 33-36.
- Chávez, S. J. L., Castillo, González F. (1999). Variabilidad en caracteres morfológicos de colectas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 22, 21-41.
- Dürüst, N., Sümengen, D., and Dürüst, Y. (1997). Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(6), 2085-2087.
- Elstrand, N.C. Riesberg, R.W. (1996). Distribution of spontaneous plant hybrid. Proceedings on the National Academy of Sciences. pp 505 - 509.

- Eshbaugh, W. H. (1980). The taxonomy of the genus *Capsicum* (Solanaceae): 1980. *Phytologia*, 47.
- FAO, (1996). *Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo*: FAO.
- Fatalii.net. (1997). *Inferno Chili*, 2013
- Fritz. R.S., Orian, C.M., Brunfel, S.J. (1994). Interespecific hybridization on plants and resitence to herbivores. *Oecology*. pp 106 - 112.
- Goldstein, D., Pollock, D. (1997). *Mutation Processes and Methods of Phylogenetic Inference*.
- González, C. J. M. (2010). *Resistencia del ácaro de dos manchas *Tetranychus urticae* Koch a acaricidas convencionales en el cultivo del rosal en el municipio de Villa guerrero, Estado de México*. Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- González, G. M., Medina, H. M., Medina, H. M., & Palomares, H. G. (2010). Identificación y selección de marcadores moleculares Inter-microsatelite (ISSR) para la diferenciacion varietal en *Capsicum annum* L.
- Heiser, C. B., Smith, P. G. (1953). The cultivated *Capsicum* peppers. *Economic Botany*, 7(3), 214-227.
- Heiser Jr, C. B., Pickersgill, B. (1969). Names for the cultivated *Capsicum* species (Solanaceae). *Taxon*, 277-283.
- Hernández, V. S., Aranda, D. P., Oyama, K. (1999). Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. Review of taxonomy, origin and domestication of the genus *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*.(64), 65-84.

- IPGRI, (1995). *Descriptores para Capsicum (Capsicum spp.)* (Vol. 16): CATIE.
- Lanteri, S., Acquadro, A., Quagliotti, L., and Portis, E. (2003). RAPD and AFLP assessment of genetic variation in a landrace of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50(7), 723-735.
- Limón, M., Cantú, G., Avila, C., González, N., H, G. G., & J.A., V. G. (2010). *Determinación de carotenoides y clorofila en frutos de cuatro variedades de (Capsicum sp.)*. Paper presented at the XII Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología de Alimentos Guanajuato.
- Loaiza-Figueroa, F., Ritland, K., Cancino, J. A. L., & Tanksley, S. (1989). Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanaceae) in Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 165(3-4), 159-188.
- Long-Solís, J. (1986). *Capsicum y cultura: la historia del chilli*: Fondo de Cultura Económica.
- López, R. G. O. (2009). Chilli. Especia del nuevo mundo. *Ciencias*(069).
- Luo, X.-J., Peng, J., Li, Y.-J. (2011). Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. *European journal of pharmacology*, 650(1), 1-7.
- Lynch, M., Milligan, B. (1994). Analysis of population genetic structure with RAPD markers. *Molecular Ecology*, 3(2), 91-99.
- Maroto, B. J. V. (2002). *Horticultura Herbácea Especial* (5a. ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Martín, N. C., González, W. G. (1991). Caracterización de accesiones de chile (*Capsicum spp.*). *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, 2, 31-39.

- Medeiros, A. M., Rodrigues, R., Gonçalves, L. S. A., Sudré, C. P., Oliveira, H. S. D., and Santos, M. H. D. (2014). Gene effect and heterosis in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. *Ciência Rural*, 44(6), 1031-1036.
- Mendel, G. (1996). Experiments in plant hybridization (1865). *Verhandlungen des naturforschenden Vereins Brünn.*) Available online: [www. mendelweb. org/Mendel. html](http://www.mendelweb.org/Mendel.html) (accessed on 1 January 2013).
- Montes, H. S. (2010). *Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género Capsicum que crecen y se cultivan en México*. Querétaro: INIFAP.
- Molina, C.H., Hernández, G.D., Lazcano, P.H. y Ponciano. (2008). Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva hortícola. Veracruz, México.
- Novak, F.J. y Brunner, H. (1992). Fitotecnia: Tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos . *Boletín del OIEA*. 4:24 - 33.
- Onus, A., Pickersgill, B. (2004). Unilateral incompatibility in *Capsicum* (Solanaceae): occurrence and taxonomic distribution. *Annals of Botany*, 94(2), 289.
- Paran, I., Atergoot, E., Shifriss, C. (1998). Variation in *Capsicum annuum* revealed by RAPD and AFLP markers. *Euphytica*, 99(3), 167-173.
- Pardey, C., García, M., Cabrera, F. A. V. (2006). Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. *Acta Agronómica*, 55 (3), 1-10.

- Pérez, A. B. C., González-Hernández, V., Hernández, R. M. S., Gutiérrez-Espinosa, M. A., Gardea-Béjar, A. A., Pérez-Grajales, M. (2007). Capsaicinoides, vitamina c y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia*, 41(6), 627-635.
- Pérez, G., Castro, R. (1998). Guía para la producción intensiva de chile manzano. *Boletín de divulgación, departamento de fitotecnia, UACH*, 1(Programa Nacional de Investigación en Oleicultura.) México,
- Pérez, G., Castro, R. (2010). *El Chile Manzano* (Vol. 1). México: Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Pérez, G. M. (2002). *Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad del fruto en chile manzano (Capsicum pubescens R y L)*. Doctorado, Colegio de Posgraduados, México.
- Pickersgill, B. (1997). Genetic resources and breeding of Capsicum spp. *Euphytica*, 96(1), 129-133.
- Piñero, D. (2008). La variabilidad genética de las especies: aspectos conceptuales y sus aplicaciones y perspectivas en México. *Capital Natural de México*, 1(Conocimiento actual de biodiversidad), 415 - 435.
- Pozo, C. O. (1983). Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de Chile. *Manual publicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrocolas*, 59.
- Prajapati, P., Singh, A., Patel, N. L., Singh, D., and Srivastav, V. (2015). Evaluation of genetic diversity in different genotypes of *Gerbera jamesonii* Bolus using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *African Journal of Biotechnology*, 13(10), pp. 1117 - 1122.

- Radice, S.I. Marconi, P.L. (1998). Micropropagation from *in vitro* capitulum culture of several cultivars. *Revista de la Facultad de Agronomía. La plata, Argentina*. 103(2):111-118.
- Ramírez, (2005). Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile 'habanero'. *Revista Chapingo. Serie horticultura*(1), 93-98.
- Rentaría, M. (2007). Herramientas Moleculares. *Breve revisión de los marcadores moleculares. Cap, 18, 541-566*.
- Rodriguez, J., Berke, T., Engle, L., y Nienhuis, J. (1999). Variation among and within Capsicum species revealed by RAPD markers. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 99(1), 147-156.
- Ruiz, C. J. C. (2012). *Evaluación de sustratos y su efecto en el desarrollo de dos colectas de chile manzano (Capsicum pubescens R y P)*. Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Sahagun, C. J. (1999). Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis exocarpa* Brot.). *Revista chapingo: serie horticultura*, 5(1), 23-27.
- Sánchez, A. C., Valadez, M. E., Carballo, C. A., Castillo, G. F. (2003). Diferenciación de dos líneas de tomate y su híbrido con marcadores moléculares. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26, 67 -72
- Sánchez, S. H., González, H. V., Cruz, P. A., Pérez, G. M., Gutiérrez, E. A., Gardea, B. A., y Gómez, L. M. (2010). Herencia de capsaicinoides en Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia*, 44(6), 655-665.

- Sánchez, C.C., Villanueva, V.J., Sahagún, C., Martínez, S., Legaria S.J.P., Sánchez, H.M.A. (2011). Efectos de aptitud combinatoria en híbridos de calabacita tipo Grey Zuchinno. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 17 (2):89-103.
- Shopova, M. (1966). Studies in the genus *Capsicum*. *Chromosoma*, 19(3), 340-348.
- Simpson, J. (1997). Amplified fragment length polymorphisms (AFLP). *Bol. Soc. Bot. Méx*, 60, 119-122.
- Sinha, N. (1950). The somatic chromosomes and meiosis in *Capsicum*. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 10, 36-42.
- Sobral, B.W.S. (1996). *The impact of plant molecular Genetics*. Birkhauser. MA., Estados Unidos.
- Stansfield, W. D. (1992). *Genética*. México: McGraw- Hill.
- Sudré, C., Gonçalves, L., Rodrigues, R., AMARAL JÚNIOR, A. d., Riva-Souza, E., & Bento, C. d. S. (2010). Genetic variability in domesticated *Capsicum* spp. as assessed by morphological and agronomic data in mixed statistical analysis. *Genetics and Molecular Research*, 9(01), 283-294.
- Topuz, A., Ozdemir, F. (2004). Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. *Food chemistry*, 86(4), 509-515.
- Valadez, M. E., Günter, K. (2005). *Huellas de ADN engenoma de plantas*. (Vol. 1). México: Mundi-Prensa.
- Valadez, M. E., Kahl, G. (2000). *Huellas de ADN en genomas de plantas: teoría y protocolos de laboratorio*. México: Mundi-Prensa.

- Vendramin, G. G., Lelli, L., Rossi, P., Morgante, M. (1996). A set of primers for the amplification of 20 chloroplast microsatellites in Pinaceae. *Molecular Ecology*, 5(4), 595-598.
- Villota-Cerón, D., Bonilla-Betancourt, M. L., Carmen-Carrillo, H., Jaramillo-Vásquez, J., & García-Dávila, M. A. (2012). Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica CI Palmira, Colombia. *Acta agronómica*, 61(1), 16-26.
- Viñals, F. N., Ortega, R. G., García, J. C. C. (1996). *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*: Mundi-Prensa Libros.
- Walsh, B. M., Hoot, S. B. (2001). Phylogenetic relationships of *Capsicum* (Solanaceae) using DNA sequences from two noncoding regions: the chloroplast *atpB-rbcL* spacer region and nuclear *waxy* introns. *International Journal of Plant Sciences*, 162(6), 1409-1418.
- Whitkus, R., Doebley, J., Wendel, J. F. (1994). Nuclear DNA markers in systematics and evolution. *DNA-based markers in plants*, 116-141.
- Wilches, A. V. (2004). Descripción de algunas herramientas moleculares y sus aplicaciones. In F. d. C. A. y. A. Universidad Rafael Landívar (Ed.), *Universidad Rafael Landívar (URL)* (Vol. 15). Guatemala: IARN.

9. ANEXOS

Leyes de Mendel (Mendel, 1866)

Las Leyes de Mendel son un conjunto de reglas básicas sobre la transmisión por herencia de las características de los organismos padres a sus hijos. Se consideran reglas más que leyes, pues no se cumplen en todos los casos, por ejemplo cuando los genes están ligados, es decir, se encuentran en el mismo cromosoma. Estas reglas básicas de herencia constituyen el fundamento de la genética. Las leyes se derivan del trabajo realizado por Gregor Mendel publicado en el año 1865 y el 1866, aunque éste fue ignorado por largo tiempo hasta su redescubrimiento en 1900. Se considera que las leyes de Mendel reflejan el comportamiento cromosómico durante la meiosis: la primera ley responde a la migración aleatoria de los cromosomas homólogos a polos opuestos durante la anafase I de la meiosis y la segunda ley, al alineamiento aleatorio de cada par de cromosomas homólogos durante la metafase I de la meiosis, por lo que genes distintos y pares diferentes de cromosomas homólogos segregan independientemente.

Desde Mendel se siguen los siguientes pasos para los procesos de cruza manuales, se recomienda trabajar con línea puras diferentes respecto de uno o más caracteres, obteniendo la primera generación filial con uniformidad fenotípica.

Posteriormente realizó autofecundaciones de los híbridos (F_1) y dio lugar a la segunda generación filial (F_2) y así sucesivamente. Implemento el cruzamiento recíproco y la retrocruza, método que consiste en la cruce de la primera

generación filial (F_1) por los dos parentales utilizados en las dos direcciones posibles. Obteniendo las leyes de Mendel.

1° Ley de Mendel: Principio de la uniformidad de los híbridos de la primera generación filial (segregación equivalente)

Establece que si se cruzan dos razas puras (un homocigoto dominante con uno recesivo) para un determinado carácter, los descendientes de la primera generación serán todos iguales entre sí, fenotípica y genotípicamente, e iguales fenotípicamente a uno de los progenitores (de genotipo dominante), independientemente de la dirección del cruzamiento. Expresado con letras mayúsculas las dominantes ($A =$ amarillo) y minúsculas las recesivas ($a =$ verde), se representaría así: $AA + aa = Aa, Aa, Aa, Aa$. En pocas palabras, existen factores para cada carácter los cuales se separan cuando se forman los gametos y se vuelven a unir cuando ocurre la fecundación.

2° Ley de Mendel: Ley de la segregación de los caracteres en la segunda generación filial.

Esta ley establece que durante la formación de los gametos, cada alelo de un par se separa del otro miembro para determinar la constitución genética del gameto filial. Es muy habitual representar las posibilidades de hibridación mediante un cuadro de Punnett, donde se definió las proporciones de expresión de dominancia (3:4) y recesiva (1:4) fenotípica; debido a que los alelos maternos y paternos se

combinan asegurando la variación entre la presencia de individuos homocigóticos y heterocigotos, siendo estos individuos fértiles. Mendel obtuvo esta ley al cruzar diferentes variedades de individuos heterocigotos (diploides con dos variantes alélicas del mismo gen: Aa).

Según la interpretación actual, los dos alelos, que codifican para cada característica, son segregados durante la producción de gametos mediante una división celular meiótica. Esto significa que cada gameto va a contener un solo alelo para cada gen. Lo cual permite que los alelos materno y paterno se combinen en el descendiente, asegurando la variación.

Para cada característica, un organismo hereda dos alelos, uno de cada progenitor. Esto significa que en las células somáticas, un alelo proviene de la madre y otro del padre. Estos pueden ser homocigotos o heterocigotos.

En palabras del propio Mendel:

Resulta ahora claro que los híbridos forman semillas que tienen el uno o el otro de los dos caracteres diferenciales, y de estos la mitad vuelven a desarrollar la forma híbrida, mientras que la otra mitad produce plantas que permanecen constantes y reciben el carácter dominante o el recesivo en igual número.

3° Ley de Mendel: Ley de la independencia de los caracteres hereditarios

En ocasiones es descrita como la 2ª Ley, en caso de considerar solo dos leyes (criterio basado en que Mendel solo estudió la transmisión de factores hereditarios

y no su dominancia/expresividad). Mendel concluyó que diferentes rasgos son heredados independientemente unos de otros, no existe relación entre ellos, por lo tanto el patrón de herencia de un rasgo no afectará al patrón de herencia de otro. Solo se cumple en aquellos genes que no están ligados (es decir, que están en diferentes cromosomas) o que están en regiones muy separadas del mismo cromosoma. En este caso la descendencia sigue las proporciones. Representándolo con letras, de padres con dos características AALL y aall (donde cada letra representa una característica y la dominancia por la mayúscula o minúscula), por entrecruzamiento de razas puras (1era Ley), aplicada a dos rasgos, resultarían los siguientes gametos: AL + al =AL, Al, aL, al.

Al intercambiar entre estos cuatro gametos, se obtiene la proporción AALL, AALI, AAIL, AAlI, AaLL, AaLI, AaLl, Aall, aALL, aALI, aAIL, aAlI, aaLL, aaLI, aalL, aall.

Como conclusión tenemos: 9 con "A" y "L" dominantes, 3 con "a" y "L", 3 con "A" y "l" y 1 con genes recesivos "aall" con proporciones 3:1:1.

En palabras del propio Mendel:

Por tanto, no hay duda de que a todos los caracteres que intervinieron en los experimentos se aplica el principio de que la descendencia de los híbridos en que se combinan varios caracteres esenciales diferentes, presenta los términos de una serie de combinaciones, que resulta de la reunión de las series de desarrollo de cada pareja de caracteres diferenciales.