



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

✓ CARACTERES DE HERENCIA SIMPLE EN CHILE
MANZANO (*Capsicum pubescens* R. & P.)

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA

PRESENTA

913201

VICENTE MENDOZA DE JESÚS

CHAPINGO, MÉXICO, JULIO DE 1999



CARACTERES DE HERENCIA SIMPLE EN CHILE MANZANO

(*Capsicum pubescens* R. & P.)

Tesis realizada por **Vicente Mendoza de Jesús**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____

M. C. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR: _____

Ph. D. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR: _____

DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

34356

CARACTERES DE HERENCIA SIMPLE EN CHILE MANZANO

(*Capsicum pubescens* R. & P.)

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Vicente Mendoza de Jesús** autor de la presente tesis de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA** estuvo constituido por:

PRESIDENTE: _____

M. C. MARIO PÉREZ GRAJALES

ASESOR: _____

Ph. D. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR: _____

DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

DEDICATORIA

Con cariño y respeto para mis padres

VICENTE MENDOZA RAMÍREZ

Y

CECILIA DE JESÚS ALBINO

Por enseñarme a valorar las cosas y a ser responsable

A mis hermanos

ANGEL

NICOLÁS

GERARDO

EVA

CARMEN

JUAN

Por todo el apoyo brindado durante mis estudios y porque sigamos siendo amigos

A mis sobrinos

**Jenni Fer, Omar, Berenice, Yazmín, Gerardo, Edgar, Erick, Misael, Sandra,
Brenda y Mario.**

A la familia Mendoza Ruíz y en especial a **Maricela**, por esta gran amistad.

A mis amigos de generación **Mario, Lauro, Samuel, Roberto y Miguel Jorge.**

AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO** por darme la oportunidad de crecer como estudiante y enseñarme a ser disciplinado.

Al **CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA** por el apoyo económico otorgado durante los dos años de estudio de la maestría.

Al **M. C. MARIO PÉREZ GRAJALES** por la gran dirección en el presente trabajo y por transmitirme su experiencia y conocimientos. Gracias amigo.

Al **Ph. D. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS** por las observaciones realizadas al presente, por compartir sus conocimientos, y que gracias a este trabajo me permitió conocerlo como una excelente persona y un gran científico. Gracias maestro.

Al **DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ** por las valiosas observaciones en la revisión del trabajo y por los consejos recibidos. Gracias colega.

A todos mis colegas y amigos de la generación. Gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor del presente trabajo, nació el 22 de enero de 1972 en el municipio Ixtlahuaca, Estado de México. Es Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia por la Universidad Autónoma Chapingo, egresado y titulado en el año de 1995 con la tesis “Evaluación agronómica de variedades criollas y mejoradas de maíz (*Zea mays* L.) en Ixtlahuaca, México”.

Es miembro de la sociedad Mexicana de Fitogenética desde 1997 y actualmente se encuentra tomando el curso de preparación para el TOEFL.

RESUMEN

Con el objeto de contribuir al mejoramiento genético en *Capsicum pubescens*, se realizó un experimento bajo condiciones de invernadero para estudiar la herencia de cinco caracteres cualitativos de importancia agronómica. Se realizó cruza entre plantas que tenían características contrastantes y se obtuvo la F_1 , la cual se autofecundó para observar la segregación en F_2 . Los resultados indicaron que la altura de planta es determinada por un solo gene, con dominancia completa de planta alta sobre planta enana. En relación con este atributo, es de señalarse que uno de los sistemas de producción que se pretende desarrollar incluye el uso de plantas compactas con altos rendimientos para cultivarlas a altas densidades de población en invernadero. La floración múltiple parece ser un carácter cuantitativo y aunque se presente dos flores por axila, casi siempre sólo una amarra fruto. El fruto de base cóncava es dominante sobre el de convexa, el primero no permite la acumulación de agua en su base evitando la pudrición del mismo, sobre todo en las temporadas de lluvia; esto podría ser importante para cuando el cultivo se realice en condiciones de campo. El fruto tipo pera es dominante sobre el manzana; sin embargo este último es más preferido por los consumidores. El color rojo del fruto maduro es dominante sobre el naranja y éste a su vez lo es sobre el amarillo. El color es dado por tres alelos en el locus y y se sugiere la constitución genética siguiente: y^+y^+ rojo, y^-y^- naranja y $y_1y_1^-$ amarillo, aunque no se descarta la posibilidad de que sea determinado por dos loci con epistasis dominante simple. Debido a que el mercado demanda frutos de color naranja, se sugiere que a partir de las líneas homocigóticas iniciar un proceso de selección para generar una variedad.

Palabras clave: *Capsicum pubescens*, mejoramiento, color de fruto, altura de planta.

ABSTRACT

MENDOZA DE JESÚS VICENTE

INHERITANCE OF QUALITATIVE CHARACTERS IN *Capsicum pubescens* R. & P.

July, 1999

(Under the direction of Mario Pérez Grajales).

In order to contribute on *Capsicum pubescens* breeding an experiment was carried out, to study the inheritance of five qualitative characters with agronomic importance under greenhouse conditions. Crosses were made between plants with contrasting characters to obtain the F_1 . It was selfed to analyze the segregation in F_2 . The results showed that plant height is determined by a single gene, since tall plants were dominant over dwarf plants. A goal in a breeding program is to develop cultivars with dwarf plants with high yields, so that they can be grown at high population densities under greenhouse. Multiple flowering seems to be a quantitative character; although it has two flowers by branching out only one of them reached to fruit set. Concave fruit base is dominant over convex base; the first one does not permit to gather water on the raining season, so it avoids fruit rotting when it is grown on the field. Fruit shape pear is dominant over fruit shape apple. However, consumers prefer the last one fruit shape. Red mature fruit color is dominant over orange fruit and it is dominant over yellow fruit. Fruit color is given by three alleles in the locus y and it is suggest the following genetic constitution: y^+y^+ red, y^-y^- orange and y_1y_1 yellow. Although, it could be given by two loci with simple dominant epistasy. Since market requires orange fruit color. It is suggested to begin a selection process from the inbred lines to develop cultivars.

Key words: *Capsicum pubescens*, breeding, fruit color, plant height.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN-----	vii
ABSTRACT-----	viii
1. INTRODUCCIÓN-----	1
1.1. Objetivo-----	2
1.2. Hipótesis-----	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA-----	3
2.1. Origen y distribución-----	3
2.2. Importancia de la especie-----	3
2.3. Taxonomía y citogenética-----	4
2.4. Características de las especies cultivadas de <i>Capsicum</i> -----	6
2.5. Estructura floral-----	6
2.6. Polinización natural-----	7
2.7. Polinización artificial-----	8
2.8. Fecundación-----	11
2.9. Caracteres de herencia simple en <i>Capsicum</i> spp-----	12
2.9.1. Caracteres del tallo-----	12
2.9.1.1. Altura de planta -----	12
2.9.1.2. Vellosoidad del tallo-----	14
2.9.1.3. Color del tallo-----	14
2.9.1.4. Color de los nudos-----	14
2.9.2. Caracteres de la hoja-----	14
2.9.2.1. Vellosoidad de la hoja-----	14
2.9.2.2. Color del follaje-----	15
2.9.3. Caracteres de la flor-----	15
2.9.3.1. Color de la flor-----	16

2.9.3.2. Naturaleza del cáliz-----	17
2.9.3.3. Inflorescencia-----	17
2.9.4. Caracteres del fruto-----	17
2.9.4.1. Dirección del fruto-----	17
2.9.4.2. Ápice del fruto-----	18
2.9.4.3. Base del fruto-----	18
2.9.4.4. Fuerza de desprendimiento del fruto-----	19
2.9.4.5. Pungencia-----	19
2.9.4.6. Lóculos por fruto-----	20
2.9.4.7. Color del fruto inmaduro-----	20
2.9.4.8. Color del fruto maduro-----	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS-----	24
3.1. Localización del sitio experimental-----	24
3.2. Genotipos utilizados-----	24
3.3. Metodología-----	25
3.3.1. Primer ciclo-----	25
3.3.1.1. Técnica usada en los cruzamientos-----	25
3.3.2. Segundo ciclo-----	26
3.3.3. Tercer ciclo-----	26
3.4. Conducción del experimento-----	26
3.4.1. Producción de plántula-----	26
3.4.2. Colocación de la malla sombra-----	27
3.4.3. Trasplante-----	27
3.4.4. Fertilización-----	27
3.4.5. Control de plagas y enfermedades-----	28
3.4.6. Colocación de tutores-----	28
3.5. Variables evaluadas-----	28
3.6. Análisis de resultados-----	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	30
4.1. Altura de planta-----	30

4.2. Número de pedicelos por axila-----	31
4.3. Forma de la base del fruto-----	32
4.4. Forma del fruto-----	33
4.5. Color de fruto maduro-----	34
5. CONCLUSIONES-----	38
6. LITERATURA CITADA-----	39

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Genotipos utilizados en la evaluación de caracteres de herencia simple en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.)-----	25
Cuadro 2. Cantidad de fertilizantes utilizada para preparar 200 litros de solución nutritiva-----	27
Cuadro 3. Prueba de la hipótesis de dominancia de plantas altas sobre enanas de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	31
Cuadro 4. Prueba de la hipótesis de dominancia de un pedicelo por axila sobre dos en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	32
Cuadro 5. Prueba de la hipótesis de dominancia de la base cóncava del fruto sobre la convexa en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	33
Cuadro 6. Prueba de la hipótesis de dominancia del fruto tipo pera sobre el tipo manzana en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	34
Cuadro 7. Prueba de la hipótesis de dominancia del color rojo del fruto sobre el naranja en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	35
Cuadro 8. Prueba de la hipótesis de dominancia del color rojo del fruto sobre el amarillo en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	35
Cuadro 9. Prueba de la hipótesis de dominancia del color naranja del fruto sobre el amarillo en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	36

Cuadro 10. Cruzas realizadas para color de fruto maduro en el estudio de caracteres de herencia simple en chile manzano (<i>Capsicum</i> <i>pubescens</i> R. & P.). Chapingo, México. 1999.-----	36
---	----

1. INTRODUCCIÓN

El chile manzano es una especie de reciente introducción en México, originaria de las partes altas de Sudamérica (Laborde y Pozo, 1984). En nuestro país se encuentra en huertos familiares o en cultivo a escala semicomercial, ubicándose en altitudes de 1700 a 2400 msnm, con un clima templado a frío, en lugares como Zitácuaro, Michoacán; Coatepec Harinas, Estado de México; Cuetzalan, Puebla; Zongolica, Veracruz (Pérez *et al.*, 1996). Esta especie tiene demanda, principalmente en el medio rural de las zonas altas del centro de México, convirtiéndose en un cultivo de alto potencial que requiere ser estudiado.

En la actualidad, los pequeños productores que se dedican al cultivo de esta especie, siembran sólo genotipos criollos resultado de la selección de la cosecha del ciclo anterior. Sin embargo, muchas veces dichos genotipos tienen algunas desventajas como son: frutos de colores diferentes dentro de una misma población, plantas muy altas y con rendimientos relativamente bajos, frutos en forma de pera en lugar de manzana, entre otros. Tomando en cuenta lo anterior, resulta conveniente realizar investigación conducente al mejoramiento genético dirigida a la generación de variedades con las características que demanda el mercado.

Los caracteres de herencia cuantitativa se distinguen por que son determinados por muchos genes, el efecto de cada gene individual es pequeño en comparación con el efecto total, son altamente influenciados por el ambiente y su manifestación fenotípica ofrece una variación continua que generalmente se ajusta a una distribución normal. En cambio los caracteres cualitativos son determinados por uno o dos genes, presentan variación discreta y tienen poca interacción con el ambiente (Reyes, 1985). Cuando se estudia los caracteres de herencia simple es posible conocer a los híbridos de la

generación F_1 para separarlos de las plantas que son producto de autofecundaciones simples.

Se sabe que para el inicio de la mejora de una especie, es conveniente contar con una colecta amplia del material genético existente y su respectiva caracterización, también es necesario conocer la forma en que se hereda los caracteres de herencia simple que sean de interés agronómico. Una vez identificados éstos, existe la posibilidad de iniciar un proceso de mejoramiento genético por selección, y en un futuro cercano por hibridación, para la generación de cultivares que representen un aporte importante para los productores. Con base en esto, el objetivo e hipótesis del presente trabajo fueron los siguientes:

1.1. Objetivo

- Conocer la forma en que se heredan los caracteres siguientes: altura de planta, número de pedicelos, base del fruto, tipo de fruto y color de fruto maduro.

1.2. Hipótesis

- Los caracteres a estudiarse tienen un mecanismo genético de herencia simple con dominancia completa que da lugar a la situación siguiente:

C a r á c t e r	Herencia en	
	F_1^1	F_2^2
Altura del tallo	Alto	3 altos:1 enano
Número de pedicelos	Un pedicelo	3 con un pedicelo:1 con dos pedicelos
Base del fruto	Cóncava	3 cóncavas:1 convexa
Tipo de fruto	Pera	3 pera:1 manzana
Color del fruto	Rojo	3 rojos:1 naranja
	Rojo	3 rojos:1 amarillo
	Naranja	3 naranjas:1 amarillo

¹ F_1 es la generación filial 1.

² F_2 es la generación filial 2.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución

El chile manzano probablemente se originó en Bolivia y en el suroeste del Perú, de una especie silvestre o semicultivada con flores púrpuras. No se han encontrado formas silvestres, es conocido solamente en cultivo y es una especie sin una variación amplia (Pickersgill, 1971). Su nombre técnico proviene de que tiene tallos y hojas completamente cubiertos de vellosidades o pubescencias (Laborde y Pozo, 1984).

Esta especie requiere para su crecimiento de ambientes fríos y se cultiva sólo en altitudes elevadas. Se encuentra limitada desde el norte de Argentina hasta Colombia, aunque algunos tipos se cultivan en Centroamérica, México y como planta de jardín en algunos lugares de San Diego, California (Smith *et al.*, 1987).

El chile manzano se adapta perfectamente a altitudes de 1700 a 2400 msnm, es la única especie de *Capsicum* que tolera bajas temperaturas. En México, se cultiva en regiones montañosas en los estados de Michoacán, Veracruz, Puebla, México, entre otros (Pérez *et al.*, 1996).

2.2. Importancia de la especie

Esta especie fue descrita por primera vez en 1794 por Ruiz y Pavón, pero nunca recibió atención amplia hasta recientemente. *Capsicum pubescens* R. & P. parece virtualmente desconocida para el resto del mundo, sin embargo, un pequeño mercado de importación está aumentando en el suroeste de California. Los dos principales problemas para llevar este tipo de chile a otras regiones incluyen que: 1) requiere ambientes templados y de

estaciones de crecimiento largas para su cultivo y 2) el alto contenido de agua en el fruto ocasiona su rápido deterioro y pudrición (Eshbaugh, 1993).

El chile manzano, también se le conoce como “ciruelo” en la región de Amoles, Queretaro o jalapeño en la sierra de Chiapas (Laborde y Pozo, 1984); en Puebla lo denominan chile “cera” o chile “canario”; en el Perú lo llaman “rocoto” y en Bolivia “locoto”. Las plantas pueden vivir 10 años o más y pueden crecer más de tres metros de altura. Los frutos tienen un intervalo de 30,000 a 60,000 unidades de picantez Scoville (Thompson, 1997).

En las regiones en donde se cultiva, generalmente se encuentra en huertos familiares o a nivel semicomercial en superficies no mayores de cinco hectáreas (Pérez *et al.*, 1996). Estos mismos autores también mencionaron que esta especie tiene frutos muy picantes y aromáticos que se consumen de preferencia en estado fresco y que los frutos pueden ser de color amarillo, naranja o rojo, siendo el naranja el más preferido por los consumidores.

Esta especie tiene gran potencial en el mercado, ya que un kilogramo de producto puede valer hasta \$20.00 pesos en el período crítico de producción, que va de noviembre a mayo (Pérez, 1999)³.

2.3. Taxonomía y citogenética

Heiser y Pickersgill (1969) clasificaron al chile manzano de la manera siguiente:

Familia.....	Solanaceae
Género.....	<i>Capsicum</i>
Especie.....	<i>pubescens</i> R. & P.
N. C.	<i>Capsicum pubescens</i> R. & P.

³ Pérez Grajales, Mario. Comunicación personal. Profesor-Investigador. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.

El número cromosómico para las especies de *Capsicum* es $2n = 20$ (Greenleaf, 1986).

Zijlstra *et al.* (1991) realizaron cruzamientos en especies de chile con color de flor púrpura y blanca. Usaron cuatro accesiones de *C. annuum* y tres de *C. pubescens*, estos siete genotipos los cruzaron directa y recíprocamente con líneas de *C. baccatum*, *C. cardenasii*, *C. chacoense*, *C. chinense*, *C. eximium*, *C. frutescens*, *C. galapagoense* y *C. pratermissum*. *C. chacoense* es la única especie con flor blanca que inhibe el crecimiento del tubo polínico de *C. annuum*, pero permite la penetración del tubo polínico dentro de la célula huevo de *C. pubescens*. *C. cardenasii* y *C. eximium*, mostrando cruzamientos similares con *C. annuum* y *C. pubescens*. El tubo polínico de *C. cardenasii* y *C. eximium* penetró en la célula huevo de *C. annuum*, pero esto no se pudo dar en orden inverso. El tubo polínico de *C. pubescens* penetró en la célula huevo de *C. eximium*, pero esto no fue posible en la cruce recíproca.

Yaqub y Smith (1971) describieron por primera vez la autoincompatibilidad en *C. pubescens*. Al realizar cruces entre diferentes especies de chile, encontraron que todas las razas de *C. cardenasii* mostraron autoincompatibilidad, mientras que todas las razas evaluadas de *C. frutescens* y *C. annuum* fueron autocompatibles. De los datos obtenidos al cruzar *C. cardenasii* con *C. pubescens*, se encontró que la incompatibilidad encontrada fue de tipo gametofítico y en el caso de *C. pubescens* esta fue determinada por tres diferentes niveles de incompatibilidad lateral.

Cuando esta especie se poliniza con *C. annuum* L. rara vez se obtienen frutos y cuando se llegan a producir, estos son partenocárpicos (Smith y Heiser, 1951). Sin embargo, Molova (1968), al usar la forma tetraploide de *C. annuum* como progenitor femenino hizo posible superar la incompatibilidad entre las dos especies.

2.4. Características de las especies cultivadas de *Capsicum*

Las cinco principales especies de *Capsicum* pueden distinguirse generalmente por una combinación de las características de la flor y del fruto. *C. annuum* L., la especie cultivada comunmente en los Estados Unidos, tiene flores blancas, anteras de color azul a púrpura; un cáliz cerrado y típicamente un solo fruto por nudo, con la posible excepción de dos flores en la axila de la primera bifurcación. *Capsicum frutescens* tiene flores verdosas, cáliz no dentado y estrecho que encierra la base del fruto; anteras azules; la mayoría de los nudos con un solo fruto, pero algunos con dos flores por nudo como en 'Tabasco', a no ser que la planta este sometida a estrés, algunas plantas silvestres aparentemente producen más de cinco flores por nudo. *C. chinense* posee flores blancas o blanco-verdosas; anteras azules; cáliz estrecho y dentado y típicamente de uno a tres frutos por nudo. *C. pendulum* es fácilmente identificable por sus flores blancas, corola con manchas de color amarillo en la base, anteras amarillas; los peciolas de las hojas y los pedicelos de los frutos se caracterizan por ser colgantes, largos y curvos. *C. pubescens* muestra grandes y vistosas flores color púrpura; hojas muy pubescentes; frutos de color amarillo-naranja y es la única especie con semillas negras (Greenleaf, 1986).

2.5. Estructura floral

En cualquier programa de mejoramiento genético vegetal, es necesario tener un conocimiento aceptable de los órganos florales de la especie sujeto de estudio. Para el caso de género *Capsicum*, Bravo (1934) mencionó que las flores pueden ser solitarias o compuestas; el cáliz es ciatiforme o campanulado, persistente, con cinco sépalos parcial o totalmente unidos; la corola es de color blanco o violaceo, con tubo muy corto provisto de cinco a seis pétalos imbricados; los estambres son de 5.5 a 6.0 mm de largo, pueden ser cinco o seis, están insertados en el tubo de la corola y los filamentos son muy cortos; las anteras tienen lóculos paralelos y dehiscencia longitudinal; el ovario es súpero, tiene de dos a tres lóculos, rara vez cuatro; las placentas están separadas en toda su longitud; los óvulos son numerosos; el estilo es simple y el estigma lleva de dos a tres

lóbulo apenas marcados. El estigma se encuentra a nivel de las anteras, lo cual facilita la autopolinización.

El chile es considerado como planta autógama, debido a que las anteras y el estigma están juntos y se realiza la autopolinización antes de que abra la flor; sin embargo, existen varios factores que hacen posible el cruzamiento natural en esta especie.

2.6. Polinización natural

La eficiencia en los programas de mejoramiento genético vegetal y en los de producción de semilla certificada de especies autógamas, está determinado en gran parte por el conocimiento que se tenga del grado de cruzamiento natural que ocurre entre las variedades. El desconocimiento de este factor, en muchos casos retrasa o perjudica el funcionamiento del programa en donde se están manejando líneas puras (Ramiro, 1986).

El polen del chile tiene mayor disponibilidad para la fecundación durante las primeras horas de la mañana en el momento en que abren las flores; la temperatura más favorable para la polinización es de alrededor de 20 °C. El estigma puede recibir polen de cuatro a siete días antes de la apertura floral, pero la mayor receptibilidad existe inmediatamente después de ésta. En condiciones naturales, el polen conserva su viabilidad hasta tres días después de la dehiscencia (Guenkov, 1974).

Muñoz y Pinto (1966) reportaron que en las formas cultivadas de chile, el estilo es generalmente de mayor longitud que los filamentos y el estigma sobresale de las anteras, situación que tiende a favorecer la polinización cruzada. Las flores con estilos largos son más fáciles de polinizar, en cambio las flores con estilo corto son más fértiles, debido a que no hay fallas en la caída del polen sobre el estigma; sin embargo, esto depende de la posición colgante o erecta de las flores, así como de la época de dehiscencia de las anteras (Srivastana, citado por Lippert *et al.*, 1966).

La planta de chile es considerada autógama, pero existen reportes sobre altos porcentajes de cruzamiento natural que ponen en duda esta aseveración. Al respecto Odlan y Porter (citados por Ramiro, 1986) trabajaron con diferentes tipos de chile y determinaron porcentajes que variaron de 7.6 a 31.8% de cruzamiento natural, lo cual estuvo en función de la humedad relativa, la temperatura, las fluctuaciones en la población de insectos capaces de polinizar la especie y de algunas características de la flor; de la misma manera también es afectado por la distancia que separa a las variedades en las parcelas de producción y de la dirección de los vientos.

Francenchestti (1974) encontró, bajo condiciones favorables del ambiente, grados de cruzamiento natural que variaban entre 1.0 en 'Nocera yellow' a 60.13% en 'Braidese yellow'.

Tansley (1984) determino el porcentaje de cruzamiento natural en *Capsicum annuum* L. y encontró que en promedio el cruzamiento natural fue de 42%, con un valor de algunas plantas individuales de hasta 91%. Estos altos porcentajes de polinización cruzada indican la necesidad de tener precauciones estrictas en la producción de semilla y en la ejecución de programas de mejoramiento genético.

Lorenzetti y Cirica (1974), en un estudio de cruzamientos entre *C. annuum* variedad grossum y variedad ceraciforme, las cuales tenían frutos rojos y amarillos respectivamente. Encontraron que el grado de cruzamiento natural varió de 5 a 25%.

2.7. Polinización artificial

Tomando en cuenta el alto porcentaje de cruzamiento natural que existe en chile, es necesario establecer técnicas que permitan acelerar la obtención de líneas puras mediante la autofecundación y después cruzar dichas líneas para aprovechar el efecto de la heterosis o vigor híbrido. Esto indica que es necesario tener un conocimiento amplio sobre las técnicas de polinización en los programas de mejoramiento genético de chile (Ramiro, 1986).

Los cruzamientos en Chile pueden realizarse durante todo el día, pero es más recomendable hacerlo por la mañana, cuando el estigma está en la fase de mayor receptividad; los instrumentos necesarios para realizar esta práctica son: una botella con alcohol etílico al 95%, un par de pinzas puntiagudas, una lupa, una piseta, unas tijeras, algodón, bolsas de glase y etiquetas de colgar (Greenleaf, 1986).

Popova (1959) encontró que el polen puede mantenerse viable durante 8 a 10 días a una temperatura de 20-22 °C y a una humedad relativa de 50-55 %, que después de cinco a seis días de almacenado el porcentaje de viabilidad del polen disminuye y que el estilo permanece receptivo durante cinco a siete días.

Betlach y Novak (1972), al estudiar el tiempo más favorable del día para realizar la polinización, determinaron que fue entre las 8:00 y 10:00 por la mañana y de 16:00 a 18:00 hr por la tarde. También mencionaron que la polinización presentó su mejor efecto a una temperatura de 18-24 °C.

Trujillo (1948) describió una técnica de cruzamiento artificial en Chile (*C. annuum* L.), indicando que en el progenitor femenino se seleccionan flores semi-abiertas, en las que aún no ha ocurrido la dehiscencia de las anteras; dichas flores se emasculan utilizando pinzas de disección, las cuales antes de usarse se limpian con un algodón humedecido con alcohol. Previamente son seleccionadas también flores semia-biertas del progenitor masculino, cuyas anteras deben estar en plena dehiscencia. Para hacer la polinización, se sujeta por el pedúnculo la flor que servirá como progenitor masculino y a manera de brocha, se frota las anteras sobre el estigma de la flor emasculada que funge como progenitor femenino; posteriormente la flor polinizada es cubierta con una bolsa de glase o celofán, la cual se sujeta con un hilo sobre el pedúnculo. Por último, se coloca sobre el pedicelo una etiqueta con los nombres de los progenitores empleados en el cruzamiento. Mediante esta técnica, este autor obtuvo una eficiencia del 10% de polinizaciones efectivas. También propuso una variante a la técnica, la cual consistió en cortar una rama con una o varias flores en estado semi-abierto y en plena dehiscencia,

esta rama se amarra a otra donde previamente fue realizada la emasculación, en tal forma que queden en contacto, acto seguido se cubre con una bolsa de glaseline.

Andrade (1949) estudió, bajo condiciones de campo, la polinización artificial en chile (*C. annuum* L.); realizó autopolinización en plantas individuales y flores individuales, probando diferentes materiales para cubrir las flores polinizadas; encontró que cubriendo las plantas individuales con tela nylon cristal se obtenía la producción más alta por planta cosechada; también encontró que el papel copia, las cápsulas de gelatina y las bolsas de glaseline eran los mejores materiales para cubrir flores individuales, ya que el 32% de los botones florales cubiertos con estos materiales produjeron frutos con semillas. En el mismo trabajo, también evaluó cinco métodos de polinización que consistieron en cruzar: 1) botones florales grandes x botones florales grandes, 2) botones florales grandes x flores semi-abiertas, 3) flores semi-abiertas x flores semi-abiertas, 4) flores semi-abiertas x botones florales grandes, 5) flores semi-abiertas x ramitas con dos a cuatro flores y 6) testigo, que consistió en emascular sin proteger el botón floral. De acuerdo a estas combinaciones, el mejor método fue el de cruzar botones florales grandes femeninos con flores semi-abiertas masculinas, ya que mediante este cruzamiento se obtuvo un mayor porcentaje de polinizaciones efectivas y por consiguiente una mayor producción de frutos.

Greenleaf (1986) describió una técnica de cruzamiento de la manera siguiente: el estigma de la flor que se escoge para la cruce, primero se examina cuidadosamente con una lupa, si se encuentra contaminada con polen se desecha. Si la flor ya estuvo expuesta a la presencia de las abejas, el polen puede aparecer eventualmente distribuido alrededor del estigma, la flor también debe de ser desechada. Si el polen se encuentra sobre el estilo pero no sobre el estigma, o si la contaminación ocurre durante la manipulación de la flor, esta puede servir para la cruce si se quitan primero las anteras con la pinza y después se lavan el estigma y el estilo. El estigma se examina cuidadosamente con la lupa, si no presenta signos de que recientemente entró polen en él, cuya evidencia es una hinchazón o protuberancia, entonces puede ser polinizado. El polen es transferido cuidadosamente hacia el estigma desde la antera dehiscente,

sacando el polen a través de la sutura de la antera con la aguja o haciendo descender la antera dehiscente sobre el estigma usando las pinzas. Generalmente se emasculan varias flores y se preparan para la polinización a un mismo tiempo para acelerar el proceso. Las manos y las herramientas deben de ser desinfectadas entre las diferentes cruza y se debe tener cuidado que los dedos no se humedezcan con el alcohol. Las flores polinizadas se envuelven con un papel suave que se sujeta alrededor del delicado pedicelo, preferentemente lo más cercano al pedicelo de la hoja para su protección. Pueden usarse varios colores para las diferentes cruza en la misma planta y el blanco para las autocruzas. Las flores polinizadas deben de protegerse de las abejas con una doble capa de tela cuidadosamente engrapada alrededor de la rama, encerrando hojas y flores. Es conveniente hacer indicaciones en etiquetas de plástico, describiendo el tipo de crusa, los progenitores y el día. Con estacas de bambú se marca el lugar de la planta escogida. Las flores polinizadas deben de revisarse periódicamente y se remueve la cubierta a los cuatro o seis días. Los frutos maduran aproximadamente a los 45 días.

Ramiro (1986) estudió la polinización artificial en Chile y concluyó que en invernadero, el porcentaje de cruzamiento artificial varió entre 23.33 a 55.55%, mientras que la variación en campo fue entre 14.44 a 53.33 %. También mencionó que se obtiene mayor eficiencia cuando las polinizaciones se realizan por la mañana que cuando se hacen en las tardes y que la eficiencia de la polinización artificial puede depender de los materiales utilizados y del sentido de los cruzamientos.

2.8. Fecundación

La germinación del grano de polen ocurre en la forma siguiente: una vez que el polen está sobre el estigma, se rompe la exina y por uno de sus poros se escapa el protoplasma protegido por la intina, formando el tubo polínico. En la extremidad de éste va el núcleo vegetativo y a continuación la célula generatriz, la cual pierde su membrana y divide al núcleo en dos, formándose así los gametos masculinos, con $n = 12$ cromosomas para la especie *C. annuum* L.; aunque éstos en algunos casos se forman antes de la germinación del grano de polen. El tubo polínico crece y desciende por el interior del estilo hasta

alcanzar el ovario; después se dirige a uno de los óvulos al que penetra, generalmente por el micrópilo. Al llegar el tubo polínico al micrópilo, atraviesa la nucela y se pone en contacto con el saco embrionario. El gameto inferior ($n = 12$), se fusiona con la oosfera ($n = 12$), la cual se transforma en cigote o célula huevo con $2n = 24$ cromosomas. El gameto superior ($n = 12$) del tubo polínico se funde con el núcleo secundario ($2n = 24$) dando lugar al llamado núcleo del endospermo ($3n = 36$). Esta doble fusión constituye la fecundación, también llamada fecundación doble. En la primera fusión se forma el cigote o célula huevo y en la segunda se forma el endospermo; sin embargo, este último poco a poco se consume por el desarrollo del embrión y en dicho proceso se forman los cotiledones. Como en el estigma pueden caer varios granos de polen y cada uno de estos emite un tubo polínico que llega hasta el ovario, pueden fecundarse varios óvulos (Ruíz *et al.*, citados por Rodríguez, 1988).

2.9. Caracteres de herencia simple en *Capsicum* spp

Para poder determinar el porcentaje de cruzamiento natural, así como para determinar la eficiencia de las técnicas de polinización en plantas autóгамas, es necesario utilizar caracteres de herencia simple.

Para una mejor comprensión de los caracteres de herencia mendeliana en chile, estos se clasificarán de acuerdo a la parte de la planta en donde se encuentran, de la manera siguiente:

- Caracteres del tallo
- Caracteres de la hoja
- Caracteres de la flor
- Caracteres del fruto

2.9.1. Caracteres del tallo

2.9.1.1. Altura de planta

En variedades japonesas e indúes de Chile se encontró una planta mutante tipo compacto, caracterizada por entrenudos cortos, brotes terminales y laterales de tamaño menor y producción de flores en racimo (Deshpande, citado por Lippert *et al.*, 1966). Este carácter fue estudiado primeramente por Ikeno y es controlado por un gene recesivo simple y designado como *fa* de fasciculado (Trujillo, 1948). La variación de este hábito fasciculado que impide el crecimiento, conocido como determinado, fue reportado también en Hungría en donde se encontraron plantas con brotes laterales y terminales que terminaban en inflorescencias en racimo y algunas plantas completamente desprovistas de brotes laterales, no se determinó el tipo de herencia (Kormos y Kormos, citados por McCammon y Honma, 1984).

Webber, citado por Boswell (1937), cruzó dos variedades de tamaño medio: 'Golden down', la cual tiene pocos brotes laterales, y 'Red chilli', que tiene muchos brotes laterales; en la F_2 obtuvo segregantes gigantes y enanos comparados con los progenitores.

Del análisis de la generación F_2 de la cruce entre pimientos 'Santanka' x 'Thruhart perfection', se encontró que tres pares de genes están involucrados en la altura de planta (Dempsey, 1960).

Dale, citado por Trujillo (1948), reportó un sólo gene recesivo mutante enano en 'Coral gem', el tipo mutante midió 15 cm de altura en la madurez, comparado con los 30 cm de la planta normal.

McCammond y Honma (1984) cruzaron las líneas MSU-79-221 (Michigan State University, año 1979 y accesión 221) (tipo "umbrella"), MSU-78-191 (tipo enano) y MSU-74-230 (con hábito de crecimiento indeterminado). El análisis genético sugirió que el tipo "umbrella" fue controlado principalmente por tres genes recesivos; el gene *ct* y *dt* determinan el hábito de crecimiento y el *fa* determina la forma en que se soportan los frutos. Cuando los alelos dominantes *Dt* y *Ct* estuvieron en condición homocigótica o heterocigótica se produjo un fenotipo indeterminado. El gene *Su*, supresor dominante,

aparentemente actúa suprimiendo la acción espistática de el gene *Ct*. No se encontró ligamiento entre los genes que determinan el hábito de crecimiento indeterminado con los de hábito de crecimiento compacto. La información derivada de este estudio puede permitir al fitomejorador designar un programa eficiente de mejoramiento para el desarrollo de cultivares de chile susceptibles a sistemas de cosecha mecánica.

2.9.1.2. Vellosoidad del tallo

Este carácter se considera de herencia simple. La pubescencia o condición vellosa de tallos, peciolo y hojas presentaron una segregación de 15:1 con plantas que exhibieron diferentes grados de pubescencia. El carácter pubescente o glabro en plantas de chile depende de dos pares de factores (Ikeno, citado por Boswell, 1937).

2.9.1.3. Color del tallo

Deshpande, citado por Trujillo (1948), indicó que el carácter color púrpura o verde del tallo muestra en la F_2 una segregación de tres púrpura a uno verde. O sea segregación de monohíbrido con dominancia para color púrpura.

2.9.1.4. Color de los nudos

Deshpande, citado por Lippert *et al.* (1966), realizó cruces entre dos líneas de chile que poseían nudos color púrpura y encontró 36 plantas con nudos color púrpura y 16 con nudos verdes; es decir, una proporción en la F_2 de 2.25:1. Estos valores son cercanos a la proporción de 3:1, además indicó que el carácter nudo verde lo llevaban los progenitores en condición recesiva y aparentemente mostró dominancia el carácter nudo púrpura, controlado por un par de factores genéticos.

2.9.2. Caracteres de la hoja

2.9.2.1. Vellosoidad de la hoja

Ikeno, citado por Boswell (1937), encontró que el carácter pubescente de la hoja es determinado por dos pares de factores mendelianos, porque en la F_2 obtuvo 15 plantas pubescentes y una glabra, siendo dominante el carácter pubescente.

2.9.2.2. Color de follaje

Las hojas y tallos púrpuras, así como otras partes de las plantas, son debido a la dominancia del gene *A*. Las plantas con nudos púrpuras o tipo normal están condicionadas por el gene *al*⁺, en tanto que el *al* evita el color púrpura en cualquier parte de la planta (Deshpande, citado por Trujillo, 1948).

Se han observado varios tipos de deficiencias de clorofila sobre la coloración. El gene *vg*^m produce un follaje de amarillo uniforme a un verde pálido. El locus contiene dos alelos adicionales: el dominante *vg*⁺ para el follaje verde normal y un recesivo tipo enano *vg*^v denominado virescente jaspeado, en el cual los cotiledones y las primeras hojas verdaderas, así como todo el subsecuente crecimiento, son inicialmente amarillos, tornándose en verde normal en la madurez (Lippert *et al.*, 1966).

Kormos y Kormos, citados por McArdle y Bouwcamp (1983), reportaron cuatro tipos de deficiencia de clorofila, dos de los cuales son tipo xantha con plántulas sin clorofila. *Xa*₁ es monofactorial y *xa*₂ se refiere a un fenotipo aparentemente bajo control bifactorial de genes complementarios *xa*_{2a} y *xa*_{2b}. El gene verdusco *vir* promueve cotiledones verde normal y las hojas verdaderas se tornan amarillo-verdosas. La condición recesiva homocigótica es letal para estos tres tipos mutantes. El cuarto mutante recesivo es el tipo clorina, designado por *chl* con coloración de follaje verde-amarillento.

2.9.3. Caracteres de la flor

2.9.3.1. Color de la flor

La condición común o normal es de pétalos blancos en *C. annuum* L.), anteras o nudos azules o púrpuras y filamentos y estilos con tonalidades bajas (Lippert *et al.*, 1966). Tal expresión genotípica es controlada por el gene al^+ , en tanto que el recesivo al evita la antocianina en cualquier parte de la planta. .

El gene A con dominancia parcial produce el color púrpura en el follaje, pétalos, filamentos y estilos en el genotipo al^+ . El gene As^+ produce filamentos y estilos púrpuras en los tipos al^+ en ausencia de A , pero no intensifica el color púrpura de A . El gene Mo_A intensifica la coloración púrpura en los tipos AA , este gene no tiene efecto estando sólo (Odlan, 1960).

La segregación para color de flor presentó una relación de tres púrpura a una blanca (Ikeno, citado por Trujillo, 1948) y de 15 púrpuras a una blanca (Hagiwara y Oomura citados por Boswell, 1937), también postularon que el control genético del color de la flor está dado por tres factores C , R_1 y R_2 , siendo C y R genes complementarios y los genes R son afectados ante la presencia de C . El estilo púrpura As fue independientemente heredado para blanco, siendo dominante el blanco As^+ , pero el estilo púrpura se produjo en la RC_1 y RC_2 y los genotipos se clasificaron como As o As^+ , respectivamente.

Rashid y Munir (1962) encontraron que el color de flor en la F_2 dio en una relación de 9 púrpuras y 7 blancas, lo que indicó acción de dos genes complementarios, los cuales aparentemente también controlan el color de los filamentos y estilos. Se obtuvo una relación trigénica en la F_2 de 57 púrpuras y 7 blancos para color de estilo y filamento, lo cual sugiere la interacción de dos genes complementarios con un tercer gene aparentemente independiente y completamente dominante para color de filamento y estilo. También indicaron diferencias genéticas entre las anteras púrpura y azul y postularon el siguiente genotipo ideográfico para el color de las anteras $AABB$ o $Aabb$ =púrpura, $aaBB$ =azul y $aabb$ =amarillo.

2.9.3.2. Naturaleza del cáliz

Miller y Fineman (1937) realizaron cruzas directas y recíprocas entre cuatro variedades de chile 'Tabasco', 'Sport', 'Cayenne' y 'Bell', encontrando que el comportamiento genético del cáliz de la flor depende de factores mendelianos y que cáliz separado o libre es dominante sobre cáliz adherido a la corola.

2.9.3.3. Inflorescencia

Según Boswell (1937) el carácter de la inflorescencia en el chile muestra dominancia para inflorescencia solitaria y recesividad para inflorescencia en umbela. El mismo autor reportó una relación fenotípica 3:1 en la F_2 , lo que indica que el carácter mencionado depende de un par de genes alelomórficos.

Subramanya (1983) realizó cruzas interespecíficas entre *C. annuum* L. 'Delray Bell', el cual tiene una flor por nudo, con *C. chinense* Jacq PI-159236 que tiene múltiples flores por nudo. La generación F_1 fue intermedia con dos flores por nudo. Las poblaciones segregantes F_2 , F_3 y retrocruzas, indicaron que pocos genes mayores controlan el carácter de flor doble, dado que genes adicionales fueron necesarios para que se expresara el carácter de flor múltiple. El carácter flor múltiple puede resultar en una mayor concentración de frutos, uniformidad en la maduración y reducción en los costos de cosecha; también tiene el potencial para incrementar los rendimientos.

Smith y Heiser (1951) mencionaron que bajo condiciones de crecimiento adversas se puede producir sólo un pedicelo por nudo, pero que bajo condiciones normales de crecimiento casi siempre se presentan pedicelos múltiples.

2.9.4. Caracteres del fruto

2.9.4.1. Dirección del fruto

Kaiser, citado por Trujillo (1948), cruzó plantas de fruto colgante con plantas de fruto erecto, encontrando que en la F_1 todos los frutos fueron colgantes y la segregación en la F_2 indicó que este carácter es monogénico y según la F_1 , donde colgante es dominante sobre el erecto. Este autor también estimó que la posición del fruto es una expresión combinada de la gravedad y el crecimiento controlado genéticamente.

Sing y Ray, citado por Lippert *et al.* (1966), cruzando las variedades 'IP-34' y 'Yellow wax', encontraron que un par de factores determina la posición del fruto, ya que la F_2 segregó según un monohíbrido, siendo dominante el fruto colgante.

2.9.4.2. Ápice del fruto

El gene *Pt* para fruto puntiagudo es recesivo en relación al fruto con punta hundida, debido a que Deshpande, citado por Lippert *et al.* (1966), encontró en la segregación de la F_2 una relación de 3:1 entre ápice obtuso y ápice agudo, es decir segregación de monohíbrido.

Shifriss (1987) evaluó la segregación de caracteres en chile (*C. annuum* L.). Para el caso del ápice del fruto los clasificó en dos grupos principales; uno en el que estaban las plantas con frutos puntiagudos y en el otro aquellas de frutos con ápice hundido. Los datos encontrados se ajustaron a un modelo de gene simple, donde el gene *al*, que manifiesta la forma puntiaguda del fruto, es recesivo en relación al fruto con punta hundida.

2.9.4.3. Base del fruto

Miller y Fineman (1937) concluyeron que el carácter cóncavo de la base del fruto del chile es recesivo sobre la base convexa, debido a que la F_1 presentó sólo frutos convexos y la F_2 mostró una segregación de 3:1, propia de un monohíbrido.

2.9.4.4. Fuerza de desprendimiento del fruto

Smith y Heiser (1951) reportaron que el carácter fruto deciduo es controlado por un solo gene. El gene se expresa en las últimas fases de la madurez del fruto, condicionando la fácil separación de los frutos del pedicelo. Este carácter se designó con *S* de suave desprendimiento, debido a que el desprendimiento fue principalmente un resultado de la ruptura de la pared del fruto y del tejido de la placenta.

Werner y Honma (1980), al cruzar la línea MSU-160 con alta resistencia al desprendimiento del fruto (RDF) y MSU-294 con baja RDF. Midieron la RDF y encontraron que fue controlada por un número bajo de factores $k = 1-2$, manifestando principalmente efectos aditivos.

Uzo (1984) cruzando dos líneas de chile, encontró que en la generación F_1 todas las plantas presentaron frutos con fácil desprendimiento del pedúnculo. La segregación en F_2 y retrocruzas indicaron que sólo un gene controla este carácter. El gene es simbolizado con *k*.

2.9.4.5. Pungencia

El sabor picante o pungente del chile es característico de la especie *Capsicum* y es dado por el alcaloide capsaicina que se encuentra en la placenta del fruto. Las condiciones del suelo y el clima, particularmente la temperatura, son los responsables de que los niveles de pungencia varíen en el chile (Miller y Fineman, 1937).

Otha (1960) consideró que las temperaturas altas favorecen el alto contenido de capsaicina. Cuando realizó una clasificación sólo en base al criterio pungente o no pungente, no tomando en cuenta los diferentes grados de pungencia, los segregantes indicaron que este carácter es dominante y es el resultado de la presencia del gene *C*.

Los fitomejoradores sólo han usado una fuente genética en el desarrollo de variedades picantes de chile, esta es dada por el gene *C* en condición dominante; sin embargo,

Loaiza-Figueroa y Tansley (1988) reportaron el descubrimiento de un segundo gene independiente, el C_2 que controla la ausencia de pungencia. La fuente de este gene fue la accesión BG3547 de *C. annuum* 'Glabriusculum'. Toda la progenie F_1 fue pungente, la cual fue derivada de la cruce entre BG3547(C_2/C_2) y 'Deuxdes Landes' *C. annuum* var *annuum* (c_2/c_2), en tanto que la progenie F_2 segregó con 9 pungentes:7 no pungentes, lo que es atribuido a la presencia de epistasis.

2.9.4.6. Lóculos por fruto

En relación a este carácter hay muy pocos estudios. Desphande, citado por Rodríguez (1988), mencionó que los lóculos son variables en frutos dentro de la misma planta.

Barnes (1942), al cruzar 'Mcminnis' multiloculado con 'Carolina No. 7' biloculado, obtuvo en la F_1 solamente frutos biloculados.

McArdle y Bouwcamp (1983) utilizaron el promedio de número de lóculos (de cinco frutos por planta) mencionaron que parece ser que este es un carácter de herencia cuantitativa. En la F_2 encontraron una distribución normal y no hubo indicios de la acción de un gene mayor. La mayoría de las plantas F_1 y F_2 se ajustaron al intervalo de los progenitores con menor número de lóculos, indicando algunos grados de dominancia de los de menor número de lóculos sobre los de mayor número.

2.9.4.7. Color del fruto inmaduro

El color del fruto inmaduro varía de púrpura oscuro a casi negro, pasando de tonos verde y amarillo a marfil o blanco sulfuroso. El gene A controla el color de fruto púrpura y es dominante el verde A^+ . Se han reportado nuevas clases fenotípicas en la segregación de la F_2 con tonalidades desde púrpura, pasando por verde, hasta el color marfil (Lippert *et al.*, 1966).

Webber, citado por Greenleaf (1986) determinó que el color de fruto inmaduro verde y amarillo segrega en la F_2 en una relación de 3:1; sin embargo, dentro de los tipos verde parece ser que una serie de factores dominantes son los responsables de la intensidad de la clorofila en el fruto inmaduro, siendo de efectos aditivos. Bajo la sugerencia del mecanismo aditivo, la presencia de cualquier par de factores designados por sw_1^+ , sw_2^+ , ..., sw_n^+ , produce un color verde lechuga o verde amarillento, dos pares de factores producen el verde cedro y el color verde oscuro parece deberse a cuatro pares de genes.

2.9.4.8. Color del fruto maduro

De los muchos colores de fruto disponibles en *Capsicum*, primeramente se reportó que el amarillo y es recesivo al rojo y^+ (Webber, citado por Boswell, 1937).

Smith (1950) reportó que el color café del fruto maduro es el resultado de la combinación de la pigmentación normal del rojo y de la descomposición de la clorofila gobernado por dos genes independientes, el cl para la retención de la clorofila y el y^+ para el color rojo. Cuando cruzó plantas con frutos de color café con plantas de frutos de color amarillo, la generación F_1 presentó solo frutos rojos y en la F_2 la segregación fue de 9 rojos:3 cafés:3 amarillos:1 verde.

Kormos, citado por Lippert *et al.* (1966), determinó, mediante análisis cromatográfico, niveles de ocho pigmentos en los frutos rojos de la progenie F_1 resultado de una cruce de plantas con frutos rojos por plantas con frutos amarillos. Los segregantes rojos y amarillos en la F_2 sugieren que el total de pigmentos puede ser controlado por el mismo factor.

Kormos y Kormos (1960), cuando realizaron cruces entre plantas con diferentes colores de chiles, encontraron las siguientes bases genéticas para la producción de carotenoides: la formación del pigmento rojo es determinado por el gene r^+ y el amarillo por r . Ambos alelos pueden expresarse totalmente ante la presencia del gene precursor el c^+ , ante la

ausencia de este gene y de clorofila se forman solamente trazas de pigmentos. Propusieron la constitución genética siguiente:

r^+c^+	rojo
r^+c	rosa salmón
rc^+	amarillo naranja
rc	amarillo limón

En otro estudio, Kormos (1962) observó tonalidades desde rojo a marfil atribuido a la acción de tres pares de genes y^+ , c_1 , c_2 . El factor c_1 y c_2 reducen el color de y^+ por la inhibición de β -caroteno, ante la presencia de c_1 causa una reducción de aproximadamente 1/10 de pigmentación roja, si c_2 está presente el pigmento está sólo en trazas. Para el desarrollo del color bajo estos tres pares de genes, postuló un sistema de la manera siguiente:

$y^+c_1^+$	rojo.
y^+c_1	rojo salmón.
y^+c_2	rosa.
yc_1^+	naranja.
yc_1	amarillo limón.
yc_2	marfil o blanco.

Brauer (1962) realizó cruza en seis variedades de chile y explicó que el color del fruto se encuentra bajo el control de tres genes: B , g y t , el primero y el último controlan el contenido de β -caroteno, mientras que el segundo determina otros pigmentos. Además, el genotipo $BBggtt$ resultó en frutos negros, $BBggTT$ y $BBggTt$ frutos café, $BbGgTt$ frutos café rojizo y $BBGGTT$ y $bbGGTT$ frutos rojos

Gaffar y Smith (1969) reportaron que la herencia del color amarillo o amarillo naranja de *C. pubescens* es diferente al color amarillo limón de *C. annuum* L., pero puede ser similar en el color naranja. Estudiaron una línea con fructificación autocompatible de *C. pubescens* (SA265) y la cruzaron con una línea autoincompatible de frutos rojos (SA359), en invernadero. Todas las plantas de la F_1 presentaron fructificación roja y

fueron autoincompatibles. La F_2 y las generaciones de retrocruza fueron obtenidas por la autopolinización de las plantas F_1 y cruzándolas con las plantas de la línea de SA256, respectivamente. Las plantas en las dos generaciones de segregación fueron identificadas por el color de la fructificación. Los valores de la Chi cuadrada indicaron que el color amarillo y rojo del fruto maduro de *C. pubescens* fueron controlados por un sólo gen, resultando recesivo el amarillo (y) como en otras especies de *Capsicum*. Estos autores concluyeron que el color rojo y amarillo del fruto maduro en *Capsicum pubescens* R. y P. es controlado por un sólo gen amarillo (y) que es recesivo en relación al rojo (y^+).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Chapingo que se ubica a los 19° 29' de latitud norte y 98° 53' de longitud oeste.

3.2. Genotipos utilizados

Se usó los materiales descritos en el Cuadro 1, mismos que son producto de colectas realizadas en diferentes estados del país y otras en el Perú. Sus semillas se encuentran resguardadas en el Banco de Germoplasma "Ph. D. Salvador Miranda Colín" de la Universidad Autónoma Chapingo.

Cuadro 1. Genotipos utilizados en la evaluación de caracteres de herencia simple en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.).

Número	Genotipo	Origen
1	2PUE2	Acocogtla, Puebla
2	3PUE3	Acocogtla, Puebla
3	4PUE4	Teziutlán, Puebla
4	5VER1	Tlaquilpa, Veracruz
5	7VER3	Astacinga, Veracruz
6	8VER4	Astacinga, Veracruz
7	9VER5	Zongolica, Veracruz
8	11MEX2	Texcoco, México
9	13OAX1	Coixtlahuaca, Oaxaca
10	14OAX2	Coixtlahuaca, Oaxaca
11	15LIM1	Lima, Perú
12	16LIM2	Lima, Perú
13	17LIM3	Lima, Perú
14	18LIM4	Lima, Perú

3.3. Metodología

El desarrollo del experimento se llevó a cabo en tres ciclos de cultivo.

3.3.1. Primer ciclo

Se utilizó 10 plantas de cada genotipo colocadas en hilera en el invernadero, en ellas se identificó las que presentaban características contrastantes y se utilizaron para realizar los cruzamientos. Esta etapa se realizó de febrero de 1997 a noviembre de 1997.

3.3.1.1. Técnica usada en los cruzamientos

Un día anterior al cruzamiento, se eligió los botones florales que aún no abrían. Éstos fueron emasculados con pinzas de disección, las cuales se desinfectaron al pasar de una línea a otra. Después se cubrió los botones emasculados con una bolsita de glazine cortada.

Al día siguiente se seleccionó flores con anteras en estado dehiscente. Se cortó la flor y se llevó con cuidado al lugar donde estaba el botón floral previamente emasculado del que se quitó la bolsita de glazine (en algunos casos fue necesario eliminar algunos pétalos para facilitar la polinización). De la flor masculina se eligió una antera con bastante polen y con ayuda de la pinza de disección se frotó suavemente sobre el estigma de la flor hembra; después se colocó la bolsita de glazine nuevamente para evitar contaminación de polen extraño. Finalmente se colgó una etiqueta en el pedicelo de la flor y en la rama de la planta. En la etiqueta se anotó los progenitores y el día de la polinización.

A los 90 días, aproximadamente, el fruto producto de la cruce ya estaba maduro. Se realizó la cosecha y se extrajo la semilla, ésta se secó durante una semana y se sembró nuevamente para observar la F_1 .

3.3.2. Segundo ciclo

En el segundo ciclo, realizado de noviembre de 1997 a agosto de 1998, se usó 14 plantas para cada carácter evaluado, estas plantas F_1 se autopolinizaron y cuando los frutos estaban en estado de madurez se cosecharon y se extrajo la semilla F_2 y ésta fue sembrada en un tercer ciclo.

3.3.3. Tercer ciclo

En el tercer ciclo, realizado de agosto de 1998 a mayo de 1999, se sembró la semilla F_2 . Por cada carácter evaluado, se tuvo 50 plantas en las cuales se estudió la segregación.

3.4. Conducción del experimento

La conducción del experimento que se describe en este apartado es el mismo que se realizó para los tres ciclos de cultivo

3.4.1. Producción de plántula

La siembra se realizó el 15 de febrero de 1997 en charolas de poliestireno de 200 cavidades que se llenó con "Growing mix" como sustrato, sembrando una semilla por cavidad. Las charolas se apilaron y se cubrieron con un plástico negro con el objeto de acelerar la germinación de las semillas. A los 12 días después de la siembra, se destapó las charolas, observándose que la mayoría de las plántulas ya habían emergido, después de lo cual se dió riegos ligeros diariamente.

Cuando las plantas tenían dos hojas verdaderas, fueron trasplantadas a vasos de poliestireno de 200 ml de capacidad para que tuvieran un buen crecimiento y desarrollo de las raíces. El sustrato usado fue una mezcla de 3/4 partes de "Growing mix" y 1/4 parte de Agrolita. Se aplicó de Bayfolan a una dosis de 2 ml-litro^{-1} de agua.

3.4.2. Colocación de la malla sombra

Se proporcionó sombra a las plantas con una malla del 30%, ya que este nivel es el más adecuado para el desarrollo del cultivo (Rojas, 1997).

3.4.3. Trasplante

Cuando la planta llenó con sus raíces el interior del vaso y contaba con 10 hojas, se realizó el trasplante a bolsas de polietileno negro de 40 x 30 cm. El sustrato usado fue tezontle rojo colocado en la parte media inferior de la bolsa para tener un buen drenaje y en la parte media superior una mezcla de 1:1 de tezontle y tierra común, previamente desinfectada con Bromuro de metilo.

3.4.4. Fertilización

La fertilización se hizo aplicando solución nutritiva en riego por goteo. Los fertilizantes usados se indican en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidad de fertilizantes utilizada para preparar 200 litros de solución nutritiva.

Fertilizante	Cantidad (g)
Acido fosfórico al 70%	6.0 ml
Sulfato de potasio	200.00
Sulfato de magnesio	133.00
Nitrato de potasio	100.00
Nitrato de calcio	266.00
Sulfato ferroso	10.00
Sulfato de manganeso	1.00
Sulfato de zinc	0.04
Sulfato de cobre	0.04
Borax	2.00
Acido sulfúrico	8.0 ml

La solución nutritiva se mantuvo a un pH de 5.0-5.5, mediante la aplicación de ácido sulfúrico.

Después del trasplante, se aplicó la solución nutritiva al 25% de la concentración referida en el Cuadro 2, esto durante un mes; al siguiente se aumentó al 50%; el próximo al 75% y el resto del ciclo del cultivo al 100%. Durante los dos primeros meses se aplicó medio litro de solución nutritiva y un litro de agua diariamente; en los meses siguientes se hizo aplicaciones de un litro de solución nutritiva y de uno a dos litros de agua, dependiendo de la temperatura ambiente dentro del invernadero.

3.4.5. Control de plagas y enfermedades

Se tuvo incidencia de mosquita blanca y araña roja. Para el control de estas plagas se aplicó Agrimec, Protek y Folimat a razón de 1 ml·litro⁻¹ de agua.

Para prevenir enfermedades de la raíz se aplicó un gramo de Intergusan en la base del tallo de la planta.

3.4.6. Colocación de tutores

Cuando las plantas ya no podían mantenerse erguidas debido a la ramificación, se colocó estacas de 2 m de altura a las orillas de las hileras de las plantas, y a través de ellas se colocó hilo rafia atado a las estacas.

3.5. Variables evaluadas

- Altura de planta. Se observó si la planta era de porte alto o bajo.
- Número de pedicelos. Se cuantificó el número de pedicelos por axila.
- Forma de la base del fruto. Se determinó si los frutos tenían base cóncava o convexa.
- Forma del fruto. Se clasificó visualmente si el fruto era tipo manzano o tipo pera.

- Color de fruto. Se determinó visualmente si el fruto era de color rojo, naranja o amarillo.

3.6. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados, en las 50 plantas de cada carácter evaluado en la F_2 , se realizó la prueba de χ^2 con la finalidad de determinar si las frecuencias fenotípicas observadas coincidían con las esperadas de acuerdo a la hipótesis de herencia monogénica y dominancia completa (Hipótesis nula), que corresponde a una relación fenotípica $\frac{3}{4}$ dominante y $\frac{1}{4}$ recesivo ($H_0 = 3:1$).

El estadístico usado fue el siguiente (Johnson, 1992) : $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$

En donde: O_i = Valor observado en el fenotipo i .

E_i = Valor esperado en el fenotipo i .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se presentarán siguiendo el orden planteado en la hipótesis.

4.1. Altura de planta

Los resultados obtenidos para esta variable se muestran en el Cuadro 3, donde se observa que para el caso de las plantas F_1 todas presentaron un porte alto y en la población F_2 , la relación fue de 3:1 de alto y enano, respectivamente. Esto indica que el carácter altura de planta es determinado por un solo locus con dos alelos, donde alto es dominante sobre enano. Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada para el caso de altura de planta. Lo anterior coincide en parte con los resultados obtenidos por Ikeno, citado por Trujillo (1948) y McCammond y Honma (1984).

En los programas de mejoramiento genético de Chile, generalmente se busca plantas tipo compacto, con entrenudos cortos y con altos rendimientos. Este arquetipo de planta sería el adecuado para producción intensiva de Chile manzano en invernadero, ya que proporcionaría la ventaja de concentrar la producción en ventanas específicas de mercado en donde se alcanza altos precios. En contraste, las plantas altas se tienen que manejar a más baja densidad de población y necesariamente se tiene que instalar un sistema de tutoreo que incrementa el costo de producción del cultivo.

Cuadro 3. Prueba de la hipótesis de dominancia de plantas altas sobre enanas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Fenotipo	F ₁	F ₂		χ^2 calculado	χ^2 tabulado
		observado	esperado (Ho=3:1)		
Alto	Todas	42	37.5	2.160 ns	3.84
Enano		8	12.5		

F₁ = Generación filial 1. F₂ = Generación filial 2. χ^2 = Ji-cuadrada. Ho = Hipótesis nula, tres dominantes un recesivo. ns = no significativo ($\alpha = 0.05$).

4.2. Número de pedicelos por axila

Para esta variable, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 4. Los datos sugieren que un pedicelo por axila parece ser el carácter dominante, debido a que en la generación F₁ todas las plantas se distinguieron por presentar esta característica. En la F₂ se esperaba la relación de 3 plantas con un pedicelo y 1 planta con dos pedicelos, pero el valor χ^2 calculado, fue mayor que el tabulado ($\alpha = 0.05$), por lo cual se rechaza la hipótesis que establece que respecto al número de pedicelos, uno es dominante sobre dos. Esto contradice lo reportado por Boswell (1937), quien mencionó que el carácter inflorescencia es determinado por un par de genes alelomórficos. En cambio, parece coincidir con lo mencionado por Subramaya (1983), quien indicó que pocos genes controlan el carácter de flor doble. Cabe mencionar también, que el tamaño de muestra en la F₂ fue relativamente pequeño, lo que no permite ser concluyente en relación con la herencia del carácter.

Por otra parte puede ser que la elevada temperatura, a veces por arriba de 30 °C registrada durante el día dentro del invernadero pudo haber afectado a la planta para que no manifestara el carácter de flor doble, debido a que esta especie requiere para su crecimiento y desarrollo de ambientes templados, tal como lo menciona Eshbaugh (1993).

Lo ideal sería que en cada axila se tuviera dos frutos, lo cual incrementaría el rendimiento por planta. Pero aunque estén presentes dos flores por axila, la mayoría de las veces sólo una de ellas llega a estado de amarre de fruto y la otra tiende a ser abortada. Esto puede ser explicado porque la planta no tiene la capacidad de abastecer de fotosintatos necesarios a todos los lugares de demanda y como la competición es dentro de la misma planta, solamente las flores que estén más cercanas a un lugar en donde exista gran cantidad de hojas fuente son las que van a poder amarrar el fruto. Por lo que de manera práctica se pierde la posible importancia que significaría el contar con bifurcaciones con dos pedicelos.

Cuadro 4. Prueba de la hipótesis de dominancia de un pedicelo por axila sobre dos en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Fenotipo con	F ₁	F ₂		χ^2 calculado	χ^2 tabulado
		observado	esperado (Ho=3:1)		
Un pedicelo	Todas	42	36	4.00 *	3.84
Dos pedicelos		6	12		

F₁ = Generación filial 1. F₂ = Generación filial 2. χ^2 = Ji-cuadrada. Ho = Hipótesis nula, tres dominantes un recesivo. * = significancia al 0.05.

4.3. Forma de la base del fruto

En relación a esta variable, en el Cuadro 5 se concentra los resultados obtenidos en relación al carácter forma de la base del fruto. En donde se aprecia que todas las plantas F₁ tuvieron frutos con base cóncava y de los datos obtenidos en la generación F₂, al someterlos a la prueba de χ^2 , ésta no detectó significancia, por lo que se puede decir que en chile manzano la forma de la base del fruto es determinada por un solo gene y que las plantas que producen fruto con base cóncava son dominantes sobre las que producen frutos con base convexa. Estos resultados concuerdan con la hipótesis planteada al respecto, en la que se estableció que los frutos de base cóncava eran dominantes sobre los de base convexa, pero contradicen lo reportado por Miller y Fineman (1937), quienes

concluyeron que en *C. annuum* el carácter cóncavo de la base del fruto es recesivo en relación al de base convexa que es dominante.

El haber encontrado que el fruto de base cóncava es el dominante es algo importante porque a partir de aquí se puede seleccionar genotipos homocigóticos que presenten esta característica, que a nivel agronómico implicaría evitar la acumulación del agua en la base del fruto, sobre todo en las temporadas lluviosas, y por lo tanto se podría evitar la pudrición del mismo.

Cuadro 5. Prueba de hipótesis de dominancia de la base cóncava del fruto sobre la convexa en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Base del fruto	F ₁	F ₂		χ^2 calculado	χ^2 tabulado
		observado	esperado (Ho=3:1)		
Cóncava	Todas	40	39.75	0.039 ns	3.84
Convexa		13	13.75		

F₁ = Generación filial 1. F₂ = Generación filial 2. χ^2 = Ji-cuadrada. Ho = Hipótesis nula, tres dominantes un recesivo. ns = no significativo ($\alpha = 0.05$).

4.4. Forma del fruto

La forma del fruto la determina su número de lóculos. Así, cuatro o tres lóculos forman un fruto tipo manzana y dos o menos lóculos dan una apariencia de fruto tipo pera.

Por lo que concierne a este carácter, se esperaba que el fruto tipo pera fuera el dominante y el tipo manzana recesivo de acuerdo con la hipótesis planteada. Los resultados obtenidos indican que esto es cierto, debido a que en la generación F₁ todas las plantas tuvieron frutos tipo pera y que los datos obtenidos en la generación F₂ parecen ajustarse a un tipo de herencia monogénica tal se observa en el Cuadro 6. Lo anterior coincide en parte con lo obtenido por Barnes (1942) y McArdle y Bouwkamp

(1983), quienes mencionaron que los frutos tipo pera, es decir, los de dos lóculos o menos tienden a ser dominantes.

Actualmente el mercado demanda frutos de chile manzano con apariencia tipo manzano, por lo que se sugiere que en trabajos posteriores, a partir de las plantas homocigóticas recesivas que presentaron esta apariencia, iniciar un proceso de mejoramiento en donde se determine el grado de heredabilidad de este carácter, ya que puede ser influenciado por el ambiente, y a partir de esto, comenzar un proceso de selección para obtener líneas con frutos tipo pera, situación relativamente fácil si se considera que el carácter es recesivo.

Cuadro 6. Prueba de la hipótesis de dominancia del fruto tipo pera sobre el tipo manzana en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Fenotipo con fruto	F ₁	F ₂	χ^2 calculado	χ^2 tabulado
		Observado esperado (Ho=3:1)		
Tipo pera	Todas	23 21.75	0.288 ns	3.84
Tipo manzana		6 7.25		

F₁ = Generación filial 1. F₂ = Generación filial 2. χ^2 = Ji-cuadrada. Ho = Hipótesis nula, tres dominantes un recesivo. ns = no significativo ($\alpha = 0.05$).

4.5. Color del fruto maduro

Los resultados obtenidos para el color de fruto maduro se muestran en los Cuadros 7, 8 y 9. En la cruce de plantas de frutos rojos por plantas de frutos naranja, se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro 7, donde se observa que en la generación F₁ todas las plantas dieron sólo frutos color rojo y en la F₂ la segregación presentada fue de 3:1, lo cual sugiere que el color de fruto rojo es dominante sobre el naranja. Por otra parte, en el Cuadro 8 se presenta los resultados obtenidos al cruzar plantas de fructificación roja con plantas de fructificación naranja, observándose que todas las plantas de la generación F₁ dieron frutos color rojo y en la F₂ la relación fue de 3:1, lo cual sugiere que este fenómeno es controlado por un solo gene. Por último, en el Cuadro

9 se presenta los resultados de la cruce de plantas con frutos color naranja con plantas con frutos color amarillo, pudiéndose observar que en la F_1 todas las plantas tuvieron sólo frutos color naranja y en la F_2 la segregación se ajustó a una relación de 3:1. Esto sugiere que el color de fruto es determinado por un solo factor. Con base en los tres cruzamientos analizados, se acepta la hipótesis planteada para color de fruto en el sentido de que coincide en parte con lo que reportaron Kormos y Kormos (1960), Kormos (1962) y Gaffar y Smith (1969), quienes en trabajos sobre herencia de color de fruto maduro encontraron resultados similares.

Cuadro 7. Prueba de la hipótesis de dominancia del color rojo del fruto maduro sobre el naranja en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Fenotipo con fruto	F_1	F_2		χ^2 calculado	χ^2 tabulado
		observado	esperado ($H_0=3:1$)		
Rojo	Todas	28	25.5	0.980 ns	3.84
Naranja		6	8.5		

F_1 = Generación filial 1. F_2 = Generación filial 2. χ^2 = Ji-cuadrada. H_0 = Hipótesis nula, tres dominantes un recesivo. ns = no significativo ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 8. Prueba de la hipótesis de dominancia del color rojo del fruto maduro sobre el amarillo en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Fenotipo con fruto	F_1	F_2		χ^2 calculado	χ^2 tabulado
		observado	esperado ($H_0=3:1$)		
Rojo	Todas	40	39	0.103 ns	3.84
Amarillo		12	13		

F_1 = Generación filial 1. F_2 = Generación filial 2. χ^2 = Ji-cuadrada. H_0 = Hipótesis nula, tres dominantes un recesivo. ns = no significativo ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 9. Prueba de la hipótesis de dominancia del color naranja del fruto maduro sobre el amarillo en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Fenotipo con fruto	F ₁	F ₂	χ^2 calculado	χ^2 tabulado
		observado esperado (Ho=3:1)		
Naranja	Todas	27 25.5	0.353 ns	3.84
Amarillo		7 8.5		

F₁ = Generación filial 1. F₂ = Generación filial 2. χ^2 = Ji-cuadrada. Ho = Hipótesis nula, tres dominantes un recesivo. ns = no significativo ($\alpha = 0.05$).

Con base en los resultados, en el Cuadro 10 se hace el planteamiento de las cruzas realizadas y los posibles genotipos de los progenitores, considerando que el carácter color de fruto maduro está determinado por un locus con tres alelos.

Cuadro 10. Cruzas realizadas para color de fruto maduro en el estudio de caracteres de herencia simple en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. & P.). Chapingo, México. 1999.

Cruza rojo x naranja	Cruza rojo x amarillo	Cruza naranja x amarillo
$y^+y^+ \times yy^-$ Progenitores	$y^+y^+ \times y_1^-y_1^-$ Progenitores	$y^-y^- \times y_1^-y_1^-$ Progenitores
y^+y^- F ₁ $\otimes$ Rojo	$y^+y_1^-$ F ₁ $\otimes$ Rojo	$y^-y_1^-$ F ₁ $\otimes$ Naranja
$1/4 y^+y^+$ Rojo $1/2 y^+y^-$ Rojo $1/4 yy^-$ Naranja	$1/4 y^+y^+$ Rojo $1/2 y^+y_1^-$ Rojo $1/4 y_1^-y_1^-$ Amarillo	$1/4 y^-y^-$ Naranja $1/2 y^-y_1^-$ Naranja $1/4 y_1^-y_1^-$ Amarillo
} F ₂	} F ₂	} F ₂

A partir de lo anterior se puede decir que el color rojo es dominante sobre el naranja y éste a su vez lo es sobre el amarillo. Este fenómeno en chile manzano puede explicarse considerando un locus y con tres alelos: y^+ , y^- y y_1^- , respectivamente, que dan origen a las tres líneas correspondientes siguientes: y^+y^+ rojo, y^-y^- naranja y $y_1^-y_1^-$ amarillo.

Aunque no se descarta la posibilidad de que el carácter color de fruto maduro esté determinado por dos loci independientes con epistasis dominante simple tal como lo

reportó Smith (1950) y Kormos (1962), por lo que se sugiere que en trabajos posteriores se realice esta investigación considerando el planteamiento siguiente:

Cruza Rojo x amarillo

$y^+y^+c^+c^+ \times yy^-c^-c^-$ Progenitores

↓

y^+c^+/y^-c^- $F_1 \otimes$ Rojo

En la F_2 se espera una relación de la manera siguiente:

1	$y^+y^+c^+c^+$	}	Rojos = 12/16
2	$y^+y^+c^+c^-$		
1	$y^+y^+c^-c^-$		
2	$y^+y^-c^+c^+$		
4	$y^+y^-c^+c^-$		
2	$y^+y^-c^-c^-$	}	Naranjas = 3/16
1	$yy^-c^+c^+$		
2	$yy^-c^+c^-$		
1	$yy^-c^-c^-$	}	Amarillos = 1/16

5. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo y para las condiciones particulares en que se llevó a cabo, se concluye que los caracteres altura de planta, forma de la base del fruto, tipo de fruto y color de fruto son de herencia monogénica y tipo de acción génica intralocus dominante, siendo alto, cóncavo, tipo pera y rojo dominantes sobre enano, convexa, tipo manzana y naranja (dominante sobre amarillo), respectivamente. El carácter número de pedicelos, parece ser de herencia cuantitativa.

6. LITERATURA CITADA

- Andrade A., E. 1949. Técnicas de polinización en Chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 85 p.
- Barnes, C. W. 1942. Paprika breeding. South Carol. Agr. Exp. Sta. Ann. Rep. pp. 148-150.
- Betlach, I and F. Novak. 1972. Study of artificial hybridization in vegetable pepper (*Capsicum annuum* L.). Zahradnictví 2-3:97-106. Plant Breeding Abstracts. No. 2429. 1974. 31:453 (Original no visto).
- Boswell, V. R. 1937. Improvement and genetics of tomatoes, peppers and eggplant. Yearbook of Agriculture. USDA. pp. 176-206.
- Brauer, O. 1962. Investigations on quality characters in F₁ hybrids of the red pepper *C. annuum* L. Z. Pflanzenz. 48:259-276. Plant Breeding Abstracts. No. 3508. 1963. 33:453 (Original no visto).
- Dempsey, A. H. 1960. Inheritance studies in certain fruit and plant character in *Capsicum frutescens*. Diss. Abstr. 20. LC Card Mic. 59-5372-2506-07. Plant Breeding Abstracts. No. 785. 1961. 31:150 (Original no visto).
- Bravo H., N. 1934. Estudio botánico acerca de las Solanáceas del género *Capsicum*. Anal. Inst. Biol. 5:303-321.

- Eshbaugh, W. H. 1982. Variation and evolution in *Capsicum exinimum* (Solanaceae). *Baileya* 21(4):193-198.
- _____. 1993. History and exploitation of a serendipitous new crop discovery. pp. 132-139. [Http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/vol2-132.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/vol2-132.html).
- Francenchestti, U. 1974. Natural cross pollination in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Breeding Abstracts*. No. 3381. 1974. 44. (Original no visto).
- Gaffar, H. M. and P. G. Smith. 1969. The inheritance of mature fruit color in *Capsicum pubescens* R. & P. *HortScience* 5(3):174.
- Greenleaf, H. W. 1986. Pepper breeding. p. 67-134. *In*: Breeding vegetable crops. M. J. Bassett (ed.). Avi Publishing Co. Gainesville, Florida, USA.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de horticultura cubana. Editorial Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. pp. 144-146.
- Heiser, C. B. and B. Pickersgill. 1969. Names for the cultivated *Capsicum* species (Solanaceae). *Taxon* 18:277-283.
- Johnson, R. 1992. Elementary statistics. Sixth edition. Duxbury press. Belmont, USA. 730 p.
- Kormos, J. 1962. Some observations on the carotene pigments of the fruit of the red pepper. *Acta Acad. Sci. Hung.* 8:279-281. *Plant Breeding Abstracts*. No. 3507. 1963. 33:445 (Original no visto).

- _____ and K Kormos. 1960. The genetic types of the carotenoid system of the red pepper fruit. Acta Acad. Sci. Hung. 6:305-319. Plant Breeding Abstracts. No. 1031. 1962. 32:184 (Original no visto).
- Laborde C., J. A. y O. Pozo C. 1984. Pasado y presente del chile en México. SARH-INIA. Publicación especial No. 85. México, D. F. 80 p.
- Lippert, L. F.; P. G. Smith and B. O. Berg 1966. Citogenetics of the vegetable crops. Garden pepper. *Capsicum* sp. Bot. Rev. 32:24-55.
- Loaiza-Figueroa, F. and S. D. Tansley. 1988. Genetics of a second locus determining pungency in chilli *Capsicum*. J. Her. 79(4):314-315.
- Lorenzetti, F, and B. Cirica. 1974. Degree of crossing, genetic structure of populations and breeding in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Genética Agraria 28(2):191-203. Plant Breeding Abstracts. No. 3857. 1975. 45:305 (Original no visto).
- McArdle, R. N. and J. C. Bouwcamp. 1983. Inheritance of several characters in *Capsicum annuum* L. J. Her. 74:125-127.
- McCammond, K. R. and S. Honma. 1984. Genetics of the "umbrella" branching habit in *Capsicum annuum* L. Theor. Appl. Gen. 68:541-545.
- Miller, J. C. and Z. M. Fineman. 1937. A genetic study of some qualitative and quantitative characteristics of the genus *Capsicum*. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 35:544-550.

- Molova, E. 1968. Hybridation between *Capsicum annuum* L. ($2n = 48$) and *Capsicum pubescens* R. y P. ($2n = 24$). Plant Breeding Abstracts. No. 1142. 1968. 38:445 (Original no visto).
- Muñoz F., I. y B. Pinto C. 1966. Taxonomía y distribución geográfica de los chiles cultivados en México. SAG-INIA. Publicación especial No. 15. 23 p.
- Odlan, M. L.. 1960. Inheritance of flower color in *Capsicum annuum* L. Amer. Soc. Hort. Sci. 76:475-481.
- Otha, Y. 1960. Physiological and genetical studies on pungency in red pepper. II. Pungency and environment. Seiken Jiho/Rep. Kihara Inst. Biol. Res. 11:73-77. Plant Breeding Abstracts. No. 3722. 1962. 32:661 (Original no visto).
- Pérez G., M.; R. Castro B. y M. Rivera Y. 1996. Distribución, descripción y caracteres de interés agronómico en chile manzano (*C. pubescens* R. y P). Memorias del XVI Congreso de Fitogenética. Montecillo, México. 6-11 de Octubre de 1996. p 110.
- Pickersgill, B. 1971. Relations between weedy and cultivated forms in some species of chili pepper (Genus *Capsicum*). Evolution 25:683-691.
- Popova, D. 1959. The duration of the pollen viability and stigma receptivity in red pepper. News Inst. Pl. Industr. 8:215-227. Plant Breeding Abstracts. No. 2429. 1961. 31:453 (Original no visto).
- Ramiro C., A. 1986. Cruzamiento artificial en chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 105 p.

- Rashid, K. A. and M. Munir. 1962. Inheritance studies in the common chilies (*Capsicum annuum*) in west Pakistan. W. Pak. J. Agric. Res. 23:82-89. Plant Breeding Abstracts. No. 2714. 1964. 34:460 (Original no visto).
- Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. Editorial AGT Editor. México, D. F. 460 p.
- Rodríguez M., R. 1988. Evolución del sistema reproductor de chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados: Montecillos, México. 105 p.
- Rojas L., P. C. 1997. Influencia de la intensidad luminosa en el comportamiento vegetativo y reproductivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis de Maestría en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Shifriss, C. 1987. Segregation of seven traits in pepper. HortScience 22(5):944-945.
- Smith, P. G. 1950. Inheritance of brown and green mature fruit color in peppers. J. Her. 41:138-140.
- _____ and C. B. Heiser. 1951. Taxonomic and genetic studies on the cultivated peppers, *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L. Amer. J. Bot. 38:362-368.
- _____; B. Villalon and P. L. Villa. 1987. Horticultural clasification of peppers grown in the United States. HortScience 22(1):11-13.
- Subramanya, R. 1983. Transfer of genes for multiple flowers from *Capsicum chinense* to *Capsicum annuum*. HortScience 18(5):747-749.

Thompson, C. 1997. Chile heads. [Http.www.chile/head](http://www.chile/head).

Trujillo G., P. 1948. Cruzamientos en chile (*Capsicum* sp L.) observaciones de P₁ a F₁.
Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia, Escuela Nacional de
Agricultura. Chapingo, México. 108 p.

Uzo, J. O. 1984. Hybrid vigour and gene action of two qualitative traits of flavour
peppers in Nigeria. *Scientia Horticulturae* 22:321-326.

Werner, J. D. and S. Honma. 1980. Inheritance of fruit detachment force in pepper. *J.*
Amer. Soc. Hort. Sci. 105(6):805-807.

Yaqub, C. M. and P. G. Smith. 1971. Nature and inheritance of self-incompatibility en
Capsicum pubescens and *Capsicum cardenasii*. *Hilgardia* 40:459-470.

Zijlstra, S.; C. Purimahua and P. Lindhout. 1991. Pollen tube growth in interespecific
crosses between *Capsicum* species. *HortScience* 26(5):585-586.