



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**ESTUDIO DE LA ENDOGAMIA EN FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS
MATERNOS Y HERMANOS COMPLETOS EN TOMATE DE CÁSCARA
(*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

CÉSAR AUGUSTO BARRERA IRIGOYEN

Bajo la supervisión de:

DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2020



**ESTUDIO DE LA ENDOGAMIA EN FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS MATERNOS
Y HERMANOS COMPLETOS EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.
ex Horm.)**

Tesis realizada por **César Augusto Barrera Irigoyen**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Director:


Dr. Aureliano Peña Lomelí

Co-director:


M.C. Natanael Magaña Lira

Asesor:


Dr. Jaime Sahagún Castellanos

Asesor:


Dr. Mario Pérez Grajales

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	iv
DEDICATORIAS.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DATOS BIOGRÁFICOS	vii
RESUMEN GENERAL	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Hipótesis	2
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Importancia del cultivo	3
2.2. Variedades de uso actual.....	3
2.3. Mejoramiento genético de tomate de cáscara	4
2.4. Endogamia.....	4
2.5. Depresión endogámica	6
2.6. Estudios sobre endogamia.....	7
2.7. Literatura citada	8
CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE LA ENDOGAMIA EN TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis</i> <i>ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).....	11
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
3.1. Introducción	13
3.2. Materiales y métodos	14
3.3. Resultados y discusión	17
3.3.1. Análisis de varianza.....	17
3.3.2. Comparación de medias de las variedades.....	19
3.3.3. Comparación de medias de las generaciones.....	21
3.3.4. Interacción variedad x generación.....	22

3.3.5. Interacción variedad x cruza.....	24
3.4. Conclusiones	27
3.5. Referencias.....	28

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para doce variables evaluadas en cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).....	18
Cuadro 3.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para doce variables evaluadas en cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.). (Continuación)	19
Cuadro 3.3. Comparación de medias de doce variables evaluadas en cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).	20
Cuadro 3.4. Comparación de medias de doce variables evaluadas en tres generaciones de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.).	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) en tres generaciones.	23
Figura 3.2. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) en tres generaciones. (Continuación).	24
Figura 3.3. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) en dos tipos de cruas.	26
Figura 3.4. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) en dos tipos de cruas. (Continuación).	27

DEDICATORIAS

A mis padres Ma. de la Luz y Manuel

A la memoria de mi abuela Alicia

A mis abuelos Nicolasa y Miguel

A las familias Barrera e Irigoyen

A la memoria del Dr. Abel Muñoz Orozco

Por eso cuando al mundo, triste contemplo,
yo me afano y me impongo ruda tarea
y sé que vale mucho mi pobre ejemplo,
aunque pobre y humilde parezca y sea.
¡Hay que luchar por todos los que no luchan!
¡Hay que pedir por todos los que no imploran!
¡Hay que hacer que nos oigan los que no escuchan!
¡Hay que llorar por todos los que no lloran!
Hay que ser cual abejas que en la colmena
fabrican para todos dulces panales.
Hay que ser como el agua que va serena
brindando al mundo entero frescos raudales.
Hay que imitar al viento, que siembra flores
lo mismo en la montaña que en la llanura.
Y hay que vivir la vida sembrando amores,
con la vista y el alma siempre en la altura.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo brindado para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi alma mater, pero sobre todo mi casa. Al Departamento de Fitotecnia, del cual soy orgullosamente egresado. Al Instituto de Horticultura, por darme la oportunidad de seguir formándome como profesional.

A mi comité asesor, Dr. Aureliano Peña Lomelí, Dr. Natanael Magaña Lira, Dr. Jaime Sahagún Castellanos, Dr. Mario Pérez Grajales, por todas sus enseñanzas, orientaciones y consejos para llevar a cabo este trabajo.

Al Dr. Amalio Santacruz Varela y Dr. Leobigildo Córdova Téllez, por brindarnos el espacio para la evaluación en campo de este proyecto.

A todos los maestros del Posgrado que formaron parte de esta etapa.

A César Ayala, Omar Ramírez y Aristeo, por su apoyo invaluable durante la fase de campo.

Al Equipo Tomate, a Ismael y a Plácido, por su amistad, apoyo y consejos durante todo este camino.

A Francis, Jhusua, Juanita, Anita, Alma, Nan, Dinoh y Maryn, por los buenos momentos vividos, por sufrir de las mismas penas que uno y por orientarme en algunos momentos.

A todas las personas que directa e indirectamente participaron en la realización de este proyecto, en especial a quienes ayudaron al establecimiento en campo.

Muchas gracias

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: César Augusto Barrera Irigoyen

Fecha de Nacimiento: 4 de enero de 1995

Lugar de Nacimiento: Texcoco, Estado de México, México.

CURP: BAIC950104HDFRRS00

Cartilla del S.M.N.: D-3086225

Profesión:

Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia.

Cédula 11256162



Desarrollo Académico

Bachillerato: 2010-2013 Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: 2013-2017 Departamento de Fitotecnia, UACH

Maestría: 2019-2020 Instituto de Horticultura, UACH

RESUMEN GENERAL

ESTUDIO DE LA ENDOGAMIA EN FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS MATERNOS Y HERMANOS COMPLETOS EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)¹

En tomate de cáscara se puede hacer hibridación intervarietal e interfamilial mediante el uso de familias de medios hermanos maternos, pero la disponibilidad e incremento de semilla de estas poblaciones es limitada. El objetivo fue estudiar el comportamiento de la endogamia en familias de cuatro variedades de tomate de cáscara, obtenidas a través de tres generaciones de apareamiento por cruza fraternales y planta a planta. Se evaluaron cuatro variedades, Tecozautla, Diamante, Manzano y Morado, cada una compuesta por tres familias de medios hermanos maternos obtenidas de siete ciclos de incremento de semilla por cruza fraternales (Generación 1), a las cuales se les hicieron en el otoño de 2018, cruza planta a planta y fraternales en plantas seleccionadas dentro de cada familia. Esto dio origen (Generación 2) a familias de hermanos completos (FHC) y medios hermanos maternos (FMHM), respectivamente. En el otoño de 2019, el proceso se repitió ahora en las familias de la generación anterior y se obtuvo otra generación de FHC y FMHM (Generación 3). La evaluación en campo del total de familias obtenidas se realizó en primavera-verano 2020. Se usó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y se evaluó el rendimiento por planta en dos cortes y total, así como el peso, volumen y densidad aparente de 10 frutos en cada corte y promedio de cortes. Se presentó depresión endogámica entre generaciones. El rendimiento, tamaño y volumen de fruto en el primer corte disminuyó con el paso de las generaciones. Tecozautla y Diamante fueron las variedades que presentaron mayor depresión endogámica. El tipo de cruce no tuvo efecto significativo de manera general en las variables, pero el análisis de la interacción variedad x cruce arrojó que el tamaño de fruto fue superior para la cruce fraternal en las variedades Tecozautla, Diamante y Morado.

Palabras clave: incremento de semilla, depresión endogámica.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: César Augusto Barrera Irigoyen. Director: Dr. Aureliano Peña Lomelí

ABSTRACT

INBREEDING STUDY IN MATERNAL HALF-SIB AND FULL-SIB FAMILIES IN TOMATILLO (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)²

In tomatillo, inter-varietal and inter-family hybridization can be done by using maternal half-sib families, but the availability and seed increment from these populations is limited. The aim of the research was to study the development of inbreeding in families of four varieties of tomatillo, obtained through three generations of half-sib and full-sib mating. Four varieties were evaluated, Tecozautla, Diamante, Manzano and Morado, each one composed of three maternal half-sib families obtained from seven cycles of seed increment using half-sib mating (Generation 1). Full-sib and half-sib mating were made in the fall of 2018 on selected plants within each family. This gave rise (Generation 2) to full-sib families (FSF) and maternal half-sib families (MHSF), respectively. In the fall of 2019, the process was now repeated in the families of the previous generation and another generation of FSF and MHSF (Generation 3) was obtained. The field evaluation of the three generations obtained was conducted in spring-summer 2020. The randomized complete block design with four repetitions was used and the fruit yield per plant in two harvests and total was evaluated, as well as weight, volume, and bulk density of 10 fruits in each harvest and average of harvests. Inbreeding depression happened between generations. The fruit yield, size, and volume of fruit in the first harvest decreased over the generations. Tecozautla and Diamante were the varieties that presented the greatest inbreeding depression. The mating system did not have a significant effect on the variables in general, but the analysis of the variety x cross interaction showed that the fruit size was higher in the half-sib mating in Tecozautla, Diamante and Morado varieties.

Keywords: seed increment, inbreeding depression.

² Thesis. Universidad Autónoma Chapingo.

Author: César Augusto Barrera Irigoyen. Advisor: Dr. Aureliano Peña Lomelí

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex. Horm.) es una de las principales hortalizas en México junto con el chile (*Capsicum annuum* L.), la papa (*Solanum tuberosum* L.), el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), la sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad. ex Eckl. & Zeyh) y la cebolla (*Allium cepa* L.). Actúa como un producto sustituto del jitomate y a partir de 1990 duplicó su superficie de cultivo (Santiaguillo et al., 2010).

La producción de este cultivo demanda la generación de cultivares mejorados que se ajusten a las necesidades actuales del mercado nacional e internacional. Dentro de las características a mejorar están el rendimiento, precocidad, color y tamaño de fruto. Actualmente, la semilla utilizada en México proviene de variedades nativas que son conservadas y multiplicadas por los mismos agricultores. Aunque algunas empresas semilleras comercializan materiales, estos tienen como origen poblaciones criollas sobresalientes, sin proceso de mejoramiento, pero sí de beneficio (Magaña et al., 2011).

Ante la imposibilidad de crear líneas endogámicas debido a la autoincompatibilidad, Peña y Márquez (1990) mencionan que los métodos de mejoramientos basados en la selección son los adecuados para esta especie: selección masal visual estratificada, selección familiar de medios hermanos y selección combinada.

Otra alternativa para la producción de materiales mejorados es aprovechar la heterosis interfamiliar e intervarietal (Magaña, 2019; Peña et al., 1998) al usar familias de medios hermanos maternos como progenitores de híbridos. Sin embargo, existe la problemática al momento de incrementar la semilla de estos progenitores, pues el arreglo genotípico cambiará en la siguiente generación de apareamiento aleatorio, además de que debido al número finito de individuos de este tipo de población ocurrirá apareamiento entre parientes y con esto se espera depresión endogámica.

El propósito de este trabajo fue estudiar, en cuatro variedades de tomate de cáscara, el comportamiento de la endogamia en tres generaciones de apareamiento obtenidas por cruzas fraternales y cruzas planta a planta.

1.1. Objetivos

General

Estudiar los efectos de la endogamia en familias de hermanos completos y medios hermanos maternos provenientes de cuatro variedades mejoradas de tomate de cáscara.

Específicos

Comparar el comportamiento de las cuatro variedades en tres generaciones de apareamiento.

Comparar el comportamiento de cruzas planta a planta y fraternales a través de tres generaciones.

1.2. Hipótesis

Las familias de hermanos completos tendrán un comportamiento productivo diferente que las familias de medios hermanos maternos. Con el paso de las generaciones, el comportamiento productivo se verá disminuido debido al efecto de la depresión endogámica.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo

En el año 2018 el tomate de cáscara se cultivó en 30 de los 32 estados de la República Mexicana. Se sembraron 41,317.56 ha con una producción de 778,425.22 toneladas, tanto en el ciclo de primavera-verano como en el de otoño-invierno, al igual que en condiciones de riego y de temporal. El rendimiento promedio nacional fue de 18.9 ton·ha⁻¹. Los principales estados productores fueron Sinaloa, Zacatecas, Jalisco, Puebla y Sonora (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020). El consumo *per capita* nacional es de 4.4 kg (SIAP, 2015).

Los sistemas de cultivo de tomate de cáscara son tan diversos como los estados en que se produce. Se puede encontrar desde el sistema tradicional con siembra directa en temporal hasta el fertirriego con acolchado y espaldera. Se cultiva tanto en riego como en temporal en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno, por lo que el producto está disponible en el mercado todo el año (Peña et al., 2007).

2.2. Variedades de uso actual

El tipo principal de semilla utilizada para la producción de tomate de cáscara es aquella que seleccionan y conservan los propios agricultores. En algunas partes del país estas variedades nativas o criollas han sido desplazadas por variedades comerciales, las cuales tienen un proceso de mejoramiento escaso o nulo. El inconveniente de estas es que son criollos sobresalientes que han sido multiplicados y beneficiados sin un criterio de selección adecuado de plantas para semilla, además de no estar adaptados a las regiones en donde se comercializan (Magaña et al., 2011).

En el SNICS están registradas 30 variedades de tomate de cáscara, de las cuales 19 son de la especie *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm. y el resto son de otras especies del género. Todas han sido descritas con base en la guía publicada por la UPOV en 2007 (Peña et al., 2011; Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS], 2019). Santiaguillo et al. (2012) indican que en general en México no se usa semilla certificada, debido a que es producida por los mismos agricultores, vendida por empresas semilleras sin un programa de mejoramiento establecido, o proporcionada por quienes compran la cosecha. Actualmente algunas empresas e instituciones han registrado variedades y producen semilla certificada, aunque su uso aún no es generalizado.

Como consecuencia de utilizar semilla no certificada, no se pueden garantizar aspectos como identidad, pureza genética, calidad (física, fisiológica, sanitaria y genética), entre otros atributos agronómicos. En esto recae la importancia de producir semilla certificada de variedades mejoradas y registradas, y dar certeza al productor de la calidad de la semilla y mejorar la productividad del cultivo (Santiaguillo et al., 2012).

2.3. Mejoramiento genético de tomate de cáscara

El tomate de cáscara presenta autoincompatibilidad gametofítica determinada por dos genes independientes con alelos múltiples (Pandey, 1957). Esto impide la autofecundación, razón por la cual no es posible formar líneas altamente endogámicas y, por ende, tampoco híbridos con las técnicas clásicas. Los métodos utilizados para el mejoramiento genético de tomate de cáscara están basados en la selección: Selección Masal Visual Estratificada, Selección Familiar de Medios Hermanos Maternos y Selección Combinada de Medios Hermanos Maternos (Peña & Márquez, 1990). El criterio principal de selección se basa en parámetros productivos como rendimiento y sus componentes.

2.4. Endogamia

Falconer y Mackay (1996) definen la endogamia como el apareamiento de individuos que están relacionados entre sí por ascendencia. La consecuencia esencial de que dos

individuos tengan un ancestro común es que ambos pueden portar réplicas de uno de los genes presentes en el ancestro y, si se aparean, pueden transmitir estas réplicas a su descendencia.

La endogamia se produce cuando los individuos que se aparean están más estrechamente relacionados entre sí que cualesquiera dos individuos extraídos aleatoriamente de la población. La endogamia consiste en el apareamiento entre parientes. Para un alelo determinado, la endogamia incrementa la proporción de homocigotos en la población. Una población completamente endogámica estaría compuesta en exclusiva, teóricamente, por genotipos homocigóticos (Klug et al., 2013).

En plantas en que no es posible la autopolinización (como tomate de cáscara), la endogamia puede lograrse mediante el apareamiento de familias o individuos cercanos. Un apareamiento de medios hermanos es un apareamiento entre plantas que tienen en común un progenitor o una fuente de polen. Un apareamiento de hermanos completos es el apareamiento entre plantas dentro de la progenie de una sola planta (Poehlman & Allen, 2003).

Para cuantificar la endogamia, Wright (1921) propuso el coeficiente de endogamia, que representa la correlación entre gametos que se unen. La probabilidad de que los gametos sean idénticos puede oscilar desde cero (gametos totalmente diferentes entre sí) y uno (gametos idénticos).

La endogamia en una población aumenta a medida que disminuye su tamaño (N). A medida que aumenta la endogamia, se reduce la variabilidad genética entre los individuos dentro la población, lo que resulta en una menor ganancia genética (Fehr, 1991). Si $N = 20$, el nivel esperado de endogamia es 0.22 después de cinco ciclos de selección, en comparación con 0.12 si $N = 30$ y 0.08 con $N = 60$. Después de 40 ciclos de selección para $N = 20$, 30 y 60, el nivel esperado de endogamia es 0.86, 0.73 y 0.48 respectivamente (Hallauer et al., 2010).

La necesidad de evaluación y recombinación de la progenie en programas de selección recurrente a menudo requiere el uso de tamaños de población de 200 individuos o menos. Las poblaciones cerradas se utilizan comúnmente para poder determinar los efectos de un método de selección específico (Fehr, 1991).

2.5. Depresión endogámica

El efecto más notable de la endogamia es la pérdida de vigor o depresión endogámica, caracterizado por la reducción del valor fenotípico que muestran los caracteres relacionados con la capacidad reproductiva o la eficiencia fisiológica (Falconer & Mackay, 1996).

Márquez (2007) menciona que esto fue observado por el ser humano al descubrir que la progenie de parejas emparentadas mostraba anomalías como enanismo, albinismo, hemofilia, etcétera y que se acentuaban con el paso de las generaciones.

Existen cuatro sistemas de apareamiento para incrementar la homocigocidad en una población: autopolinización, apareamiento de hermanos completos, apareamiento de medios hermanos y el retrocruzamiento. La autopolinización ocurre cuando los gametos masculino y femenino de un mismo individuo se unen y producen semilla. El apareamiento de hermanos completos es la cruce de un par de individuos en una población (cruza planta a planta o en cadena). El apareamiento de medios hermanos ocurre cuando plantas individuales son polinizadas con polen aleatorio de la población (cruzas fraternales). El retrocruzamiento es un sistema de apareamiento en el que individuos de una población son cruzados con alguno de sus progenitores en generaciones sucesivas (Fehr, 1991).

Después de diez generaciones de apareamiento, la autopolinización alcanza un coeficiente de endogamia (F) de 0.999, la cruce de hermanos completos tiene un coeficiente de 0.886, la cruce de medios hermanos un coeficiente de 0.691, el retrocruzamiento alcanza un coeficiente máximo de 0.499 (Falconer & Mackay, 1996).

2.6. Estudios sobre endogamia

La endogamia sirve para lograr heterosis o vigor híbrido. Para formar híbridos vigorosos y de alto rendimiento se necesitan líneas altamente endogámicas, a veces de muy bajo rendimiento y con defectos, pero que al cruzarse muestran también una alta heterosis. Esto significa que el vigor híbrido será mayor conforme sus líneas progenitoras tengan mayor endogamia y divergencia genética (Márquez, 2007).

Shull (1908) y East (1908) demostraron que una variedad de maíz de polinización abierta consistía en una población de genotipos heterogéneos a partir de las cuales se podían desarrollar líneas puras homocigóticas y homogéneas. Las polinizaciones controladas de polen en estigmas de maíz de la misma planta durante cinco a siete generaciones de autofecundación produjeron líneas endogámicas, las cuales a menudo eran débiles y difíciles de propagar. Sin embargo, cuando se cruzaron algunas de las líneas endogámicas débiles, se restauró el vigor y el rendimiento de las cruzas (o híbridos de craza simple) usualmente excedían el de la variedad original de polinización abierta a partir de la cual se desarrollaron las líneas. Los híbridos fueron uniformes (homogéneos) porque eran plantas genéticamente idénticas, heterocigotas y homogéneas. Estas observaciones de endogamia y cruzamiento llevaron a Shull (1910) a describir un método para producir híbridos de maíz (Hallauer et al., 2010).

La heterosis se presenta en cruzas de líneas endogámicas y también se puede presentar en cruzas intervarietales, como es el caso del tomate de cáscara (Sahagún et al., 1999). Peña et al. (1998) trabajaron con ocho variedades analizadas en un dialélico y encontraron que la heterosis media fue significativa para características de peso y tamaño de fruto, por lo que sería posible obtener híbridos de mejores características que las variedades. Santiaguillo, Cervantes y Peña (2004) encontraron heterosis promedio positiva significativa para rendimiento total por planta en cruzas planta a planta entre individuos de las variedades Verde Puebla x CHF1 Chapingo, aunque para caracteres de calidad de fruto la heterosis promedio fue negativa.

Una alternativa para aprovechar la heterosis intervarietal es usar familias de medios hermanos maternos (FMHM) como progenitores de híbridos. El principal obstáculo es incrementar esta semilla, pues el arreglo genotípico cambiará en la siguiente generación de apareamiento aleatorio, pero debido al número finito de individuos de una población de este tipo, desde la primera generación ocurrirá apareamiento entre parientes, por lo que se espera depresión endogámica (Falconer & Mackay, 1996).

Márquez (2010) describe que maíz el método de polinización por cruza en cadena tiene una endogamia igual a la que se genera en el sistema endogámico de familias de medios hermanos. El único trabajo sobre endogamia en tomate de cáscara es el realizado por Magaña (2019) quien menciona que el efecto del primer incremento de semilla a partir de una familia de medios hermanos maternos es mínimo, por lo que el comportamiento de las siguientes generaciones es estable en términos de rendimiento por planta, y tamaño y número de frutos.

2.7. Literatura citada

- East, E. M. (1908). Inbreeding in corn. *Connecticut Agricultural Experiment Station Report* 1907: 419-428.
- Falconer, D. & Mackay, T. (1996). Introduction to quantitative genetics. 4th ed. Essex. Longman.
- Fehr, W. R. (1991). Principles of cultivar development. Iowa State University. United States. Macmillan Publishing Company.
- Hallauer, A., Carena, M. & Miranda F., J. (2010). Quantitative genetics in maize breeding. New York. Springer.
- Klug, W. S., Cummings, M. R., Spencer, C. A. & Palladino, M. A. (2013). Conceptos de genética. Madrid, España. Pearson.
- Magaña L., N.; Santiaguillo H., J. F. & Grimaldo J., O. (2011). *El mejoramiento participativo de tomate de cáscara como estrategia de conservación in situ*.

- México, D.F.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Magaña L., N. (2019). Endogamia y heterosis en cuatro poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex. Horm.). Tesis de Doctorado. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Márquez S., F. (2007). ¿Para qué sirve la endogamia? *Ciencia*, 58(4): 72-78.
- Márquez S., F. (2010). Endogamia en la reproducción de maíz por cruces en cadena. *Agrociencia*, 44:183-186.
- Pandey K., K. (1957). Genetics of Self-incompatibility in *Physalis ixocarpa*, Brot. a new system. *American Journal of Botany*, 44: 879-887.
- Peña L., A. & Márquez S., F. (1990). Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Revista Chapingo*, 15(71-72): 84-88.
- Peña L., A., Molina G., J. D., Cervantes S., T., Márquez S., F., Sahagún C., J., & Ortiz C., J. (1998). Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1), 31-37.
- Peña L., A., Santiaguillo H., J. F. & Magaña L., N. (2007). Recursos y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Bautista M., N. y Chavarín P., C., Eds., *Producción de Tomate de Cáscara*. (pp. 31-71) México. Colegio de Postgraduados.
- Peña L., A., Magaña L., N., Montes H., S., Sánchez M., J., Santiaguillo H., J. F., Grimaldo J., O., & Contreras R., A. (2011). Manual gráfico para la descripción varietal de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). México, D.F.: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas - Universidad Autónoma Chapingo.
- Poehlman M., J. & D. Allen S. (2003). Mejoramiento genético de las cosechas. Trads. Guzmán O., M.; M. Hernández C. 2 ed. México, DF. Editorial Limusa, S.A de C.V. Noriega Editores.
- Sahagún C., J., Gómez R., F. & Peña L., A. (1999). Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 19-23.

- Santiaguillo H., J. F., Cervantes S., T. & Peña L., A. (2004). Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta x planta entre dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 85-91.
- Santiaguillo H., J. F.; Cedillo P., E. & Cuevas S., J. A. (2010). *Distribución geográfica de Physalis spp. en México*. México. Publicaciones de la Red de Tomate de Cáscara.
- Santiaguillo H., J. F., Vargas P., O., Grimaldo J., O., Magaña L., N., Caro V., J. F., Peña L., A., & Sánchez M., J. (2012). *Diagnóstico del tomate de cáscara*. México, D.F.: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas - Universidad Autónoma Chapingo.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2019). *Catálogo Nacional de Variedades Vegetales*. Ciudad de México, México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural - Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). Atlas Agroalimentario 2015. México. SAGARPA.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Cierre de la producción agrícola. Consultado 07-10-2019 en <https://hube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shull, G. H. (1908). The composition of a field of maize. *Journal of Heredity*, 4(1): 296-301.
- Shull, G. H. (1910). Hybridization methods in corn breeding. *Journal of Heredity*, 1(2): 98-107.
- Wright, S. (1921). Systems of mating II. The effects of inbreeding on a genetic composition of a population. *Genetics* 6(2): 124-143.

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE LA ENDOGAMIA EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

RESUMEN

En tomate de cáscara se puede hacer hibridación intervarietal e interfamiliar mediante el uso de familias de medios hermanos maternos, pero la disponibilidad e incremento de semilla de estas poblaciones es limitada. El objetivo fue estudiar el comportamiento de la endogamia en familias de cuatro variedades de tomate de cáscara, obtenidas a través de tres generaciones de apareamiento por cruza fraternales y planta a planta. Se evaluaron cuatro variedades, Tecozautla, Diamante, Manzano y Morado, cada una compuesta por tres familias de medios hermanos maternos obtenidas de siete ciclos de incremento de semilla por cruza fraternales (Generación 1), a las cuales se les hicieron en el otoño de 2018, cruza planta a planta y fraternales en plantas seleccionadas dentro de cada familia. Esto dio origen (Generación 2) a familias de hermanos completos (FHC) y medios hermanos maternos (FMHM), respectivamente. En el otoño de 2019, el proceso se repitió ahora en las familias de la generación anterior y se obtuvo otra generación de FHC y FMHM (Generación 3). La evaluación en campo del total de familias obtenidas se realizó en primavera-verano 2020. Se usó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y se evaluó el rendimiento por planta en dos cortes y total, así como el peso, volumen y densidad aparente de 10 frutos en cada corte y promedio de cortes. Se presentó depresión endogámica entre generaciones. El rendimiento, tamaño y volumen de fruto en el primer corte disminuyó con el paso de las generaciones. Tecozautla y Diamante fueron las variedades que presentaron mayor depresión endogámica. El tipo de cruce no tuvo efecto significativo de manera general en las variables, pero el análisis de la interacción variedad x cruce arrojó que el tamaño de fruto fue superior para la cruce fraternal en las variedades Tecozautla, Diamante y Morado.

Palabras clave: incremento de semilla, depresión endogámica, familias de medios hermanos, familias de hermanos completos.

INBREEDING STUDY IN TOMATILLO (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

ABSTRACT

In tomatillo, inter-varietal and inter-family hybridization can be done by using maternal half-sib families, but the availability and seed increment from these populations is limited. The aim of the research was to study the development of inbreeding in families of four varieties of tomatillo, obtained through three generations of half-sib and full-sib mating. Four varieties were evaluated, Tecozautla, Diamante, Manzano and Morado, each one composed of three maternal half-sib families obtained from seven cycles of seed increment using half-sib mating (Generation 1). Full-sib and half-sib mating were made in the fall of 2018 on selected plants within each family. This gave rise (Generation 2) to full-sib families (FSF) and maternal half-sib families (MHSF), respectively. In the fall of 2019, the process was now repeated in the families of the previous generation and another generation of FSF and MHSF (Generation 3) was obtained. The field evaluation of the three generations obtained was conducted in spring-summer 2020. The randomized complete block design with four repetitions was used and the fruit yield per plant in two harvests and total was evaluated, as well as weight, volume, and bulk density of 10 fruits in each harvest and average of harvests. Inbreeding depression happened between generations. The fruit yield, size, and volume of fruit in the first harvest decreased over the generations. Tecozautla and Diamante were the varieties that presented the greatest inbreeding depression. The mating system did not have a significant effect on the variables in general, but the analysis of the variety x cross interaction showed that the fruit size was higher in the half-sib mating in Tecozautla, Diamante and Morado varieties.

Keywords: seed increment, inbreeding depression, half-sibling families, full-sibling families.

3.1. Introducción

En el año 2018 el tomate de cáscara se cultivó en 30 de los 32 estados de la República Mexicana (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020). Se puede encontrar desde el sistema tradicional con siembra directa en temporal hasta el fertirriego con acolchado y espaldera. Se cultiva tanto en riego como en temporal en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno, por lo que el producto está disponible en el mercado todo el año (Peña et al., 2007).

La mayoría de los agricultores utilizan semilla que ellos mismos obtuvieron de sus cultivos, sin seguir alguna metodología adecuada para selección. En algunas partes del país se utilizan variedades comerciales, las cuales fueron obtenidas de la multiplicación de materiales criollos sobresalientes pero que no han pasado por un robusto programa de mejoramiento (Magaña et al., 2011). Como consecuencia de utilizar este tipo de semilla, no se pueden garantizar aspectos como identidad, pureza genética, calidad (física, fisiológica, sanitaria y genética), entre otros atributos agronómicos. Debido a esto, es importante producir semilla certificada de variedades mejoradas y registradas, y dar certeza al productor de la calidad de la semilla y mejorar la productividad del cultivo (Santiaguillo et al., 2012).

El tomate de cáscara presenta autoincompatibilidad gametofítica determinada por dos genes independientes con alelos múltiples (Mulato et al., 2007; Pandey, 1957). Esto impide la autofecundación, razón por la cual no es posible formar líneas altamente endogámicas, y por ende tampoco, híbridos con las técnicas clásicas. Los métodos utilizados para el mejoramiento genético de tomate de cáscara están basados en la selección (Peña & Márquez, 1990).

La endogamia es el apareamiento de individuos que están relacionados entre sí por ascendencia. La consecuencia esencial de que dos individuos tengan un ancestro común es que ambos pueden portar réplicas de uno de los genes presentes en el ancestro y, si se aparean, pueden transmitir estas réplicas a su descendencia. El efecto más notable

de la endogamia es la pérdida de vigor o depresión endogámica, caracterizado por la reducción del valor fenotípico que muestran los caracteres relacionados con la capacidad reproductiva o la eficiencia fisiológica (Falconer & Mackay, 1996)

La heterosis se presenta en cruzas de líneas endogámicas y también se puede presentar en cruzas intervarietales, como es el caso del tomate de cáscara (Sahagún et al., 1999). Peña et al. (1998) trabajaron con ocho variedades analizadas en un dialélico y encontraron que la heterosis media fue significativa para características de peso y tamaño de fruto, por lo que sería posible obtener híbridos de mejores características que las variedades. Santiaguillo, Cervantes y Peña (2004) encontraron heterosis promedio positiva significativa para rendimiento total por planta en cruzas planta x planta entre individuos de las variedades Verde Puebla x CHF1 Chapingo, aunque para caracteres de calidad de fruto la heterosis promedio fue negativa.

Magaña (2019) y Peña et al. (1999) encontraron que es posible la obtención de híbridos de cruzas interfamiliales al usar familias de medios hermanos maternos como progenitores, o bien por cruzas planta a planta (Santiaguillo et al., 2004). Sin embargo, mantener la estabilidad de las familias a través de los ciclos de incremento de su semilla puede ser un problema debido al reducido número de individuos, lo que puede llegar a generar depresión endogámica. Una posibilidad para mantener el genotipo de familias o plantas progenitoras de híbridos es la multiplicación *in vitro* (Luna, 2019), aunque aún no se cuenta con el protocolo completo para su propagación masiva.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento de la endogamia en familias de cuatro variedades de tomate de cáscara, obtenidas a través de tres generaciones de apareamiento por cruzas fraternales y planta a planta.

3.2. Materiales y métodos

Se evaluaron cuatro variedades de tomate de cáscara: Tecozautla, Diamante, Manzano y Morado San Miguel. En cada una se estudiaron tres familias de medios hermanos obtenidas de siete ciclos de incremento de su semilla por cruzas fraternales.

En el ciclo otoño-invierno 2018-2019 se establecieron en hidroponía bajo invernadero 114 plantas de cada una de las doce familias. Se seleccionaron las mejores cinco plantas de cada familia bajo criterios de altura, vigor y número de flores a los 15 días después de trasplante. En las plantas seleccionadas se realizaron cruza planta a planta y fraternales mediante la técnica de polinización controlada descrita por Peña, Magaña, Gámez, Mendoza y Pérez (2018).

Para las cruza planta a planta, la primera planta se cruzó como macho con la segunda, ésta con la tercera y así sucesivamente, la quinta planta se cruzó como macho con la primera. Para las cruza fraternales, se tomó el polen de las cinco plantas en una caja Petri, se mezcló y se procedió a polinizar cada una de las cinco plantas. En las cruza planta a planta y fraternales, cada planta seleccionada dio origen a una familia de hermanos completos (FHC) y una familia de medios hermanos maternos (FMHM), respectivamente.

En el ciclo otoño-invierno 2019-2020 se establecieron, en hidroponía bajo invernadero, las familias resultantes del ciclo de selección anterior. Como algunas cruza no produjeron semilla suficiente, se añadió a los criterios de selección elegir plantas de familias que tuvieran tanto FHC como FMHM. Por lo tanto, se seleccionaron cinco plantas dentro de cada familia. En el ciclo anterior, en cada planta se realizaron ambos tipos de cruza, en este nuevo ciclo de selección solamente se realizó un tipo de cruza por planta, lo cual dependió del origen de esta. Si la planta provenía de una familia de hermanos completos, se hicieron cruza planta a planta en ella; si provenía de una familia de medios hermanos maternos, se hicieron cruza fraternales. Esto dio origen a nuevas familias de hermanos completos y medios hermanos maternos. Para la evaluación en campo se utilizaron el total de familias obtenidas.

En el ciclo primavera-verano de 2020 se hizo la evaluación en campo de las familias obtenidas en ambos ciclos de selección en invernadero más las familias originales (las que provenían de los siete ciclos de incremento de semilla por cruza fraternales). Esto dio un total de 82 familias.

La siembra de las charolas fue el 29 de febrero. Se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades con turba como sustrato. Se colocaron de una a dos semillas por cavidad, en función de la cantidad de semilla de cada cruce. La plántula se mantuvo en condiciones de invernadero y se le suministró riego cada tercer día con solución nutritiva de Steiner al 50 % por tres semanas, y posteriormente los riegos fueron diarios con la solución nutritiva de Steiner al 100 % (Steiner, 1984). A los 15 días después de la siembra se realizó un aclareo de charolas con el objetivo de dejar una planta por cavidad.

La evaluación se estableció en el lote 10-C (19° 27' 60" N, 98° 54' 19" O) del Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México. El terreno se preparó con barbecho, rastreo y surcado a 1 m de distancia. Se trasplantó el 16 de abril. El establecimiento se hizo a una distancia de 30 cm entre plantas. Se usó el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental consistió en un surco de 4.2 m (15 plantas). Los riegos fueron realizados semanalmente mediante el uso de sifones. Se fertilizó con la fórmula 200 N – 100 P₂O₅ – 50 K₂O. La primera fertilización se realizó una semana después del trasplante, se aplicó la mitad de Urea y el total del Fosfato Diamónico y Cloruro de Potasio. La segunda fertilización se hizo 25 días después del trasplante y se aplicó el resto de Urea. Además de aplicaciones semanales de fertilizante foliar (Bayfolan Forte® + surfactante), se hicieron aplicaciones preventivas para plagas y enfermedades [Confidor® (Imidacloprid) y Lannate® (Metomilo)]. Las malezas se controlaron con tres escardas y dos deshierbes, y tras el aporque se aplicó el herbicida pre emergente Provence 75 WG® (Isoxaflutole) a dosis de 112.5 g i.a. ha⁻¹.

A los 40 días después del trasplante, se tomaron datos de altura de planta y número de bolsas formadas. La altura (cm, ALT) se tomó del nivel del suelo a la punta de la rama

más alta. Para el número de bolsas (BOL) se contaron los cálices por planta, dentro de los cuales se desarrollaba el fruto. En ambas variables se obtuvo la media por unidad experimental.

La cosecha se efectuó en dos cortes, el 30 de junio y el 10 de julio. Se evaluó el rendimiento por planta (kg) en cada uno de los cortes (RPC1 y RPC2). De la suma de ambos valores se obtuvo el rendimiento total por planta (RTP). En ambos cortes se seleccionaron 10 frutos al azar a los cuales se les pesó (g) (P10FC1 y P10FC2) y solamente en el primer corte se les tomó volumen (V1). A partir del peso y volumen de 10 frutos, se estimó la densidad aparente ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) de frutos en el primer corte (D1), que a su vez sirvió para estimar el volumen en el segundo corte (V2). También se obtuvo el peso y volumen promedio de los 10 frutos (PP10F y VP). El peso de 10 frutos se tomó como un estimador del tamaño de estos (fruto muy grande, grande y mediano) (Magaña, 2019; Sánchez, 2019).

El análisis de varianza se realizó según el modelo $Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + V_j + G_k + C_l + VG_{jk} + VC_{jl} + GC_{kl} + VGC_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$, donde Y_{ijkl} = valor observado de la variable Y, μ = media general, β_i = efecto del bloque i, V_j = efecto de la variedad j, G_k = efecto de la generación k, C_l = efecto del tipo de cruza l, VG_{jk} = interacción variedad x generación, VC_{jl} = interacción variedad x cruza, GC_{kl} = interacción generación x cruza, VGC_{jkl} = interacción variedad x generación x cruza y ε_{ijkl} = error aleatorio. Se hicieron pruebas de comparación de medias (Tukey, $p = 0.05$) entre variedades, entre generaciones, entre generaciones para cada variedad, y entre cruzas para cada variedad.

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza (Cuadro 3.1 y Cuadro 3.2) muestra que para el factor Variedad se tuvieron efectos altamente significativos ($\alpha \leq 0.01$) para todas las variables, a excepción de RPC2, en la cual el efecto fue significativo ($\alpha \leq 0.05$). Esto indica comportamientos

diferentes entre variedades, lo cual está relacionado con las características distintivas de cada una de ellas, como el tamaño de fruto y el rendimiento por planta. El efecto del factor Generación no fue significativo en las variables RPC2 y D1. Para la variable V2 el efecto fue significativo ($\alpha \leq 0.05$) y en el resto de las variables fue altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$), lo que puede ser un indicador de depresión endogámica. El factor Cruza no presentó significancia en ninguna de las variables. Esto indica que de manera general el tipo de cruza no influyó en la respuesta de las variables.

La interacción variedad x generación fue altamente significativa ($\alpha \leq 0.01$) para las variables RPC1, RTP, P10FC1, P10FC2, PP10F, V1 y VP. Esto se debe a que el comportamiento dentro de las variedades no fue el mismo entre generaciones. La interacción variedad x cruza fue altamente significativa ($\alpha \leq 0.01$) para RPC1, RTP, P10FC1, PP10F y V1, y significativa ($\alpha \leq 0.05$) para ALT y VP. Las interacciones generación x cruza y variedad x generación x cruza no fueron significativas en ninguna variable.

Cuadro 3.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para doce variables evaluadas en cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.).

Fuente	GL	ALT	BOL	RPC1	RPC2	RTP
Bloque	3	258.5 **	151.8 **	0.433 **	0.060 *	0.496 **
Variedad	3	491.6 **	289.7 **	0.880 **	0.065 *	1.131 **
Generación	2	139.6 **	37.5 **	0.994 **	0.028 NS	1.354 **
Cruza	1	55.7 NS	7.8 NS	0.051 NS	0.012 NS	0.014 NS
VAR*GEN	5	23.2 NS	8.2 NS	0.419 **	0.019 NS	0.531 **
VAR*CRUZ	3	77.8 *	18.4 NS	0.404 **	0.034 NS	0.540 **
GEN*CRUZ	1	77.2 NS	3.1 NS	0.022 NS	0.030 NS	0.104 NS
VAR*GEN*CRUZ	1	93.5 NS	2.1 NS	0.087 NS	0.003 NS	0.056 NS
Error	308	26.4	7.1	0.074	0.017	0.094
Total	327					
CV		19.67	35.19	40.68	76.75	36.44

** y *: Significativo con $p = 0.01$ y $p = 0.05$, respectivamente; NS: No significativo.

Fuente: fuente de variación; VAR*GEN: interacción variedad x generación; VAR*CRUZ: interacción variedad x cruza; GEN*CRUZ: interacción generación x cruza; VAR*GEN*CRUZ: interacción variedad x generación x cruza; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; ALT: altura de planta (cm); BOL: número de bolsas; RPC1 y RPC2: rendimiento por planta en el corte 1 y 2, respectivamente (kg); RTP: rendimiento total por planta (kg).

Cuadro 3.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para doce variables evaluadas en cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). (Continuación)

FV	GL	P10FC1		P10FC2		PP10F		V1		V2	
Bloque	3	11705.0	NS	834.6	NS	2888.8	NS	19074.9	NS	1361.5	NS
Variedad	3	552845.8	**	115936.5	**	291388.0	**	900783.9	**	198897.8	**
Generación	2	130541.2	**	24648.4	**	66249.6	**	160659.8	**	29869.6	*
Cruza	1	3817.5	NS	5381.7	NS	4566.1	NS	5602.8	NS	6350.0	NS
VAR*GEN	5	95667.9	**	17614.4	**	46704.1	**	77371.7	**	12942.8	NS
VAR*CRUZ	3	66073.6	**	8665.3	NS	24381.3	**	74548.0	**	10893.2	NS
GEN*CRUZ	1	7131.3	NS	2719.8	NS	260.7	NS	4796.8	NS	4506.3	NS
VAR*GEN*CRUZ	1	12181.1	NS	267.4	NS	4014.5	NS	20433.1	NS	367.1	NS
Error	308	11453.5		5103.1		5929.9		15044.8		6807.4	
Total	327										
CV		26.41		35.89		25.48		27.31		37.33	

		VP		D1	
Bloque	3	5558.5	NS	0.001	NS
Variedad	3	483402.6	**	0.121	**
Generación	2	80764.7	**	0.006	NS
Cruza	1	6028.1	NS	0.000	NS
VAR*GEN	5	35812.4	**	0.021	NS
VAR*CRUZ	3	28659.3	*	0.003	NS
GEN*CRUZ	1	2.5	NS	0.002	NS
VAR*GEN*CRUZ	1	6542.3	NS	0.003	NS
Error	308	7876.9		0.010	
Total	327				
CV		26.49		11.02	

** y *: Significativo con $p = 0.01$ y $p = 0.05$, respectivamente; NS: No significativo.

Fuente: fuente de variación; VAR*GEN: interacción variedad x generación; VAR*CRUZ: interacción variedad x cruza; GEN*CRUZ: interacción generación x cruza; VAR*GEN*CRUZ: interacción variedad x generación x cruza; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; P10FC1 y P10FC2: peso de 10 frutos en el corte 1 y 2, respectivamente (g); PP10F: peso promedio de 10 frutos (g); V1 y V2: volumen de 10 frutos en el corte 1 y 2, respectivamente (mL); VP: volumen promedio de 10 frutos (mL); D1: densidad de 10 frutos en el corte 1 ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$).

3.3.2. Comparación de medias de las variedades

Manzano ($p = 0.05$) fue la variedad de mayor altura, mientras que las otras no fueron diferentes estadísticamente entre sí. Diamante tuvo el mayor número de bolsas, seguida de Morado, Tecozautla y Manzano. En el rendimiento por planta en el primer corte y rendimiento total Diamante fue superior; para el segundo corte no fue diferente de Morado. En tamaño de fruto en el primer corte y promedio de cortes Tecozautla fue superior; en el segundo corte no fue diferente de Diamante. Con respecto a las variables de volumen, Tecozautla fue superior en las tres. La densidad no fue diferente entre Diamante, Manzano y Morado, pero las tres fueron superiores a Tecozautla (Cuadro 3.3)

Tecozautla fue la variedad de frutos más grandes, pero con menor densidad. Diamante fue la de mayor precocidad y rendimiento. El hábito de crecimiento en Manzano fue más erecto que en las otras. Morado fue la variedad con los frutos de menor tamaño. Esto coincide con lo reportado por Magaña (2019), Sánchez y Peña (2015) y Sánchez (2019).

Cuadro 3.3. Comparación de medias de doce variables evaluadas en cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.).

Variedad	ALT	BOL	RPC1	RPC2	RTP	P10FC1
Tecozautla	25.6 b	6.6 c	0.610 b	0.137 b	0.747 bc	490.0 a
Diamante	24.4 b	11.1 a	0.841 a	0.227 a	1.068 a	402.1 b
Manzano	30.5 a	5.1 d	0.598 b	0.125 b	0.723 c	430.3 b
Morado	23.8 b	7.9 b	0.658 b	0.210 a	0.868 b	294.0 c
DMSH	2.1	1.1	0.110	0.054	0.124	43.3

	P10FC2	PP10F	V1	V2	VP	D1
Tecozautla	238.2 a	364.1 a	590.6 a	287.9 a	439.3 a	0.832 b
Diamante	210.2 ab	306.1 b	420.6 b	221.0 b	320.7 b	0.964 a
Manzano	193.2 b	311.7 b	462.7 b	208.1 b	335.5 b	0.935 a
Morado	154.2 c	224.1 c	311.6 c	163.6 c	237.6 c	0.949 a
DMSH	28.9	31.2	49.6	33.4	35.9	0.041

Medias con la misma letra no son diferentes (Tukey, 0.05).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; ALT: altura de planta (cm); BOL: número de bolsas; RPC1 y RPC2: rendimiento por planta en el corte 1 y 2, respectivamente (kg); RTP: rendimiento total por planta (kg); P10FC1 y P10FC2: peso de 10 frutos en el corte 1 y 2, respectivamente (g); PP10F: peso promedio de 10 frutos (g); V1 y V2: volumen de 10 frutos en el corte 1 y 2, respectivamente (mL); VP: volumen promedio de 10 frutos (mL); D1: densidad de 10 frutos en el corte 1 ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$).

3.3.3. Comparación de medias de las generaciones

Altura de planta no fue diferente entre Generaciones. La Generación 2 presentó el mayor número de bolsas. El rendimiento en el primer corte y promedio de cortes no fue diferente entre la Generación 1 y 2, pero ambas fueron superiores a la Generación 3. El rendimiento en el segundo corte no fue diferente entre Generaciones. La Generación 1 fue superior en el tamaño de fruto de ambos cortes y promedio (P10FC1, P10FC2 y PP10F). De igual manera lo fue en volumen de ambos cortes y promedio, en ambos casos la Generación 2 y 3 no fueron diferentes entre sí. Densidad no fue diferente entre Generaciones (Cuadro 3.4).

En la comparación de medias se observa que el rendimiento, tamaño y volumen de fruto disminuyeron con el paso de las generaciones. Esto es un indicador de depresión endogámica. El rendimiento disminuyó después de la segunda generación, mientras que tamaño y volumen lo hicieron después de la primera.

Para ninguna variable hubo diferencia entre las cruzas fraternales y planta a planta. Por el tipo de familia que genera cada cruce, se esperaba que las variables evaluadas tuvieran menor expresión en las familias derivadas de las cruzas planta a planta, pues el apareamiento entre hermanos completos tiene mayor endogamia que entre medios hermanos (Falconer & Mackay, 1996). Esto puede deberse a que las cruzas se hicieron entre plantas selectas en ambos casos y posiblemente aún presentan alta heterocigosidad. Hallauer, Carena y Miranda (2010) mencionan que el cambio de vigor es directamente proporcional al cambio de heterocigosidad en la población, es decir, que a mayor heterocigosidad el rendimiento también lo es.

Cuadro 3.4. Comparación de medias de doce variables evaluadas en tres generaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.).

Generación	ALT	BOL	RPC1	RPC2	RTP	P10FC1
Generación 1	26.3 a	6.9 b	0.835 a	0.209 a	1.044 a	484.3 a
Generación 2	28.1 a	9.8 a	0.809 a	0.198 a	1.007 a	365.7 b
Generación 3	25.8 a	7.4 b	0.620 b	0.162 a	0.782 b	395.0 b
DMSH	2.3	1.2	0.124	0.060	0.140	48.8

	P10FC2	PP10F	V1	V2	VP	D1
Generación 1	233.8 a	359.0 a	534.6 a	257.6 a	396.0 a	0.912 a
Generación 2	189.2 b	277.4 b	390.0 b	202.8 b	296.3 b	0.941 a
Generación 3	193.5 b	294.3 b	440.1 b	216.2 b	328.2 b	0.915 a
DMSH	32.5	35.1	55.9	37.6	40.4	0.046

Medias con la misma letra no son diferentes (Tukey, 0.05).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; ALT: altura de planta (cm); BOL: número de bolsas; RPC1 y RPC2: rendimiento por planta en el corte 1 y 2, respectivamente (kg); RTP: rendimiento total por planta (kg); P10FC1 y P10FC2: peso de 10 frutos en el corte 1 y 2, respectivamente (g); PP10F: peso promedio de 10 frutos (g); V1 y V2: volumen de 10 frutos en el corte 1 y 2, respectivamente (mL); VP: volumen promedio de 10 frutos (mL); D1: densidad de 10 frutos en el corte 1 (g·mL⁻¹).

3.3.4. Interacción variedad x generación

El rendimiento por planta en el primer corte y rendimiento total disminuyó en Tecozautla y Diamante de la Generación 1 a la Generación 3. El tamaño de fruto en el primer corte y promedio disminuyó en Tecozautla y Diamante después de la Generación 1. En Manzano disminuyó solo en el primer corte e igualmente después de la Generación 1. El volumen de fruto en el primer corte disminuyó en Tecozautla, Diamante y Manzano después de la Generación 1. El volumen promedio solamente disminuyó en Tecozautla y Diamante después de la Generación 1 (Figura 3.1 y Figura 3.2). Para la Generación 2 de Tecozautla no se contó con semilla suficiente para la evaluación *per se* en campo.

En Tecozautla y Diamante todas las variables redujeron su respuesta con el paso de las generaciones. El rendimiento del primer corte y total en Diamante disminuyó después de la Generación 2. El resto de las variables lo hicieron después de la Generación 1. En Manzano solamente el tamaño y volumen de fruto en el primer corte se vio afectado, en

ambos casos después de la Generación 1. Morado no tuvo diferencias entre generaciones en ninguna variable, aunque en todas ellas la Generación 3 fue la de valor más alto, pero no superior estadísticamente.

Con base en lo anterior, se puede decir que la depresión endogámica tuvo mayor efecto en las variedades Tecozautla y Diamante, lo cual puede deberse a su origen, pues ambas fueron derivadas de poblaciones altamente variables, la primera de una variedad nativa y la segunda de una cruce intervarietal (Peña et al., 2014; Sánchez & Peña, 2015).

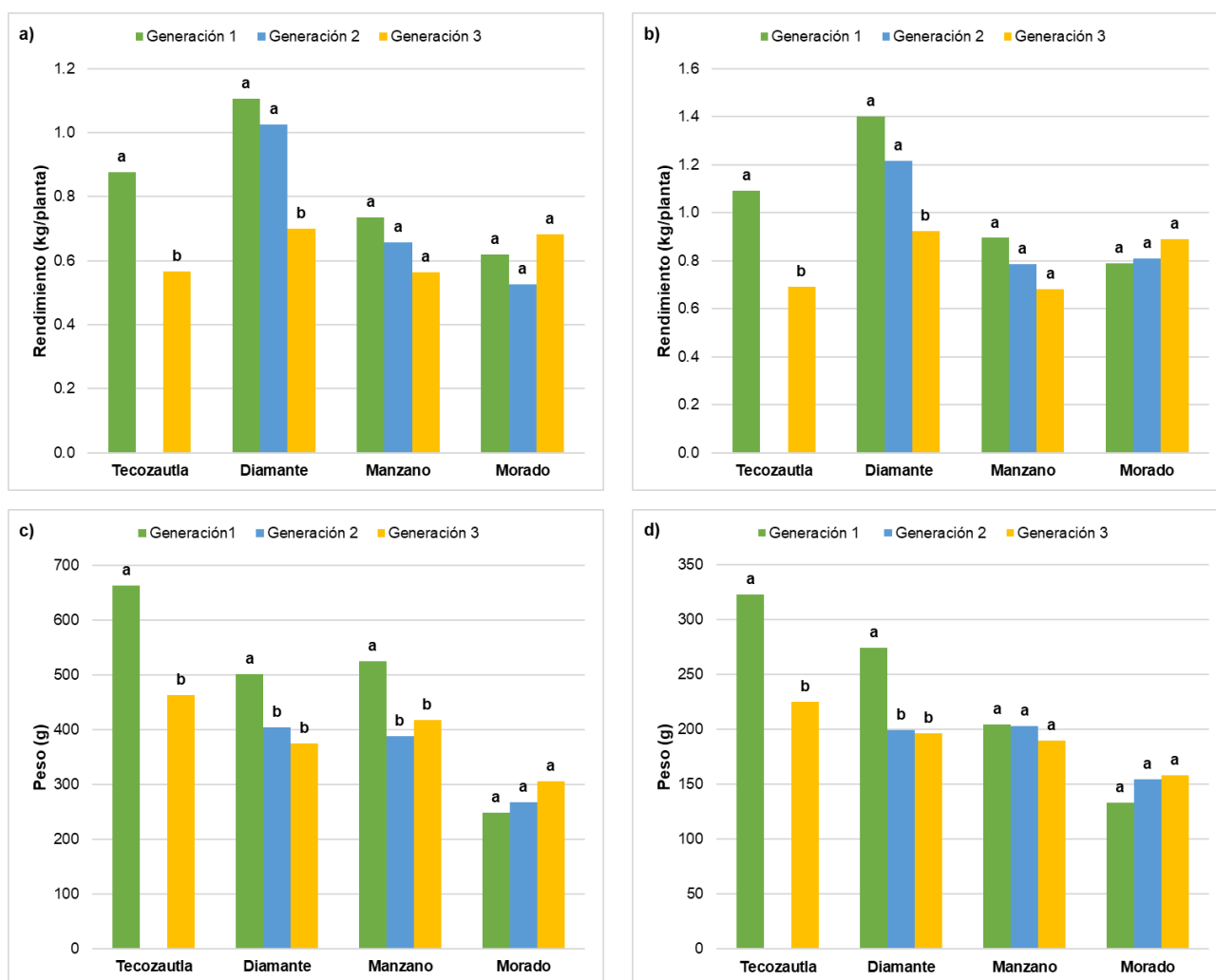


Figura 3.1. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en tres generaciones. Medias con la misma letra no son diferentes (Tukey, 0.05). a) rendimiento por planta en el corte 1; b) rendimiento total por planta; c) y d) peso de 10 frutos en el corte 1 y 2, respectivamente.

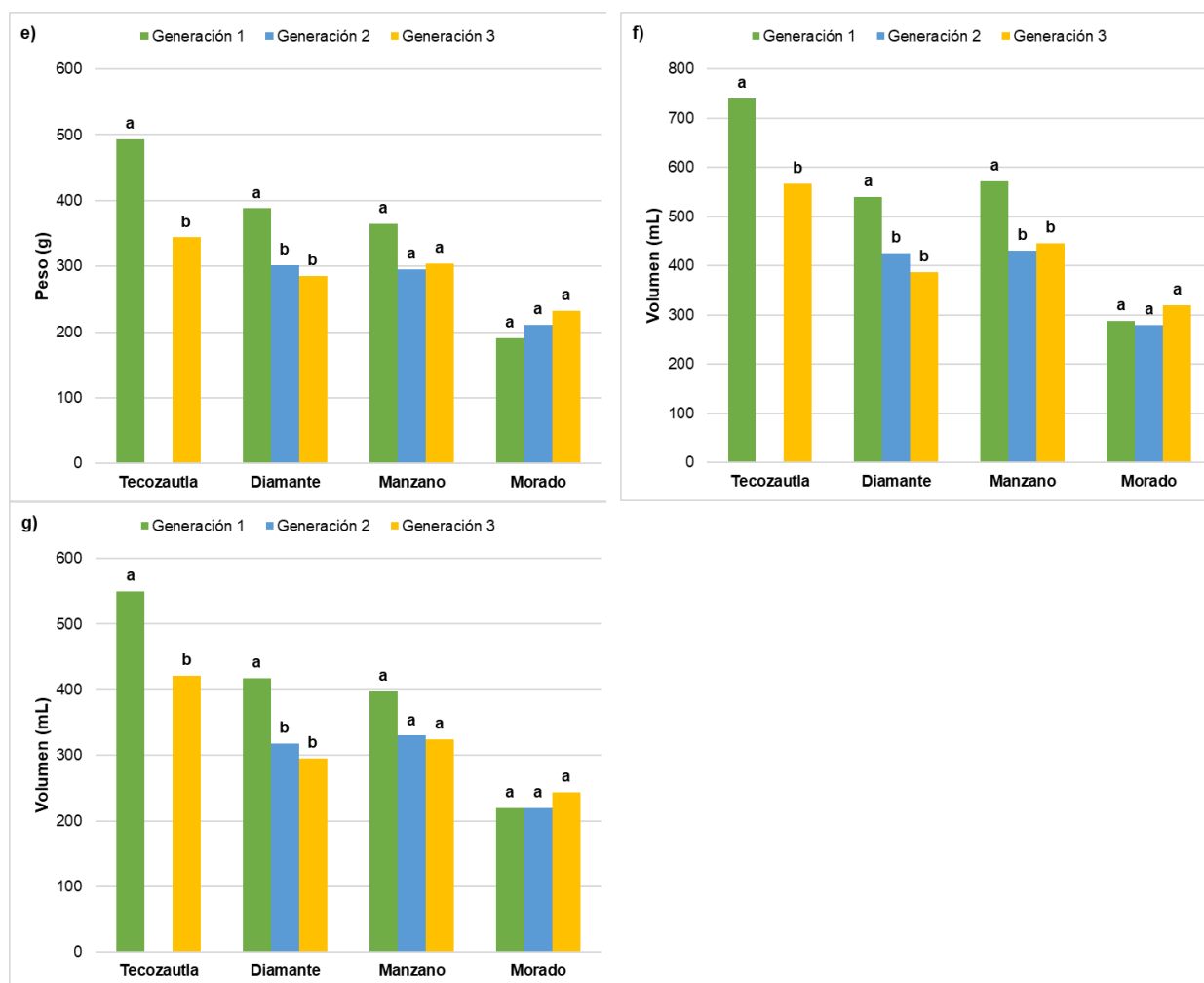


Figura 3.2. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en tres generaciones. (Continuación). Medias con la misma letra no son diferentes (Tukey, 0.05). e) peso promedio de 10 frutos; f) volumen de 10 frutos en el corte 1; g) volumen promedio de 10 frutos.

3.3.5. Interacción variedad x crusa

La altura de planta solamente fue diferente entre tipos de cruza para la variedad Manzano, en la que las plantas obtenidas de cruza planta a planta fueron superiores. El rendimiento en el primer corte fue diferente en Morado donde las plantas obtenidas de cruza fraternales fueron superiores. En el rendimiento total, Diamante fue la variedad que se comportó de manera diferente entre tipos de cruza, donde la crusa fraternal fue superior. El tamaño de fruto en el primer corte fue diferente entre tipo de cruza en

Tecoautla y Morado. En ambos casos la cruza fraternal fue superior. En el tamaño promedio las variedades Tecozautla, Diamante y Morado tuvieron diferencias entre tipo de cruza en donde la fraternal fue superior. El comportamiento fue similar para el tamaño de fruto en el primer corte y promedio. Para la primera variable el tipo de cruza fue diferente en Tecozautla y Morado, mientras que para la segunda fue en Tecozautla, Diamante y Morado. En ambas la cruza fraternal fue superior (Figura 3.3 y Figura 3.4).

Tecoautla tuvo un comportamiento diferente en las variables relacionadas con el tamaño y volumen de fruto. Diamante fue diferente en el rendimiento total y tamaño y volumen promedio de fruto. Manzano solamente fue diferente en altura. Morado tuvo comportamiento diferente en el rendimiento del primer corte y tamaño y volumen del primer corte y promedio. En Tecozautla, Diamante y Morado la cruza fraternal fue superior; en Manzano lo fue la cruza planta a planta.

Que la cruza fraternal sea superior se debe a que al momento de realizar la polinización entran en juego cinco individuos mientras que en la cruza planta a planta son dos. Con un menor número de individuos, aumenta la probabilidad de que parientes cercanos se apareen y que la homocigosis aumente, por lo que la frecuencia de los fenotipos dominantes disminuye y los efectos deletéreos de los alelos recesivos en el fenotipo se expresan. Además de que en las familias de hermanos completos el nivel de endogamia es más alto que en las familias de medios hermanos maternos (Falconer & Mackay, 1996; Hallauer et al., 2010).

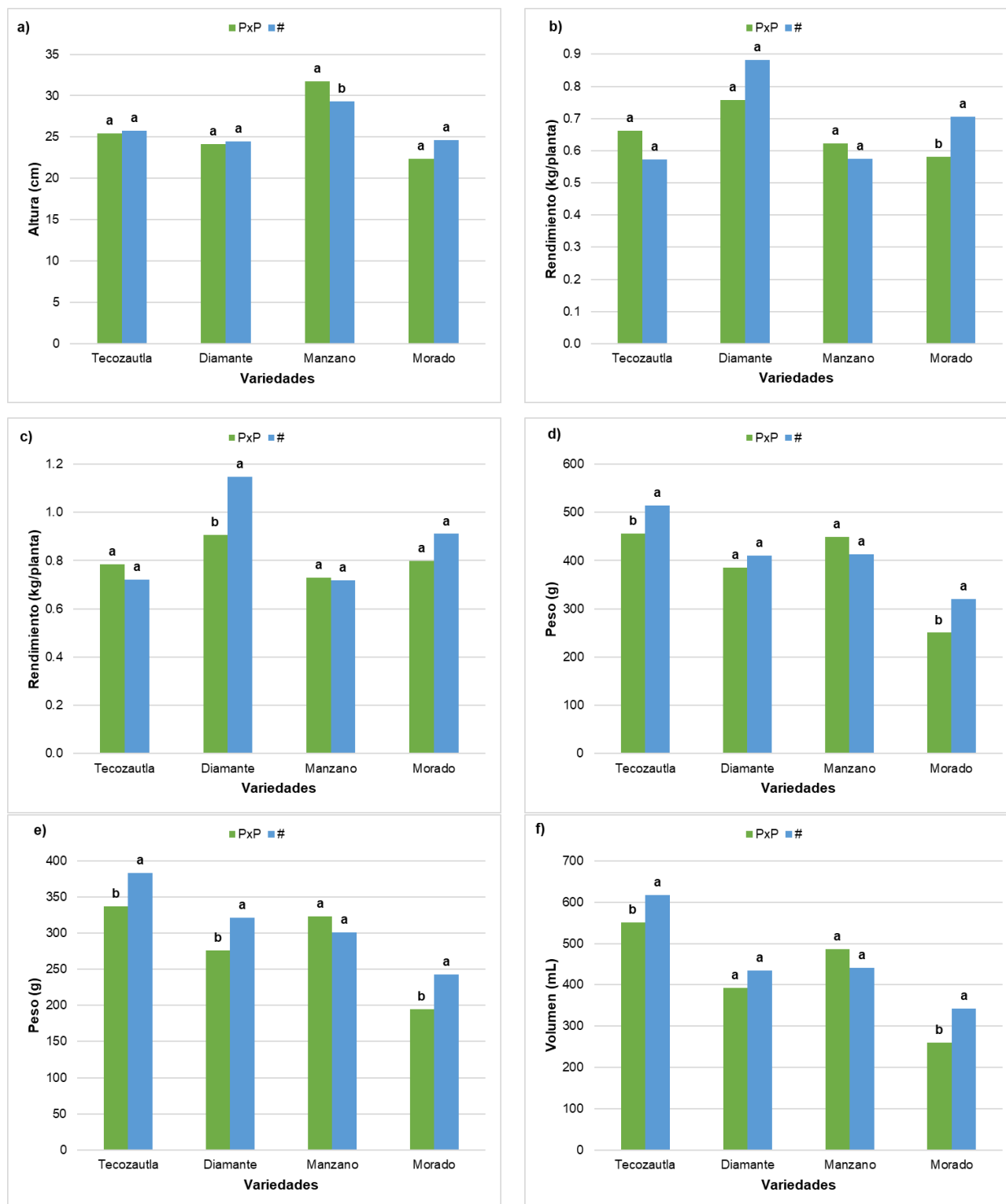


Figura 3.3. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en dos tipos de cruza.

Medias con la misma letra no son diferentes (Tukey, 0.05).

PxP: cruza planta a planta; #: cruza fraternal.

a) altura de planta; b) rendimiento por planta en el corte 1; c) rendimiento total por planta; d) peso de 10 frutos en el corte 1; e) peso promedio de 10 frutos; f) volumen de 10 frutos en el corte 1;

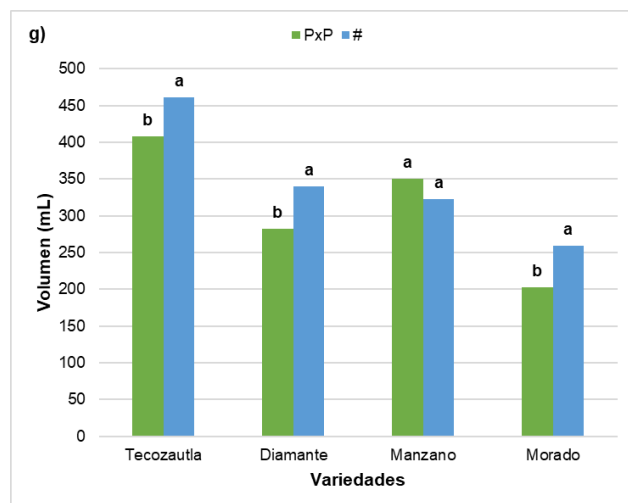


Figura 3.4. Comparación de medias de cuatro variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en dos tipos de cruza. (Continuación).

Medias con la misma letra no son diferentes (Tukey, 0.05).

PxP: cruza planta a planta; #: cruza fraternal.

g) volumen promedio de 10 frutos.

3.4. Conclusiones

Se presentó depresión endogámica entre generaciones. La endogamia tuvo efecto en el rendimiento, tamaño y volumen de fruto, los cuales disminuyeron con el paso de las generaciones.

Las variedades Tecozautla y Diamante presentaron mayor depresión endogámica que Manzano y Morado, pues tuvieron una tendencia decreciente en las variables evaluadas a través de las generaciones.

El tipo de cruza no afectó significativamente de manera general la respuesta de las variables evaluadas, pero el análisis de la interacción variedad x cruza indica que en las variables relacionadas con el tamaño de fruto el comportamiento de las plantas originadas por cruza fraternales fue superior en las variedades Tecozautla, Diamante y Morado.

3.5. Referencias

- Falconer, D. & Mackay, T. (1996). Introduction to quantitative genetics. 4th ed. Essex. Longman.
- Hallauer, A., Carena, M. & Miranda F., J. (2010). Quantitative genetics in maize breeding. New York. Springer.
- Luna V., H. (2019). Propagación *in vitro* de plantas selectas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) para cruza interclonales. Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Magaña L., N., Santiaguillo H., J. F., & Grimaldo J., O. (2011). *El mejoramiento participativo de tomate de cáscara como estrategia de conservación in situ*. México, D.F.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Magaña L., N. (2019). Endogamia y heterosis en cuatro poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex. Horm.). Tesis de Doctorado. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Mulato B., J., Peña L., A., Sahagún C., J., Villanueva V., C. & López R., J. J. (2007) Self-compatibility inheritance in tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Vegetable Crops Research Bulletin* 67: 17-24.
- Pandey K., K. (1957). Genetics of Self-incompatibility in *Physalis ixocarpa*, Brot. a new system. *American Journal of Botany*, 44: 879-887.
- Peña L., A. & Márquez S., F. (1990). Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Revista Chapingo*, 15(71-72): 84-88.
- Peña L., A., Molina G., J. D., Cervantes S., T., Márquez S., F., Sahagún C., J., & Ortiz C., J. (1998). Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1), 31-37.
- Peña L., A., Molina G., J. D., Ortiz C., J., Cervantes S., T., Márquez S., F., & Sahagún C., J. (1999). Heterosis intravarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 22, 199-213.
- Peña L., A., Santiaguillo H., J. F. & Magaña L., N. (2007). Recursos y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Bautista M., N. y

- Chavarín P., C., Eds., *Producción de Tomate de Cáscara*. (pp. 31-71). México. Colegio de Postgraduados.
- Peña L., A., Ponce V., J. J., Sánchez C., F., & Magaña L., N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(4), 381-391.
- Peña L., A., Magaña L., N., Gámez T., A., Mendoza C., F. A. & Pérez G., M. (2018). Manual pollination in two tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) varieties under greenhouse conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24(1): 5-12.
- Sahagún C., J., Gómez R., F. & Peña L., A. (1999). Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 19-23.
- Sánchez M., C. D. (2019). Depresión endogámica en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Sánchez M., J. & Peña L., A. (2015). Variedades de uso común; un breve mirar a la riqueza mexicana. Vol. II Tomate de Cáscara. SAGARPA- SNICS- SINAREFI.
- Santiaguillo H., J. F., Cervantes S., T. & Peña L., A. (2004). Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta x planta entre dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 85-91.
- Santiaguillo H., J. F., Vargas P., O., Grimaldo J., O., Magaña L., N., Caro V., J. F., Peña L., A., & Sánchez M., J. (2012). *Diagnóstico del tomate de cáscara*. México, D.F.: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas - Universidad Autónoma Chapingo.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Cierre de la producción agrícola. Consultado 07-10-2019 en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Nueva York, USA: International Society for Soilless Culture