

Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto

L.R. Luna-García¹, V. Robledo-Torres^{1,*}, M.E. Vásquez-Badillo³,
F. Ramírez-Godina² y R. Mendoza-Villarreal¹

¹ Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México

² Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México

³ Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México

Resumen

Este trabajo se realizó en Buenavista Saltillo, Coahuila, México, con el objetivo de estimar la heterosis y heterobeltiosis de híbridos de chile para producción en invernadero. El material vegetal utilizado fue: chile Jalapeño Mitla, criollo Mirador y chile Tampiqueño 74, como progenitores hembra, además de cinco cultivares de chile pimienta: UANRd, UANYw, UANOg, UANCn y UANShw, como progenitores macho. Los híbridos obtenidos y sus progenitores fueron cultivados bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se estimaron las variables: rendimiento total de fruto, frutos por planta, peso promedio de fruto, contenido de ácido ascórbico, carotenoides totales, contenido de capsaicina, días a floración, días a cosecha y altura de planta. Los análisis de varianza exhibieron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre híbridos y progenitores en todas las variables estudiadas. En rendimiento total de fruto, el híbrido $P_1 \times P_5$ superó en 333% la media de los progenitores hembra y en 159% a los progenitores macho, mientras que el $P_2 \times P_6$ superó en 104% la media de número de frutos por planta de los progenitores hembra y en 725% a la media de los progenitores macho. Los progenitores machos presentaron mayor contenido de ácido ascórbico y carotenoides totales, mientras que las hembras la mayor cantidad de capsaicina. Los híbridos formados presentaron cantidades intermedias en ácido ascórbico y capsaicina. Por lo tanto se concluye que los híbridos intraespecíficos obtenidos presentan características de rendimiento y calidad sobresalientes para su producción en invernadero que deben de ser confirmadas en sucesivos ensayos.

Palabras clave: *Capsicum annum*, producción en invernadero, heterobeltiosis, diversidad genética, componentes del rendimiento, nutraceuticos.

Abstract

Hybridization between different types of chilis and estimation of heterosis for yield and fruit quality

This work was carried out in Buenavista Saltillo, Coahuila, Mexico, with the objective of estimating the heterosis and heterobeltiosis of hybrids of chile, for greenhouse production. The plant material used was: chili Jalapeño Mitla, creole Mirador and chili Tampiqueño 74 as female, five cultivars of chili peppers: UANRd, UANYw, UANOg, UANCn and UANShw as male progenitors. The obtained hybrids and their progenitors were cultivated under a randomized complete block experimental design with three repli-

* Autor para correspondencia: robledo3031@gmail.com

<https://doi.org/10.12706/itea.2018.008>

cates. Those variables were estimated; total yield of fruit, fruits per plant, average fruit weight, ascorbic acid content, total carotenoids, capsaicin content, flowering days, harvest days and plant height. Analysis of variance showed significant differences ($P < 0.01$) between hybrids and progenitors in all studied variables. In total yield of fruit, the $P_1 \times P_5$ hybrid exceeded the average of the female progenitors by 333% and the male progenitors by 159%, while the $P_2 \times P_6$ exceeded the average fruits per plant of the female progenitors by 104% and by 725% on the mean of Male progenitors. The male parents presented more ascorbic acid content and total carotenoids, while the females had the highest content of capsaicin. The hybrids formed had intermediate amounts in ascorbic acid and capsaicin. Therefore, it is concluded that the obtained hybrids present outstanding performance and quality characteristics for their greenhouse production despite the results have to be confirmed in further trials.

Keywords: *Capsicum annuum*, greenhouse production, heterobeltiosis, genetic diversity, components of yield, nutraceuticals.

Introducción

El chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los principales cultivos hortícolas a nivel mundial, su importancia radica en que es una hortaliza muy cotizada y consumida mundialmente (Laborde-Cansino y Pozo-Campodónico, 1984). En 2015 la producción mundial de chile fue de 28.405.270 toneladas (FAO, 2015), constituyendo el 92% del total de la producción el chile fresco. China produce el 54% de la producción mundial de chile fresco, seguido por México con un 6,5%; con una producción neta de más de 2.700.000 toneladas. México ocupa el primer lugar en exportaciones a países como Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania (SAGARPA, 2015). Sin embargo, cada día es más difícil cubrir las crecientes demandas del mercado, por lo que se requieren genotipos innovadores y de alto potencial genético que se adapten a condiciones de ambiente controlado, garantizando alta calidad y rendimiento de fruto y el cultivo de hortalizas tiene cada vez más relevancia debido a la necesidad de diversificación y de mejorar la calidad de los productos alimenticios (Rodríguez et al., 2007), además de satisfacer dichas demandas.

Actualmente el rendimiento promedio a nivel nacional mexicano de chile verde es de $18,27 \text{ t ha}^{-1}$ (SIAP-SAGARPA, 2016), siendo el estado de Sinaloa el mayor productor con 39 t ha^{-1} , considerándose bajo en relación con el

potencial productivo, ya que se reportan rendimientos experimentales de $65,4 \text{ t ha}^{-1}$ (Duarte et al., 2012). Surge entonces la necesidad de trabajar en el mejoramiento genético de la especie, con la finalidad de desarrollar genotipos mejorados para producción intensiva en invernadero, puesto que no existen genotipos de Jalapeño, Mirador y/o Serrano de estas características y es mediante esta tecnología donde se obtienen mayores rendimientos y mejor calidad de frutos. De esta forma, además se puede producir cuando no es posible hacerlo a campo abierto, lo anterior se traduce en mejores precios en el mercado (Macías et al., 2003).

México es el centro de origen de *C. annuum* y posee una amplia diversidad que oscila entre 50 tipos diferentes, entre los que destacan Jalapeño, Serrano y Pimiento. Se considera como una de las especies que exhibe mayor variabilidad de ejemplares cultivados, presentando amplia diversidad de formas, tamaños, colores, rangos de maduración y grado de pungencia (Valadez, 1998), lo cual constituye un excelente recurso para el mejoramiento genético (Laborde-Cansino y Pozo-Campodónico, 1984; Bosland, 1994).

La hibridación como método de mejoramiento genético puede ser útil en la obtención de genotipos de alto rendimiento y calidad de fruto, aprovechando la capacidad combinatoria y heterosis (Pérez-Grajales et al., 2009).

La explotación de la heterosis se ha reconocido como una herramienta práctica que provee a los mejoradores de un medio para incrementar el rendimiento u otros caracteres económicos importantes (Seneviratne y Kanngara, 2004). Se considera que en *Capsicum* la heterosis es alta (Sousa y Maluf, 2003), esto es debido a la amplia variedad de genotipos que existen de este género en México, tanto en variantes cultivadas, semicultivadas como silvestres, mismas que pueden aprovecharse para formar híbridos locales y nacionales.

Además, actualmente un porcentaje importante de semilla híbrida que usan los productores proviene de empresas transnacionales a costos elevados, por lo que el mejoramiento genético de chile es cada vez más relevante, ya que no existen híbridos de chile Jalapeño, Mirador y/o Serrano de alto rendimiento y alta calidad nutricional para producción en ambientes protegidos. Por ello se planteó el siguiente objetivo: obtener híbridos intraespe-

cíficos, con potencial para su producción en invernadero y estimar la heterosis y heterobeliosis en los híbridos formados.

Material y métodos

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicada a 25°21'19" latitud norte, 101°01'48" longitud oeste, a una altura de 1779 msnm en Buenavista Saltillo, Coahuila (Servicio Meteorológico Nacional, 2014).

El material vegetal utilizado fueron diferentes tipos de *C. annuum* descritos en la tabla 1, con los cuales se realizaron cruces directos, ya que los recíprocos no prosperaron, lo cual ya se había observado en trabajos previos, en los cuales también se observó el buen comportamiento de los genotipos utilizados en esta investigación (Alejandro-Rojas, 2014).

Tabla 1. Material genético utilizado como progenitores de *Capsicum annuum*
Table 1. Genetic material used as progenitors of *Capsicum annuum*

Progenitores	Tipo	Origen
Hembras		
P ₁ . Cultivar Mitla	Jalapeño	Comercial
P ₂ . Criollo Mirador	Mirador	Criollo, Veracruz
P ₃ . Tampiqueño 74	Serrano	Comercial
Machos		
P ₄ . UANOg	Pimiento Naranja	Selección
P ₅ . UANRd	Pimiento rojo	Selección
P ₆ . UANShw	Pimiento verde	Selección
P ₇ . UANYw	Pimiento amarillo	Selección
P ₈ . UANCn (Capistrano)	Pimiento verde	Comercial

La evaluación agronómica se realizó en un invernadero tipo multitúnel con cubierta plástica, el cual cuenta con extractores, calefactores, estación meteorológica, pared húmeda y control de temperatura; registrando mínimas de 18°C y máximas de 36°C y una humedad relativa promedio de 60%.

Formación de híbridos

Los progenitores se sembraron en bandejas de semillero de poliestireno de 200 cavidades, usando como medio de germinación Turba de Sphagnum Premier (Angeles Millwork & Lumber Co USA) y perlita en una proporción 80:20 respectivamente. A los 45 días después de la siembra se realizó el trasplante en camas con acolchado plástico negro y cintilla para riego localizado, las camas con 25 cm de altura y una separación de 1,60 m; 30 cm entre plantas. El riego por goteo inicial fue de 0,75 l planta⁻¹ día⁻¹, con un incremento paulatino hasta llegar a 3,5 l planta⁻¹ día⁻¹, la nutrición fue con solución Steiner en el agua de riego a lo largo del ciclo del cultivo.

Al inicio de la floración (febrero de 2015) se realizaron los cruzamientos planta a planta de forma manual, pasando polen de las plantas machos a las flores de las plantas hembras previamente emasculadas. Las polinizaciones se realizaron diariamente de las 7:00 a 10:00 h y cada flor polinizada fue cubierta, para evitar polinización no deseada, y etiquetada indicando los progenitores utilizados. Cuando los frutos resultantes de los cruces alcanzaron su madurez fisiológica, se cortaron y almacenaron de 10 a 15 días a la sombra y a temperatura ambiente con el objetivo de favorecer y obtener la madurez completa de las semillas, luego se procedió a la extracción de las mismas. Las semillas fueron secadas a la sombra a temperatura ambiente durante 10 días y posteriormente conservadas en sobres de papel estraza hasta su siembra.

Establecimiento en campo y manejo del cultivo, de híbridos y progenitores

La semilla híbrida resultante y las de sus progenitores se sembraron en agosto de 2015 de la misma forma que en el primer ciclo. Cuando las plántulas tuvieron 12 cm de altura y 50 días después de la siembra, fueron establecidas en camas elevadas de 25 cm y de 1,60 m de ancho, con acolchado plástico de color negro y riego por goteo. Se establecieron a doble hilera en forma de tresbolillo con 40 cm entre plantas, resultando una densidad de 41.665 plantas ha⁻¹. El trabajo fue establecido bajo un diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones. Cada parcela experimental fue constituida por 10 plantas y como parcela útil 3 plantas con competencia completa; se tomaron las plantas del centro para reducir el efecto de orilla. Al cultivo se le realizaron riegos cada tercer o cuarto día, dependiendo de las necesidades del cultivo, y se realizaron aplicaciones de fertilizantes foliares para corregir deficiencias por algún elemento. Además se realizaron podas, tutoros, fertilizaciones y para la prevención y control de mosca blanca, paratrioza (pulgón saltador) y trips, se usaron imidaclopid 30,7% y metomilo 54%. Para prevenir las enfermedades se aplicó mancozeb + metalaxil +cloratonil 32,1%, tecto 60 23,34%; estos productos se aplicaron mensualmente, para evitar la resistencia de plagas y enfermedades a los productos químicos.

Mediciones de componentes de rendimiento

La cosecha de los progenitores e híbridos se inició a los 88 días después del trasplante, realizando hasta 17 cortes en los genotipos más rendidores, con una separación de diez días entre cortes. Para estimar el rendimiento total de fruto (RTF) se pesaron en una balanza electrónica (VELAB, Scientific, México) con

capacidad de 1 kg y una precisión de 0,001kg, se sumó el peso de fruto obtenido a lo largo del ciclo del cultivo. El número de frutos por planta (NFP) fue estimado mediante el conteo de todos los frutos cosechados a lo largo del ciclo de producción y dividido entre el número de plantas cosechadas, mientras que el peso promedio de fruto (PPF) se estimó dividiendo el peso total de fruto entre el número de frutos cosechados.

Mediciones de calidad de fruto

Las variables de calidad del fruto fueron determinadas en el Laboratorio de Nutrición Vegetal y Cultivo de Tejidos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, usando frutos frescos para cada una.

El contenido de ácido ascórbico (CAA) en los frutos de los progenitores e híbridos F₁, fue estimado mediante la metodología de la AOAC (2000) por medio de titulación al cambio de color.

Para la cuantificación de los carotenos totales (CT), se utilizó la técnica descrita por Silverstein *et al.* (1998), basada en el método colorimétrico, con un espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis (Thermo Scientific, Estados Unidos) el cual fue ajustado a una longitud de onda de 454 nm para cuantificar la absorbancia de las muestras analizadas, las cuales se leyeron por triplicado y el contenido se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mg/ 0,1 Kg} = \frac{\% \text{ ABS}_{454} \times 3,85 \times V \times 100}{P}$$

Donde:

%ABS₄₅₄ = Porcentaje de absorbancia a 454nm

V = Volumen medido en la probeta

P = Peso de la muestra en gramos

La cuantificación del contenido de capsaicoides (CAPs) fue determinada en frutos de chile en la etapa de madurez fisiológica por el método descrito por Bennett y Kirby (1968), en un espectrofotómetro Bio-145025 BIOMATE-5 (Thermo Electron Corporation, Madison, USA) a una longitud de onda de 286 nm. Para determinar la concentración de capsaicina en las muestras se construyó una curva de calibración de este compuesto (Sigma, Co.) dentro de un rango de 0 a 0,40 mg ml⁻¹. Las lecturas se realizaron por triplicado para cada muestra y el contenido de capsaicina se expresó en unidades Scoville (SHU).

Estimación de variables agronómicas

Para la estimación de días a floración (DAF) y días a cosecha (DAC) se contabilizaron los días transcurridos desde que se trasplantaron los genotipos hasta el día en que se presentó la primera florescencia de cada planta y hasta el día en que se cosecharon los primeros frutos, respectivamente. Mientras que para la de altura de planta (ADP) se midió cada quince días el progreso del crecimiento de las plantas con una cinta métrica, tomada desde la base del tallo hasta el ápice de la planta.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó por medio del programa SAS versión 9.1, con una prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0,05) y la estimación de heterosis se consideró como la relación entre el promedio del valor del híbrido con el promedio de sus progenitores correspondientes, expresada en términos porcentuales y la heterobeltiosis (o trasgresividad híbrida) se estimó como la superioridad del híbrido sobre el mejor progenitor también en escala porcentual (Fonseca y Patterson, 1968), como se indica a continuación:

$$H = \frac{\text{HETEROSIS}}{(P_1 + P_2) / 2} \times 100$$

HETEROBELTIOSIS

$$H' = \frac{F_1 - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

F_1 = Promedio del híbrido

P_1 = Promedio del progenitor materno

P_2 = Promedio del progenitor paterno

P_s = Promedio del mejor progenitor

Resultados y discusión

Rendimiento y componentes del rendimiento

Los análisis de varianza aplicados a progenitores e híbridos exhibieron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre híbridos y progenitores en RTF, NFP y PPF, lo que sugiere la existencia de variabilidad genética de utilidad para desarrollar variedades superiores en Chile.

La comparación de medias (Tabla 2) muestra que el híbrido $P_1 \times P_5$ fue el que presentó el mayor rendimiento por planta con 3584 g pl^{-1} , aunque no fue significativamente distinto al resto de los híbridos estudiados. El híbrido que presentó el menor RTF fue el híbrido $P_1 \times P_7$ con un rendimiento de 1980 g pl^{-1} . Los híbridos $P_1 \times P_5$ y $P_2 \times P_6$ fueron significativamente superiores a todos los progenitores estudiados, resultando genotipos prometedores para el desarrollo de variedades de Chile Jalapeño y Mirador para su producción en invernadero, ya que el híbrido $P_1 \times P_5$ superó en 333% la media de los progenitores hembras y en 159% a los progenitores macho.

Los resultados obtenidos permiten inferir que la combinación adecuada de genes consiguió

incrementar el rendimiento de forma significativa, ya que hubo la expresión de vigor híbrido en las progenies obtenidas y estudiadas. En este sentido Martínez-Sánchez *et al.* (2010) menciona que el comportamiento sobresaliente en los componentes de rendimiento es debido a que las plantas fueron estudiadas bajo condiciones de invernadero y estas condiciones favorecieron la expresión de los genes relacionados con el rendimiento de fruto. Duarte *et al.* (2012) logró la mayor producción y calidad de Jalapeño variedad Mitla, al usar gallinaza + 80N en invernadero, logrando un rendimiento de 65,2 t ha^{-1} , muy por encima de los rendimientos promedios de Chile verde bajo condiciones de campo abierto de 18,27 t ha^{-1} (SIAP-SAGARPA, 2016).

La tabla 2 muestra que el híbrido $P_2 \times P_6$ presentó la mayor cantidad de NFP con un total de 120,6 frutos, el cual fue significativamente superior a todos los progenitores machos, al progenitor hembra Mirador y al híbrido $P_1 \times P_7$, sin embargo no fue significativamente diferente del resto de los híbridos. El híbrido $P_2 \times P_6$ superó en 104% a la media de producción de fruto de los progenitores hembra y en 725% a los progenitores macho, por lo tanto este híbrido se confirma como uno de los más prometedores para el desarrollo de una variedad de *C. annuum* para producción en invernadero. Tanto el híbrido $P_1 \times P_5$ como el $P_2 \times P_6$ coinciden con el mayor NFP y ADP, lo cual indicaría que el mayor desarrollo de la planta indujo mayor desarrollo de yemas reproductivas y por lo tanto mayor RTF.

Para la variable PPF se encontró que los progenitores macho presentaron los mayores valores, todos fueron significativamente iguales excepto el progenitor macho UANCn, superando significativamente a los progenitores hembra y a los híbridos, estos últimos tuvieron un peso promedio similar a los progenitores hembra. Los PPF de progenitores hembra oscilan entre 9,2 y 19,6 g mientras que los progenitores macho fluctúan entre

Tabla 2. Valores medios del rendimiento y componentes del rendimiento de fruto, de híbridos y progenitores de *Capsicum annuum*
 Table 2. Mean values of fruit yield and yield components, of hybrids and progenitors of *Capsicum annuum*

Progenitores	RTF (g planta ⁻¹)	NFP	PPF (g)
Hembras			
P ₁ . Mitla	1098 ^{bc}	56,9 ^{abcd}	19,6 ^{de}
P ₂ . Mirador	551 ^c	50,6 ^{bcd}	9,2 ^e
P ₃ . Tampiqueño	831 ^c	69,7 ^{abcd}	12,0 ^e
Machos			
P ₄ . UANOg	1664 ^{bc}	17,5 ^{cd}	94,4 ^{ab}
P ₅ . UANRd	1482 ^{bc}	18,7 ^{cd}	86,4 ^b
P ₆ . UANShw	1243 ^{bc}	12,1 ^d	105,1 ^{ab}
P ₇ . UANYw	1293 ^{bc}	13,0 ^d	98,6 ^{ab}
P ₈ . UANCn	1227 ^{bc}	11,5 ^d	105,6 ^a
Híbridos			
P ₁ xP ₄	2586 ^{abc}	71,2 ^{abcd}	37,3 ^{cd}
P ₁ xP ₅	3584 ^a	93,7 ^{ab}	38,1 ^c
P ₁ xP ₆	2991 ^{ab}	117,9 ^{ab}	26,6 ^{cde}
P ₁ xP ₇	1980 ^{abc}	52,0 ^{bcd}	37,2 ^{cd}
P ₂ xP ₄	2764 ^{abc}	111,4 ^{ab}	25,3 ^{cde}
P ₂ xP ₅	2828 ^{abc}	91,7 ^{abc}	30,4 ^{cde}
P ₂ xP ₆	3247 ^a	120,6 ^a	27,7 ^{cde}
P ₃ xP ₄	2633 ^{abc}	98,2 ^{ab}	26,9 ^{cde}
P ₃ xP ₈	2781 ^{abc}	110,1 ^{ab}	25,2 ^{cde}
DSM	2349,8	89,32	18,78

RTF = Rendimiento Total del Fruto; NFP = Numero de frutos por planta; PPF = Peso promedio de fruto DSM = Diferencia Significativa Mínima.

Columnas con letras diferentes son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba Tukey (P<0,05).

86,4 y 105,6 g y los híbridos tienen pesos que van desde 25,2 a 38,1 g lo cual se atribuye a una recombinación de genes entre las poblaciones parentales.

Calidad de fruto

Algunas características de interés en las hortalizas, son los compuestos bioquímicos que al ser consumidos repercuten en la salud humana, como es el caso del contenido de ácido ascórbico, carotenoides totales y contenido de capsaicina. El análisis de varianza realizado a estas variables mostró diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre progenitores e híbridos.

Todos los progenitores macho fueron significativamente iguales en CAA, exhibieron una media de 186,8 mg/0,1 Kg de fruto y solamente los híbridos $P_3 \times P_4$ y $P_3 \times P_8$ presentaron cantidades significativamente iguales a los progenitores macho (Tabla 3). Los progenitores hembras Mitla y Mirador presentaron cantidades de CAA significativamente inferiores a los progenitores machos pero estadísticamente iguales a los híbridos estudiados. Los dos híbridos con altos CAA podrían ser la base para incrementar este metabolito, el cual es un antioxidante que protege las células contra daños causados por los radicales libres, entre otras propiedades en la salud humana. Dada su importancia, es viable considerarlo en las estrategias de mejoramiento genético de hortalizas para el desarrollo de productos hortícolas de mejor calidad para el consumidor. Los datos observados en relación a CAA muestran grandes diferencias entre los progenitores maternos, paternos e híbridos, indicando la gran variabilidad en relación a esta variable. La tabla 3 muestra que los progenitores paternos fueron ricos en este compuesto con rangos que van de 172,2 a 201,9 mg/0,1 Kg de fruto, siendo el progenitor UANRd el que presentó mayor valor y fue significativamente diferente de los progenitores maternos que oscilaron entre 55,8 y 101,2 mg/0,1 Kg, mientras

que los híbridos presentaron valores intermedios con rangos de 89,4 mg/0,1 Kg para el híbrido $P_1 \times P_6$, a 129,7 mg/0,1 Kg de fruto en el $P_3 \times P_8$ que fue el de mayor CAA.

En relación al contenido de CT, cuatro de los progenitores macho y el progenitor hembra Mitla presentaron las mayores cantidades, con un rango de 6430 a 7498 mg/0,1 Kg, los progenitores dentro de este rango fueron significativamente superiores al progenitor Mirador y a todos los híbridos estudiados. Es importante señalar que estos metabolitos actúan como antioxidantes en la salud humana, por lo tanto en el desarrollo de nuevos híbridos es relevante el incremento de estos pigmentos. Los híbridos formados manifestaron valores inferiores a los observados en los progenitores paternos, lo cual infiere que está involucrada la herencia materna de estos caracteres, presentando características similares al progenitor materno. Trujillo-Contreras (2011) trabajando con chile Serrano encontró que manejar su cultivo bajo un sistema de invernaderos más una fertilización química integral aumentó el contenido de antioxidantes, coincidiendo con Caldari (2007) que encontraron que estos antioxidantes pueden alterarse por las características que brinda un cultivo bajo invernadero, lo cual podría explicar los resultados obtenidos para estas variables, ya que los progenitores hembra utilizados nunca se habían cultivado dentro de un ambiente protegido y eso pudo influir en el cambio de concentración de estos compuestos.

Con respecto al contenido de CAPs, se encontró que los progenitores hembras tuvieron cantidades significativamente superiores a los progenitores macho (Tabla 3), mientras que de los híbridos se encontraron seis que fueron significativamente iguales a los progenitores hembra y tres que fueron significativamente iguales a los progenitores macho. El contenido medio de CAPs en los progenitores hembra fue de 11734 SHU, el contenido de los progenitores machos presentaron una

Tabla 3. Valores medios de variables de calidad de fruto de progenitores e híbridos de *Capsicum annuum*

Table 3. Mean values of fruit quality variables of progenitors and hybrids of *Capsicum annuum*

Progenitores	CAA (mg/0,1Kg)	CT (mg/0,1Kg)	CAPs (SHU)
Hembras			
P ₁ . Mitla	74,9 ^f	6430 ^{ab}	11685 ^{abc}
P ₂ . Mirador	55,8 ^f	742 ^c	11381 ^{abc}
P ₃ . Tampiqueño	101,3 ^{bcdef}	5494 ^b	12138 ^a
Machos			
P ₄ . UANOg	184,6 ^{abcd}	7498 ^a	939 ^d
P ₅ . UANRd	201,9 ^a	7073 ^a	845 ^d
P ₆ . UANShw	187,3 ^{abc}	7477 ^a	740 ^d
P ₇ . UANYw	172,2 ^{abcde}	5055 ^b	547 ^d
P ₈ . UANCn	187,9 ^{ab}	6454 ^{ab}	713 ^d
Híbridos			
P ₁ xP ₄	108,7 ^{bcdef}	1725 ^c	9375 ^{abc}
P ₁ xP ₅	109,4 ^{bcdef}	1764 ^c	5952 ^{cd}
P ₁ xP ₆	89,4 ^{ef}	1589 ^c	7385 ^{abc}
P ₁ xP ₇	96,1 ^{def}	1380 ^c	6253 ^{bcd}
P ₂ xP ₄	109,2 ^{bcdef}	1370 ^c	7785 ^{abc}
P ₂ xP ₅	110,2 ^{bcdef}	1765 ^c	5950 ^{cd}
P ₂ xP ₆	98,9 ^{cdef}	2081 ^c	8797 ^{abc}
P ₃ xP ₄	120,3 ^{abcdef}	1616 ^c	7862 ^{abc}
P ₃ xP ₈	129,8 ^{abcdef}	1761 ^c	12003 ^{ab}
DMS	88,77	1545,6	5791,7

CAA = Contenido de ácido ascórbico; CT = Carotenos totales; CAPs = Contenido de Capsaicina; SHU = unidades Scoville; DSM = Diferencia Significativa Mínima.

Columnas con letras diferentes son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba Tukey (P<0,05).

media de 756 SHU, la media de los híbridos fue de 7909 SHU, es decir, que en promedio los progenitores hembra superaron en un 93% en el contenido de CAPs a los progenitores macho y en 32% a los híbridos. Lo observado anteriormente indica que en relación a pungencia si hubo participación de ambos progenitores, aunque el híbrido $P_3 \times P_8$, presentó una pungencia similar a su progenitor femenino con un valor de 12003 SHU, lo cual puede ser de utilidad si se quieren formar híbridos o variedades de chile Jalapeño para invernadero.

Variables Agronómicas

En la variable DAF se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre progenitores e híbridos, donde los progenitores fueron significativamente más tardíos que los híbridos, los progenitores presentaron un promedio de 55,4 días a floración mientras que los híbridos en promedio 27,5, por lo tanto los híbridos fueron 50% más precoces que los progenitores. El híbrido $P_1 \times P_7$ fue el que presentó mayor precocidad, llegando a la floración a los 20,6 días después del trasplante, adelantándose en 27,2 días respecto al progenitor más precoz (Tabla 4). Esta característica es de suma relevancia ya que está relacionada con una producción temprana de fruto, reduciendo significativamente los costos a inicio de cosecha en la producción en invernadero y proporcionando cosechas más tempranas que pueden competir mejor en el mercado. De los progenitores macho el pimiento UANYw fue el que presentó la mayor precocidad a inicio de floración el cual fue cruzado con el progenitor hembra Mitla, que fue el más precoz de todos los progenitores, por lo tanto se infiere que heredaron dicha característica a su F_1 . El progenitor hembra más tardío fue el Mirador alcanzando su primera floración a los 74,2 días mientras que el progenitor macho más tardío fue el UANShw

llegando a la floración a los 57,5 días después del trasplante, lo anteriormente citado muestra la gran variabilidad respecto a esta característica contrastando con lo observado por Montañó-Mata y Belisario-Ramos (2012), quienes encontraron que el genotipo más precoz inició la floración a los 27,0 días mientras que el más tardío a los 35,0 días. Sin embargo, la información obtenida en el presente trabajo coincide más con lo reportado por Hernández-Pérez *et al.*, (2011) ya que ellos reportan que sus cultivares iniciaron la floración en promedio a los 52,4 días después del trasplante. La precocidad conseguida en los híbridos tienen como principales ventajas adelantar cosechas así como evadir algunas plagas y/o enfermedades, ya que algunas plagas y enfermedades son más severas en ciertas épocas del año, logrando con ello menos aplicación de insecticidas y mayores cosechas de mayor calidad.

En los DAC también se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre progenitores e híbridos. El progenitor UANRd fue el más tardío, aunque fue significativamente igual a cuatro progenitores más y tres híbridos, en un segundo grupo quedaron siete progenitores y ocho híbridos, que fueron significativamente iguales, mientras que en un tercer grupo quedó el híbrido $P_2 \times P_5$, aunque este fue significativamente igual a cinco progenitores y ocho híbridos. Los progenitores presentaron en promedio 133,9 días a cosecha mientras que los híbridos 116,7 días, donde el híbrido $P_2 \times P_5$ fue el más precoz ya que a los 88,5 días después del trasplante se inició la cosecha en este híbrido y en sus progenitores, hembra y macho, a los 139,0 y 173,7 días, respectivamente. En los progenitores se observó una diferencia de 57,0 días entre el más precoz y el más tardío, mientras que en los híbridos fue de 44,0 días, que es una diferencia de 13,0 días; lo antes citado muestra que son rangos muy amplios entre los genotipos estudiados (Tabla 4), difiriendo con lo descrito por

Tabla 4. Valores medios de variables agronómicas de progenitores e híbridos de *Capsicum annuum*
 Table 4. Mean values of agronomic variables of progenitors and hybrids of *Capsicum annuum*

Progenitores	DAF	DAC	ADP (Cm)
Hembra			
P ₁ . Mitla	47,7 ^{abcde}	139,0 ^{ab}	116 ^{bcde}
P ₂ . Mirador	74,1 ^a	138,0 ^{ab}	100 ^{cde}
P ₃ . Tampiqueño	55,0 ^{abcd}	130,4 ^{abc}	144 ^{abcde}
Machos			
P ₄ . UANOg	54,7 ^{abcd}	120,5 ^{bc}	71 ^e
P ₅ . UANRd	56,8 ^{abc}	173,7 ^a	74 ^e
P ₆ . UANShw	57,5 ^{ab}	121,5 ^{bc}	91 ^{cde}
P ₇ . UANYw	48,0 ^{abcde}	116,5 ^{bc}	81 ^{de}
P ₈ . UANCn	49,0 ^{abcde}	131,6 ^{abc}	72 ^e
Híbridos			
P ₁ xP ₄	28,8 ^{bcde}	123,3 ^{bc}	147 ^{abcde}
P ₁ xP ₅	32,3 ^{bcde}	124,3 ^{bc}	173 ^{ab}
P ₁ xP ₆	25,0 ^{bcde}	126,8 ^{abc}	177 ^{abc}
P ₁ xP ₇	20,5 ^e	106,6 ^{bc}	143 ^{abcde}
P ₂ xP ₄	26,6 ^{bcde}	112,7 ^{bc}	137 ^{abcde}
P ₂ xP ₅	24,6 ^{cde}	88,5 ^c	148 ^{abcde}
P ₂ xP ₆	23,6 ^{de}	103,9 ^{bc}	219 ^a
P ₃ xP ₄	39,6 ^{bcde}	132,9 ^{abc}	195 ^{ab}
P ₃ xP ₈	26,1 ^{bcde}	131,1 ^{abc}	165 ^{abcd}
DMS	32,52	48,32	87,1

DAF = Días a floración; DAC = Días a cosecha; ADP = Altura de planta, DSM = Diferencia Significativa Mínima.

Columnas con letras diferentes son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba Tukey (P<0,05).

Montaño-Mata y Belisario-Ramos (2012) quienes iniciaron la cosecha a los 75,0 días después del trasplante. Esta diferencia se atribuye a que el cultivo de este estudio fue sembrado en el periodo otoño-invierno en que las temperaturas se mantuvieron bajas, retardando el crecimiento del cultivo, y a que en este periodo la radiación solar también fue baja, en algunos días nula, lo que retrasó el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas. En este sentido, se indica que temperaturas inferiores a 15°C inhiben el crecimiento vegetativo, mientras que las temperaturas óptimas para este cultivo en el día son 20 a 25°C y las nocturnas de 16 a 18°C (Pilatti *et al.*, 2005). En un estudio con chile pimiento en hidroponía, Moreno-Pérez *et al.* (2011) tuvieron la primera cosecha del pimiento más precoz a los 91,0 días después del trasplante y el más tardío a los 117,0 días, valores inferiores a los encontrados en esta investigación.

En lo referente a la ADP se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre los progenitores e híbridos estudiados. A diferencia de las variables anteriores, aquí podemos observar una tendencia positiva a favor de los híbridos, lo que significa que tuvieron una altura mayor en comparación con sus progenitores. Estas diferencias son consecuencia de la variabilidad presente entre las poblaciones de machos y hembras bajo estudio, además es posible inferir que en las poblaciones bajo estudio hay divergencia genética, las cuales permitieron generar híbridos fenotípicamente diferentes, coincidiendo con lo señalado por De la Cruz-Lázaro *et al.*, (2005); Wong-Romero *et al.*, (2006) y Guerrero-Guerrero *et al.*, (2011) que identificaron híbridos en maíz con mayor altura y alto rendimiento, con alta variabilidad genética presente en los progenitores estudiados. Además, Martínez-Sánchez *et al.* (2010) afirman que la diferencia entre alturas de la planta se debe a que en condiciones de cultivo en invernadero existe un mayor control en los factores ambientales y manejo del cultivo que influye

en el crecimiento y desarrollo. La comparación de medias (Tabla 4) nos muestra que todos los híbridos formados son superiores en altura a sus progenitores (macho y hembra) lo cual resultó conveniente puesto que se reflejó en el rendimiento de la planta, ya que había mayor área foliar y por lo tanto mayor acumulación de reservas que permitieron una alta productividad. Esto resulta muy provechoso debido a que los híbridos no presentaron ningún estrés que repercutiera en su crecimiento, por lo que podemos concluir que dichos híbridos se adaptan bien a condiciones de invernadero.

Heterosis

La tabla 5 muestra que para RTF los híbridos exhibieron un rango de heterosis de 88 a 229%, lo que indica que los progenitores utilizados presentan divergencia genética y sobre todo complementariedad génica, que permite la expresión del vigor híbrido en mayor RTF. Además, dado que el híbrido $P_2 \times P_6$ fue el que presentó la mayor heterosis, este hecho podría ser aprovechado para desarrollar genotipos de alto rendimiento para producción en invernadero. En la variable NFP también se encontró un rango de heterosis que fue de 66 a 243% y nuevamente fue el híbrido $P_2 \times P_6$ el que presentó el mayor valor; sin embargo en la variable PPF se encontró una heterosis negativa lo cual indica que los frutos fueron más semejantes a los progenitores hembra. En la variable DAF y DAC también se encontraron valores elevados y negativos, lo cual es favorable, ya que en los híbridos formados se ganó en precocidad; en días a cosecha se encontró una heterosis negativa de -43%, indicando que el híbrido $P_2 \times P_5$ fue más precoz que la media de los dos progenitores. En la variable ADP el híbrido $P_2 \times P_6$ manifestó una heterosis de 128%. En las variables CAA y CT se encontraron valores de heterosis negativa, lo cual indica que los valores de estas variables se reduje-

Tabla 5. Valores de heterosis (% sobre promedio de parentales) para variables estudiadas en híbridos formados mediante cruces entre diferentes tipos de *Capsicum annuum*

Table 5. Heterosis values (% on mid parent value) for studied variables in hybrids formed by crosses between different types of *Capsicum annuum*

Híbridos	RTF	NFP	PPF	DAF	DAC	ADP	CAA	CT	CAPs
P ₁ xP ₄	98,5	101,2	-35,8	-43,7	-5,0	56,9	-16,2	-75,2	48,5
P ₁ xP ₅	188,7	161,4	-26,9	-38,2	-20,5	81,7	-21,0	-73,9	-5,0
P ₁ xP ₆	133,5	199,0	-55,3	-52,4	-2,6	70,6	-31,8	-77,1	18,9
P ₁ xP ₇	87,6	65,9	-34,3	-57,0	-16,5	44,2	-22,2	-76,0	2,2
P ₂ xP ₄	118,2	162,7	-53,2	-58,6	-12,8	60,3	-9,1	-66,7	26,4
P ₂ xP ₅	132,8	113,9	-38,6	-62,4	-43,2	70,6	-14,5	-54,8	-2,7
P ₂ xP ₆	228,9	243,1	-54,5	-64,1	-19,9	128,6	-18,6	-49,4	45,2
P ₃ xP ₄	114,4	121,7	-51,4	-27,8	5,9	81,2	-15,8	-75,1	20,2
P ₃ xP ₈	154,8	155,6	-58,8	-49,9	0,1	53,1	-10,3	-70,5	86,8

RTF = Rendimiento total del fruto; NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio de fruto; DAF = Días a floración; DAC = Días a cosecha; ADP = Altura de planta; CAA = Contenido de ácido ascórbico; CT = Carotenos totales; CAPs = Contenido de Capsaicina.

ron en relación al comportamiento promedio de los progenitores involucrados en los cruzamientos. Sin embargo lo recomendable es que estos valores sean por lo menos iguales a la media de los progenitores, por lo que dichos valores podrán ser incrementados por procesos de selección o retrocruza hacia el progenitor con los mayores valores. En contenido de CAPs el híbrido P₃xP₈ fue el que presentó el mayor valor de heterosis con 87%, sin embargo el híbrido P₂xP₆, que es de los más sobresalientes presentó una heterosis de 45% el cual es un valor alto e indica que presenta características de pimiento en cuanto a tamaño, sin embargo tiene alto RTF, NFP, ADP, y CAPs, lo cual lo hace prometedor para el desarrollo de una variedad de chile para condiciones de invernadero.

En fitomejoramiento se considera que el nivel deseable para el aprovechamiento de la

heterosis en un cruce sea de cuando menos 20 % (Vasal y Córdova, 1996). Sin embargo en el presente trabajo, la heterosis estimada en RTF y NFP, está por encima del nivel mínimo recomendado, lo que indica que existe diversidad genética entre los progenitores, puesto que la heterosis exhibida en sus cruces simples depende de la aptitud rendidora y de la diversidad genética de los progenitores usados (Moll et al., 1962).

Con la hibridación se busca mayor precocidad en la progenie y en este trabajo, los días a floración y días a cosecha de las primeras ramificaciones fueron indicadores de precocidad en las poblaciones evaluadas. Los valores negativos en DAF y DAC son ventajosas ya que permiten tener cosechas más tempranas, datos similares fueron obtenidos por Dzib-Aguilar, et al. (2011) en el cultivo de maíz.

Heterobeltiosis

La tabla 6 muestra que para RTF los híbridos $P_2 \times P_6$, $P_1 \times P_5$ y $P_1 \times P_6$ presentaron los valores más altos de heterobeltiosis, con valores de 178, 146 y 115%, respectivamente, y estos mismos híbridos presentaron valores de 104, 74 y 82% de heterobeltiosis para la variable NFP. Considerando estas dos variables, todos los híbridos presentaron heterobeltiosis, sin embargo, los híbridos antes citados son los más prometedores para el desarrollo de variedades para producción en invernadero. En

la variable DAF y DAC los valores más negativos indican que estos híbridos presentan las mayores ventajas en cuanto a precocidad permitiendo la obtención de cosechas más tempranas. Además, también se encontró heterobeltiosis alta y positiva en la variable ADP, lo cual permite tener un mejor aprovechamiento del ambiente de invernadero. Sin embargo, en las variables relacionadas con la calidad de fruto no fue posible mejorar los contenidos de CAA, CT y CAPs, ya que todos los híbridos exhibieron valores negativos de heterobeltiosis.

Tabla 6. Valores de heterobeltiosis (% del mejor parental correspondiente) para variables estudiadas en híbridos formados mediante cruces entre diferentes tipos de *Capsicum annuum*

Table 6. Values of heterobeltiosis (% of de best parent) for variables studied in hybrids formed by crosses between different types of *Capsicum annuum*

Híbridos	RTF	NFP	PPF	DAF	DAC	ADP	CAA	CT	CAPs
$P_1 \times P_4$	67,2	30,3	-61,3	-39,6	2,3	26,5	-41,1	-77,0	-19,8
$P_1 \times P_5$	146,4	73,9	-55,2	-32,3	-10,6	48,4	-45,8	-75,1	-49,1
$P_1 \times P_6$	115,2	82,5	-73,5	-47,5	4,4	52,1	-52,3	-78,7	-36,8
$P_1 \times P_7$	74,6	1,4	-60,7	-56,9	-8,4	22,5	-44,2	-72,7	-46,5
$P_2 \times P_4$	70,5	64,5	-73,1	-51,3	-6,5	37,3	-40,8	-81,7	-31,6
$P_2 \times P_5$	84,1	37,2	-64,4	-56,6	-35,9	48,1	-45,4	-75,0	-47,7
$P_2 \times P_6$	178,5	103,9	-74,2	-58,9	-14,5	118,2	-47,2	-58,8	-22,7
$P_3 \times P_4$	67,5	35,8	-72,6	-27,6	10,2	35,5	-34,8	-78,4	-35,2
$P_3 \times P_8$	116,8	48,1	-77,1	-46,7	0,6	14,8	-31,0	-72,7	-1,1

RTF = Rendimiento total del fruto; NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio de fruto; DAF = Días a floración; DAC = Días a cosecha; ADP = Altura de planta; CAA = Contenido de ácido ascórbico; CT = Carotenos totales; CAPs = Contenido de Capsaicina.

Conclusiones

Es factible la formación de híbridos de alto rendimiento para producción en invernaderos de baja tecnología, al cruzar chiles picantes (Jalapeño, Mirador y Serrano) con pimientos, ya que en este trabajo se obtuvieron rendi-

mientos que superaron en más del 280% el rendimiento medio de Sinaloa, que es el estado de México con mayor productividad en este cultivo, además se superó en más del 120% el rendimiento más alto registrado en México en Chile Jalapeño.

La combinación adecuada de genes, permitió obtener híbridos con valores positivos y altos de heterosis y heterobeltiosis en rendimiento total de fruto y número de frutos por planta.

En los híbridos desarrollados fue posible lograr valores negativos, en heterosis y heterobeltiosis, en días a floración y días a cosecha, logrando tener genotipos de cosecha temprana para producción en invernadero.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten inferir que es posible mejorar los rendimientos y calidad nutricional de frutos, con características de los progenitores hembras, para producción en invernadero, aunque es necesario repetir los ensayos de productividad para confirmar los resultados preliminares obtenidos.

Dado que se utilizaron líneas puras para formar los híbridos y estos fueron manejados en invernadero con control parcial de variables climáticas, se considera posible lograr rendimientos similares en futuros trabajos de investigación.

Agradecimientos

El primer autor agradece al CONACYT por el apoyo económico otorgado en forma de una beca para realizar estudios de postgrado.

Bibliografía

Alejandro-Rojas GJ (2014). Estimación de la aptitud combinatoria y heterosis en cruza intervarietales de *Capsicum annuum* bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

AOAC (2000). Official methods of analysis of AOAC International. No. C/630.240 O3/2000.

Bennett DJ, Kirby GW (1968). Constitution and biosynthesis of capsaicin. Journal of the Chemical Society C: Organic, pp. 442-446.

Bosland PW (1994). Chiles. History, cultivation and uses. En: Spices, herbs, and edible fungi. (Ed. Charambous, G.), pp. 347-366. Elsevier Publication, New York, EEUU.

Caldari P (2007). Manejo de la luz en Invernaderos. Los beneficios de luz de calidad en el cultivo de hortalizas. I Simposio internacional de invernaderos, 20-22 junio, Toluca, México, pp. 5.

De la Cruz-Lázaro E, Rodríguez-Herrera SA, Estrada-Botello MA, Mendoza-Palacios JD, Brito-Manzano NP (2005). Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. Universidad y Ciencia, 21: 19-26.

Duarte RM, Contreras RLG, Contreras FR (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile Jalapeño. Biotecnia, 14: 32-38.

Dzib-Aguilar LA, Segura-Correa JC, Ortega-Paczka R, Latournerie-Moreno L (2011). Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de maíz de Yucatán y poblaciones mejoradas. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 119-127.

FAO (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. División Estadística. Disponible en: <http://faostat.fao.org> (Consultado: Septiembre 2016).

Fonseca S, Patterson FL (1968). Hybrid vigor in a seven-parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop Science, 8: 85-88.

Guerrero-Guerrero C, Espinoza-Banda A, Palomogil A, Gutiérrez-del Río E, Zermeño-González H, González Castillo MP (2011). Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. Agronomía mesoamericana, 22: 257-267.

Hernández-Pérez M, López-Benítez A, Borrego-Escalante F, López-Betancourt SR, Ramírez-Meraz M (2011). Análisis dialélico del rendimiento de Chile por el Método IV de griffing. Agronomía mesoamericana, 22: 37-43.

Laborde-Cansino JA, Pozo-Campodónico O (1982). Presente y pasado del chile en México. Publicación especial N° 85. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (INIA-SARH), México, 80 pp.

- Macías RH, Romero E, Martínez J (2003). Invernaderos de Plástico. Cap. 6 En: agricultura protegida (Ed. Sánchez Cohen I.), pp. 131-163. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (CENID RAS-PA), Gómez Palacio, Dgo.
- Martínez-Sánchez D, Pérez-Grajales M, Rodríguez-Pérez JE, Moreno Pérez EC (2010). Colecta y caracterización morfológica de 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. Revista Chapingo Serie Horticultura, 16: 169-176.
- Montaño-Mata NJ, Belisario-Ramos HDC (2012). Comportamiento agronómico de siete cultivares de pimentón (*Capsicum annuum* L.). Revista Científica UDO Agrícola, 12: 32-44.
- Moreno-Pérez E, Mora-Aguilar R, Sánchez-Castillo F, García-Pérez V (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura, 17(2): 5-18.
- Moll RH, Salhuana WS, Robinson HF (1962). Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. Crop science, 2(3): 197-198.
- Pérez-Grajales M, González-Hernández VA, Peña-Lomelí A, Sahagún-Castellanos J (2009). Combining ability and heterosis for fruit yield and quality in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. Revista Chapingo Serie Horticultura, 15(1): 103-109.
- Pilatti RA, Pérez L, Gariglio NF, Favaro J (2005). Cultivo de pimiento bajo invernáculos no calefaccionados: Tecnología para la obtención de frutos de buena aptitud comercial. FAVE, 6(1): 1-27.
- Rodríguez Y, Depestre T, Gómez O (2007). Obtención de líneas de pimiento (*Capsicum annuum*) progenitoras de híbridos F1, resistentes a enfermedades virales, a partir del estudio de cuatro sub-poblaciones. Ciencia e investigación agraria, 34(3): 237-242.
- SAGARPA (2015). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/produccion-del-chile-mexicano> (Consultado: Septiembre 2016).
- Seneviratne KGS, Kannangara KN (2004). Heterosis, heterobeltiosis and commercial heterosis for agronomic traits and yield of chilli. Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture, 6: 195-201.
- SIAP-SAGARPA (2016). Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do. Disponible en línea <http://www.siap.gob.mx> (Consultado: Noviembre, 2016).
- Servicio Meteorológico Nacional (2014). Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias> (Consultado: Febrero 2015).
- Silverstein RM, Webster FX, Kiemle DJ (1998). Infrared spectrometry. En: Spectrometric identification of organic compounds 7th edition. (Ed. State University of New York. College of Environmental Science and Forestry), pp. 72-108. John Wiley and Sons, Inc.
- Sousa JA, Maluf WR (2003). Diallel analyses and estimation of genetic parameters of hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). Scientia Agricola, 60(1): 105-113.
- Trujillo-Contreras MI (2011). Cuantificación de compuestos antioxidantes, capsaicina y capacidad antioxidante en chile serrano (*Capsicum annum*) bajo distinto manejo agronómico y sistema de cultivo. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Valadez López A (1998). Producción de hortalizas. Ed. Limusa, México, D.F. 298 pp.
- Vasal SK, Córdova H (1996). Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. En: Memoria del Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. [Ed. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)], pp. 32-54. Buenavista, Saltillo, México.
- Wong-Romero R, Gutiérrez-del Río E, Rodríguez-Herrera SA, Palomo-Gil A, Córdova-Orellana H, Espinoza-Banda A (2006). Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la comarca lagunera. Universidad y Ciencia 22(2): 141-151.

(Aceptado para publicación el 1 de marzo de 2018)