

## Comportamiento agronómico y nutracéutico de poblaciones F2 desarrolladas de cruza interracial de Chile

Laura Raquel Luna García<sup>1</sup>

Valentín Robledo Torres<sup>1§</sup>

Francisca Ramírez Godina<sup>2</sup>

Rosalinda Mendoza Villarreal<sup>1</sup>

Miguel Ángel Pérez Rodríguez<sup>3</sup>

Francisco Alfonso Gordillo Melgoza<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Horticultura, <sup>2</sup>Departamento de Fitomejoramiento, <sup>3</sup>Departamento de Botánica-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. Tel. (844) 4110333. (lauraluna.1985@hotmail.com; robledo3031@gmail.com; godramf@gmail.com; rosalandamendoza@hotmail.com. <sup>4</sup>Stoller México SA de CV. Avenida Transportistas 203, El Palmar, El Palote, León, Guanajuato. CP. 37208. (gordillomelgoza@gmail.com).

§Autor para correspondencia: robledo3031@gmail.com.

### Resumen

Cada día es más difícil satisfacer la demanda alimenticia mundial, por ello la importancia de trabajar en el desarrollo de nuevas variedades de alto rendimiento y calidad de fruto, aprovechando los recursos genéticos de México, para el desarrollo y utilización de variedades superiores que permitan reducir los costos de producción de sistemas de agricultura protegida ya que, en México en estos sistemas un porcentaje importante proviene de empresas extranjeras a costos elevados. Sin embargo, los pequeños productores siembran semilla criolla de bajo rendimiento y calidad de fruto. En este trabajo se evaluó el RTF y sus componentes (NFP, PPF), además de algunos caracteres de calidad (CAA, CT y CAPs) y agronómicos (ADP, DBT, DAF, y DAC) de nueve híbridos de Chile en sus generaciones F2 y sus respectivos progenitores, los cuales fueron establecidos en invernadero, bajo un diseño experimental bloques completos al azar con tres repeticiones. Los análisis de varianza exhibieron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre progenitores y poblaciones F2 en todas las variables estudiadas. En RTF las poblaciones F2 (P<sub>1,7</sub> y P<sub>3,4</sub>) superaron 7 y 5% respectivamente a su F1, siendo esta última, la que presentó el RTF más alto en esta generación con 2 764 g planta<sup>-1</sup>. Todas las poblaciones F2 presentaron cantidades intermedias y valores positivos en DEP en CT, CAA Y CAPs. Concluyendo que en la generación F2 hubo poblaciones promisorias para el desarrollo de nuevas variedades, ya que incrementaron rendimiento y calidad de fruto de F1 a F2, con rendimiento estimado superior a 100 t ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** genética, rendimiento, calidad de fruto.

Recibido: noviembre de 2020

Aceptado: enero de 2021

## Introducción

En la actualidad la agricultura mundial enfrenta fuertes problemas, como acelerado crecimiento poblacional, el clima cada día más impredecible, la creciente urbanización y la degradación de la tierra, son los principales factores que aquejan y hacen cada vez más difícil satisfacer la demanda alimenticia mundial (Lenaerts *et al.*, 2019).

Por lo cual surge la necesidad de trabajar en el mejoramiento genético para desarrollar nuevas variedades, con mayor adaptación a estas condiciones, a fin de obtener cultivares de alto rendimiento y alta calidad de fruto, para esto el mejoramiento genético sigue siendo el punto de partida más seguro y la mejor estrategia para lograr a mediano plazo la solución a los principales problemas de bajos rendimientos de los cultivos (García *et al.*, 2003).

México es considerado uno de los mayores productores de chile (*C. annuum*), ocupando el segundo lugar en producción con 157 540 ha de superficie sembrada, generando 3 239 318 t, además ocupa el primer lugar como exportador a nivel mundial (SIAP-SAGARPA, 2018). Es un cultivo de suma relevancia económica, social y productiva en el país, con más de 12 mil productores en la República Mexicana se dedican a este cultivo generando hasta 30 millones de jornales al año.

Para 2019 el cultivo generó divisas por 985 mdd, esto debido al gran consumo, reportándose hasta 18.1 kilos per cápita anuales (SIAP-SAGARPA, 2018). Sin embargo, pese el continuo crecimiento del cultivo tanto en producción como en superficie sembrada, no se satisface la demanda del mercado, que cada vez es más alta y exigente. Mientras que los rendimientos siguen siendo bajos con relación al potencial productivo de la especie.

Actualmente el rendimiento promedio de chile verde principalmente serrano, jalapeño o tipo ancho a nivel nacional es de 20.63 t ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2018) y es Sinaloa el de mayor productividad con 39 t ha<sup>-1</sup>, debido a su tecnificación, aunque se considera bajo, ya que a nivel experimental se reportan rendimientos de 48.8 t ha<sup>-1</sup> (Inzunza *et al.*, 2007) y hasta 65.4 t ha<sup>-1</sup> (Duarte *et al.*, 2012), sugiriendo que el cultivo tiene mayor potencial, pero se requiere trabajar en ello para optimizarlo.

Aunado a eso el chile afronta otros problemas relacionados con la oferta limitada de cultivares nacionales de mayor capacidad de adaptación a los agroecosistemas hortícolas y la semilla híbrida proviene de empresas trasnacionales a costos muy elevados Hernández-Leal *et al.* (2013), lo que orilla a los productores a utilizar semilla de generaciones subsecuentes (F2 o F3) derivada de híbridos comerciales para reducir costos, bajo el supuesto de que el rendimiento y calidad de fruto no se ve mermada en esas generaciones filiales.

Aunque por ser la F2 una generación segregante, cuando el agricultor siembra esta semilla, las plantas resultantes difieren unas de otras, lo que implica inconvenientes, como reducción drástica en la productividad, merma en la resistencia a insectos y enfermedades, maduración desuniforme y menor calidad industrial entre otras (De Miranda y Anderson, 2001).

Además, en especies autógamias la segregación en la F2 del híbrido induce reducción del rendimiento y calidad del fruto, debido a que el grado de heterocigosis se reduce a la mitad Poehlman y Allen (2003). Asimismo, se induce depresión endogámica o pérdida de adaptación y vigor de los genotipos (Jarne y Charlesworth, 1993).

Con base en la problemática de baja disponibilidad de variedades de chile de alto rendimiento y calidad de fruto, el objetivo general de este trabajo fue seleccionar poblaciones F2 de cruzas interraciales, de alto rendimiento y calidad de fruto, para satisfacer la demanda actual de este fruto. Bajo la hipótesis de que en las poblaciones F2 estudiadas, se identificaran materiales sobresalientes.

## Materiales 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 1 779 msnm en Buenavista, Saltillo, Coahuila durante el verano de 2017 (SMN, 2018). El material vegetal utilizado fueron 17 genotipos (8 progenitores y 9 poblaciones F2) de diferentes tipos de *Capsicum annum* descritos en la Cuadro 1.

**Cuadro 1. Material genético utilizado: progenitores, híbridos F1 y poblaciones F2 derivadas de las cruzas entre los progenitores de *C. annum*.**

Genotipos	Descripción	
Progenitores hembras		
P <sub>1</sub> . UANJal	Tipo Jalapeño color verde oscuro	
P <sub>2</sub> . Criollo Mirador	Tipo Mirador del estado de Veracruz	
P <sub>3</sub> . Tampiqueño 74	Tipo Serrano de origen comercial	
Progenitores machos		
P <sub>4</sub> . UANOg	Pimiento Naranja de origen selección	
P <sub>5</sub> . UANRd	Pimiento Rojo de origen selección	
P <sub>6</sub> . UANShw	Pimiento Verde, de alto vigor	
P <sub>7</sub> . UANYw	Pimiento amarillo de origen selección	
P <sub>8</sub> . UANCn	Pimiento verde de buen comportamiento en campo abierto	
Híbridos F1	Descripción	Poblaciones F2 derivadas de F1
P <sub>1</sub> x P <sub>4</sub>	Cruza UANJal x UANOg	P <sub>1,4</sub>
P <sub>1</sub> x P <sub>5</sub>	Cruza UANJal x UANRd	P <sub>1,5</sub>
P <sub>1</sub> x P <sub>6</sub>	Cruza UANJal x UANShw	P <sub>1,6</sub>
P <sub>1</sub> x P <sub>7</sub>	Cruza UANJal x UANYw	P <sub>1,7</sub>
P <sub>2</sub> x P <sub>4</sub>	Cruza Mirador x UANOg	P <sub>2,4</sub>
P <sub>2</sub> x P <sub>5</sub>	Cruza Mirador x UANRd	P <sub>2,5</sub>
P <sub>2</sub> x P <sub>6</sub>	Cruza Mirador x UANShw	P <sub>2,6</sub>
P <sub>3</sub> x P <sub>4</sub>	Cruza Serrano x UANOg	P <sub>3,4</sub>
P <sub>3</sub> x P <sub>8</sub>	Cruza Serrano x UANCn	P <sub>3,8</sub>

Descripción a partir de las características de los genotipos.

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

## **Establecimiento y manejo de progenitores y poblaciones derivadas de la F<sub>1</sub>**

La semilla de los progenitores y de las poblaciones derivadas de las cruzas resultantes de la primera generación, se extrajo y se acondicionó para su siembra el 10 de mayo de 2017. La semilla de los 17 genotipos se sembró en charolas de poliestireno de 200 cavidades, depositando de dos a tres semillas por cavidad, usando como sustrato Turba (Premier Sphagnum Peat Moss, de la empresa Angeles Millwork & Lumber Co) y perlita mineral (Hortiperl de Termolita) en una proporción 70:30 respectivamente.

A los 50 días después de la siembra se realizó el trasplante en camas con acolchado plástico blanco y cintilla para riego localizado, las camas con 25 cm de altura y una separación de 1.6 m y 30 cm entre plantas, estableciéndose a doble hilera en forma de tresbolillo, resultando una densidad de plantación de 41 667 plantas ha<sup>-1</sup>. Se realizaron podas a dos tallos y tutoreo tipo holandés. El riego por goteo inicial fue de 0.5 L planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, con un incremento paulatino hasta 3.5 L planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, la nutrición fue a base de solución nutritiva propuesta por Steiner (1984) aplicada al agua de riego, modificándola a lo largo del ciclo del cultivo según las etapas fenológicas de los genotipos.

Se llevó a cabo un control sanitario y aplicaciones foliares para corregir cualquier tipo de deficiencias. El trabajo fue establecido bajo un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Cada parcela experimental fue constituida por 12 plantas. Se realizaron riegos cada tercer o cuarto día dependiendo de las necesidades del cultivo, se aplicó fertilizante foliar para corregir deficiencias por algún elemento nutritivo. Se llevó a cabo un control sanitario aplicando quincenalmente ingredientes activos como Imidacoprid, abamectina, thiamethoxam, clorpirifos, entre otros, contra mosca blanca, paratíozoa pulgón saltador y trips, además de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* contra enfermedades fúngicas.

## **Rendimiento y componentes de rendimiento**

Las variables evaluadas fueron: rendimiento total de fruto (RTF) en kg, sumando el peso de fruto obtenido a lo largo del ciclo del cultivo, el peso promedio de fruto (PPF) en gramos y el número total 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. Las tres variables se estimaron a partir de una muestra aleatoria de 12 plantas en cada uno de los tratamientos y en las tres repeticiones en veinte cortes a intervalos de 10 a 11 días.

## **Mediciones de calidad de fruto**

Las variables de calidad del fruto fueron determinadas en frutos frescos, en el Laboratorio de Nutrición Vegetal y Cultivo de Tejidos del Departamento de Horticultura de la UAAAN. El contenido de ácido ascórbico (CAA) en los frutos de los progenitores y poblaciones F<sub>2</sub>, 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, Waltham, MA USA 0245,1) 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:  $\text{mg}/0.1 \text{ kg} = \frac{\% \text{ ABS}_{454} \times 3,85 \times V \times 100}{P}$ . Donde: % Abs<sub>454</sub> = porcentaje de absorbancia a 454 nm; V= volumen medido en la probeta; P= peso de la muestra en gramos.

La cuantificación del contenido de capsicinoides (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 1.2 mg ml<sup>-1</sup>. 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 estimar los días a floración (DAF) y días a cosecha (DAC) se contabilizaron los días desde que se trasplantaron hasta la primera floración y cosecha de frutos. La altura de planta (ADP) se midió con una cinta métrica, al final del ciclo de producción (240 ddt), fue tomada desde la base del tallo hasta el ápice de la planta. El diámetro basal de tallo (DBT) se midió a 3 cm sobre la superficie del suelo con un Vernier digital marca Autotec.

### Análisis estadístico

Para cada variable se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.01$ ) usando el programa estadístico SAS<sup>®</sup> V. 9.0 (SAS Institute Inc., 2002). El modelo estadístico fue de acuerdo con el diseño experimental de bloques completos al azar, mediante el modelo lineal general (PROC GLM). La depresión endogámica (DEP, en %) se estimó con los promedios de las diferencias  $(F_1 - F_2) / F_1$ , expresadas en porcentaje, y multiplicada por (-1) para indicar una disminución de la magnitud de la variable a evaluar (Hernández-Leal *et al.*, 2013).

## Resultados y discusión

### Rendimiento y componentes del rendimiento

El análisis de varianza aplicado a progenitores y poblaciones F2, exhibieron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre genotipos en RTF, NFP y PPF. La comparación de medias (Cuadro 2) muestra que las poblaciones F2, P<sub>1,5</sub> y P<sub>3,4</sub> fueron las que presentaron el rendimiento por planta más alto con 2 735.5 y 2764 g planta<sup>-1</sup> respectivamente.

**Cuadro 2. Valores medios de componentes del rendimiento de planta, en progenitores y poblaciones F2 de *C. annuum*.**

Genotipos	RTO (g planta <sup>-1</sup> )	NFP	PPF (g)
P <sub>1</sub> . Jalapeño	1 095 abc	90.3 abc	14.77 f
P <sub>2</sub> . Mirador	412.6 c	77.72 bcd	11.35 f
P <sub>3</sub> . Serrano	972.9 bc	154.67 a	8.28 f

Genotipos	RTO (g planta <sup>-1</sup> )	NFP	PPF (g)
P <sub>4</sub> . UANOg	1 708.9 abc	14.56 d	124.16 b
P <sub>5</sub> . UANRd	1 661 abc	13.67 d	142.54 b
P <sub>6</sub> . UANShw	1 882.5 abc	11.31 d	197.44 a
P <sub>7</sub> . UANYw	2 312.2 ab	18.53 cd	148.66 b
P <sub>8</sub> . UANCn	1 542.3 abc	15.67 d	142.67 b
P <sub>1, 4</sub>	2 520.9 ab	47.44 bcd	52.83 d
P <sub>1, 5</sub>	2 735.5 a	40.67 bcd	78.59 c
P <sub>1, 6</sub>	1 338.2 abc	53.67 bcd	21.25 ef
P <sub>1, 7</sub>	2 123.4 abc	48.64 bcd	41.77 de
P <sub>2, 4</sub>	1 926.9 abc	47.89 bcd	30.92 def
P <sub>2, 5</sub>	1 737.1 abc	55.08 bcd	30.17 def
P <sub>2, 6</sub>	2 723.2 ab	100 ab	28.18 def
P <sub>3, 4</sub>	2 764 a	95 ab	26.17 ef
P <sub>3, 8</sub>	2 675.5 ab	93.5 ab	27.8 def
DMS	1 759.2	133.21	25.48

Elaboración con base a datos de campo.

Las poblaciones antes citadas, fueron significativamente superiores a los progenitores maternos y paternos bajo estudio, sin embargo, no difieren significativamente del resto de poblaciones F<sub>2</sub>, aun así, son prometedoras para el desarrollo de variedades de chile Jalapeño y Serrano. El genotipo que presentó menor RTF fue el P<sub>1, 6</sub> con un rendimiento de 1 338.2 g planta<sup>-1</sup>. Cabe señalar, que existen diferencias en comparación con su primera generación filial (F<sub>1</sub>), debido a que la mayoría de las poblaciones F<sub>2</sub> presentan pérdida de vigor, claramente producida por la homocigosidad (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Valores medios del rendimiento y depresión endogámica en poblaciones F<sub>2</sub> de *Capsicum annuum* observados en dos generaciones filiales.**

Genotipos	RTF 2017 (g planta <sup>-1</sup> ) 2016-2017	RTF 2018 (g planta <sup>-1</sup> )	Depresión DEP (%) Endogámica (DE%)
P <sub>1</sub> . Jalapeño	1 098 bc	1 095 abc	-0.3
P <sub>2</sub> . Mirador	551 c	412 c	-25.1
P <sub>3</sub> Serrano	831 c	972 bc	17.1
P <sub>4</sub> . UANOg	1 664 bc	1 708 abc	2.7
P <sub>5</sub> . UANRd	1 482 bc	1 661 abc	12.1
P <sub>6</sub> . UANShw	1 243 bc	1 882 abc	51.4
P <sub>7</sub> . UANYw	1 293 bc	2 312 ab	78.8
P <sub>8</sub> . UANCn	1 227 bc	1 542 abc	25.7
	F1	F2	
P <sub>1</sub> x P <sub>4</sub>	2 586 abc	2 520 ab	-2.5
P <sub>1</sub> x P <sub>5</sub>	3 584 a	2 735 a	-23.7
P <sub>1</sub> x P <sub>6</sub>	2 991 ab	1 338 abc	-55.3

Genotipos	RTF 2017 (g planta <sup>-1</sup> ) 2016-2017	RTF 2018 (g planta <sup>-1</sup> )	Depresión DEP (%) Endogámica (DE%)
P <sub>1</sub> x P <sub>7</sub>	1 980 abc	2 123 abc	7.2
P <sub>2</sub> x P <sub>4</sub>	2 764 abc	1 926 abc	-30.3
P <sub>2</sub> x P <sub>5</sub>	2 828 abc	1 737 abc	-38.6
P <sub>2</sub> x P <sub>6</sub>	3 247 a	2 723 a	-16.1
P <sub>3</sub> x P <sub>4</sub>	2 633 abc	2 764 a	5
P <sub>3</sub> x P <sub>8</sub>	2 781 abc	2 675 ab	-3.8

Elaboración con base a datos de campo.

Los resultados obtenidos permiten señalar que el avance generacional, ocasionó depresión endogámica, que se tradujo en la disminución del rendimiento promedio de las poblaciones F2 en 19.1% en comparación a su F1; sin embargo, los rendimientos máximos de 2 764 g planta<sup>-1</sup>, obtenidos de la población F2(P<sub>3, 4</sub>) con una densidad de 41 667 plantas ha<sup>-1</sup>, permitió estimar rendimientos de hasta 115 167 t ha<sup>-1</sup>, donde aun teniendo 10% de fallas o 10% de espacio no aprovechable se superan las 100 t ha<sup>-1</sup>, por lo tanto las poblaciones F2 (P<sub>1, 5</sub>; P<sub>2, 6</sub>; P<sub>3, 4</sub> y P<sub>3, 8</sub>), se consideran prometedores para producción comercial en ambientes protegidos, esta característica se mantiene en la generación segregante F2, por lo que los pequeños productores de Chile podrían usar la semilla F2 para siembras comerciales, sin que los frutos demeriten significativamente en rendimiento aunque si se observó variabilidad morfológica, por lo cual se recomienda continuar trabajando con el avance en las generaciones filiales al fin de uniformizar estas características.

Estos resultados coinciden con Gaytán-Bautista *et al.* (2009) en el cultivo de maíz, quien menciona que el avance generacional F1 a F2 se redujo el rendimiento promedio de grano de maíz y forraje seco en 22 y 8%, respectivamente en 22 híbridos comerciales estudiados. En este sentido, Hernández-Leal *et al.* (2013) menciona que la reducción del rendimiento en las generaciones F2 en tomate saladette fue mínima, al evaluar siete genotipos comerciales y sus respectivas F2, encontrando DEP para peso total entre 17.5 y 66.1%, lo cual sugiere que la depresión endogámica de una generación F2 depende particularmente de la constitución genética de las líneas que hayan dado lugar al híbrido comercial.

En ésta investigación la mayor DEP observada, fue de -55.3%, que de acuerdo a lo señalado por Hernández-Leal *et al.* (2013) es mínima, además es importante señalar que las poblaciones P<sub>1, 7</sub> y P<sub>3, 4</sub> no manifestaron DEP, exhibieron un aumento de 7.22 y 5% respectivamente en RTF al pasar de la F1 a la F2 (Cuadro 3), esto también puede deberse a que los genotipos se adaptaron bien a las condiciones de invernadero, aunque se redujo la heterocigosis, la cual explota eficientemente el vigor híbrido, coincidiendo con Martínez *et al.* (2010); Duarte *et al.* (2012). Estos autores mencionaron que las plantas estudiadas bajo condiciones controladas favorecen la expresión de los genes relacionados con el rendimiento de fruto o bien a que la depresión endogámica en especies autógamas es relativamente pequeña en comparación con la que se esperaría en especies alógamas (Charlesworth y Charlesworth, 1987), esto a causa de que en las especies autógamas el proceso de autofecundación tiene un efecto depurador de alelos recesivos deletéreos.

Cabe señalar, que aunado al mejoramiento y selección de híbridos y sus respectivas poblaciones F2, se avanzó también en el mejoramiento de los progenitores utilizados originalmente, como se refiere en el (Cuadro 3) que los progenitores no presentan un efecto adverso por la depresión endogámica, por el contrario, a excepción del P2 (Mirador), todos presentan valores positivos de DEP, lo que nos indica que conforme se avanza generacionalmente se adaptan mejor al ambiente protegido o bien se avanzó en el proceso de selección intra familiar que llevo a la selección de los mejores individuos dentro de cada familia, disminuyendo la variabilidad genética pero conservando los mejores individuos.

Un componente importante del rendimiento es el número de frutos por planta. El Cuadro 2 muestra que el progenitor materno Tampiqueño, presenta mayor cantidad de frutos por planta; sin embargo, cabe señalar que el peso promedio de dichos frutos es de 8.28 g, por lo cual el rendimiento total es bajo; sin embargo, en el mismo grupo estadístico se encuentran las poblaciones F2, P<sub>3, 4</sub> y P<sub>3, 8</sub> las cuales comparten como progenitor materno al Tampiqueño, lo que nos indica que dicho progenitor es muy productivo, característica que fue heredada a sus descendientes que en este caso presentaron 95 y 93.5 frutos por planta respectivamente.

El promedio de NFP de los progenitores hembra es de 107.5, los progenitores machos 14.7 y las poblaciones F2 es de 64.6, por lo que se puede observar, que tienen una tendencia de aumento en comparación a sus progenitores paternos; sin embargo, no alcanzan el NFP de los progenitores maternos, pero si superan el PPF de los mismos. La población F2 P<sub>2, 6</sub> sobresale en el NFP con 100 frutos por planta, sin embargo, no supera la media de los progenitores hembra, pero si la de los progenitores macho en 85%, por lo tanto, este segregante que además presenta baja depresión endogámica, puede ser uno de los más promisorios para el desarrollo de una nueva variedad de *C. annuum* para producción en invernadero.

Los resultados indican que se tuvo alta producción de frutos, respecto a los progenitores paternos. Investigadores como May *et al.* (2010) reportan que obtuvieron de 5.8 a 12.2 frutos de pimiento por planta y en esta investigación se obtuvieron desde 11.31 hasta 18.5, lo cual representa más de 51% el mayor valor registrado.

Para la variable PPF se encontró que los progenitores machos siguen mostrando los pesos más altos como era de esperarse; sin embargo, el UANShw, tuvo un valor de 197.44 y fue significativamente superior al resto de los progenitores macho, a los progenitores hembra y a las poblaciones F2. Los PPF de progenitores hembra fue de 11.46 g mientras que de los progenitores machos 151.09 g y las poblaciones F2 tienen un promedio de 37.52 g. Las progenes se salen del rango de ambos padres para esta característica, esta gran diferencia puede deberse a que la segregación transgresiva puede ser muy común en algunas especies autógamias como chile y tomate.

### **Calidad de fruto**

El análisis de varianza aplicado a las variables de calidad de fruto, muestran diferencias significativas entre progenitores y poblaciones F2 ( $p \leq 0.01$ ). En cuanto al contenido de CT la comparación de medias (Cuadro 4) muestra que las poblaciones P<sub>2, 4</sub>, P<sub>2, 5</sub> y P<sub>2, 6</sub>, fueron significativamente superiores al resto de las poblaciones F2, y progenitores, donde la media de las tres F2 indicadas superaron en 320.9% a los progenitores hembra y en 249.9% a los progenitores macho.

**Cuadro 4. Valores medios de variables de calidad de fruto de progenitores y poblaciones F2 de *Capsicum annuum*.**

Genotipos	CT (mg/0.1 kg)	CAA (mg/0.1 kg)	CAPs (SHU)
P <sub>1</sub> . Jalapeño	1 121.5 g	97.9 g	12 706.1 b
P <sub>2</sub> . Mirador	1 363.8 fg	92.833 g	12 697.2 b
P <sub>3</sub> . Serrano	1 750.4 ef	121.333 f	14 531.7 a
P <sub>4</sub> . UANOg	1 291.8 fg	136.633 def	963.6 h
P <sub>5</sub> . UANRd	1 195.3 g	137.467 def	832.1 h
P <sub>6</sub> . UANShw	1 976.4 e	172.8 ab	764.5 h
P <sub>7</sub> . UANYw	2 105.7 e	158.633 bc	557.3 h
P <sub>8</sub> . UANCn	1 749.5 ef	146.233 cde	637.9 h
P <sub>1,4</sub>	2 060.5 e	130.167 ef	9 898.2 cd
P <sub>1,5</sub>	6 544.4 b	186.667 a	7 153.1 f
P <sub>1,6</sub>	2 091.8 e	130.4 def	8 672.8 ed
P <sub>1,7</sub>	5 573 c	135.3 def	7 538.9 ef
P <sub>2,4</sub>	7 210 a	170.633 ab	8 321.1 ef
P <sub>2,5</sub>	7 272.2 a	135.2 def	4 659.8 g
P <sub>2,6</sub>	7 620.8 a	146.3 cde	7 918.1 ef
P <sub>3,4</sub>	4 985.8 d	147.1 cd	8 415.1 def
P <sub>3,8</sub>	6 427.2 b	131.5 def	10 866.7 c
DMS	506	16.78	506.5
CV	4.51	3.92	7.14

Elaboración con base a datos de laboratorio.

En este sentido es posible mencionar que la media del contenido de CT de los progenitores hembras fue de 1 411.9 mg/0.1 kg, la de los progenitores macho fue de 1 663.7 mg/0.1 kg y la de las poblaciones F2 fue de 5 531.7 mg/0.1 kg, que se resume en que las poblaciones F2 contienen 292% más contenido CT en comparación a los progenitores hembra y 232.5% más que los progenitores machos. Cabe señalar, que las poblaciones F2 se muestran más prometedoras respecto a este pigmento antioxidante, eficaz en la prevención de enfermedades degenerativas del ser humano.

Las poblaciones F2 más sobresalientes tienen en común al mismo progenitor materno, sin embargo, el chile mirador no presenta altas cantidades de CT (1 363.8 mg/0.1 kg), lo que podemos atribuir a la presencia de genes que se combinaron favorablemente para presentar altos valores de CT. El Cuadro 5 muestra que los genotipos (F1 y poblaciones F2) tuvieron valores positivos de DEP % para CT, lo cual nos indica que todos aumentaron el contenido de este antioxidante de una generación a otra (F1 a F2) siendo las poblaciones F2 P<sub>1,4</sub> y P<sub>1,6</sub> las de valores más bajos 19.4 y 31.6% respectivamente, respecto al resto de las poblaciones; sin embargo, el resto de las poblaciones tuvieron de 208.5 a 426.3% de incremento, de estos importantes pigmentos para la salud humana, respecto a su primera generación filial, lo cual los hace atractivos para su avance y selección en posteriores generaciones.

**Cuadro 5. Valores medios de los componentes de calidad nutracéutica de fruto y depresión endogámica de los genotipos de *C. annuum* observados en dos generaciones filiales.**

Genotipos	Carotenos totales (mg/0.1 kg)			Ácido ascórbico (mg/0.1 kg)			Capsaicina (SHU)		
	2017	2018	DEP (%)	2017	2018	DEP (%)	2017	2018	DEP (%)
P <sub>1</sub> . Jalapeño	6 430	1 121.5	-82.6	74.87	97.9	30.8	1 1685	12 706	8.7
P <sub>2</sub> . Mirador	742	1 363.8	83.8	55.82	92.8	66.3	1 1381	12 697	11.6
P <sub>3</sub> Serrano	5 494	1750.4	-68.1	101.27	121.3	19.8	12 138	14 532	19.7
P <sub>4</sub> . UANOg	7 498	1 291.8	-82.8	184.6	136.6	-26	939	964	2.6
P <sub>5</sub> . UANRd	7 073	1 195.3	-83.1	201.94	137.5	-31.9	845	832	-1.5
P <sub>6</sub> . UANShw	7 477	1 976.4	-73.6	187.33	172.8	-7.8	740	765	3.3
P <sub>7</sub> . UANYw	5 055	2 105.7	-58.3	172.22	158.6	-7.9	547	557	1.9
P <sub>8</sub> . UANCn	6 454	1 749.5	-72.9	187.97	146.2	-22.2	713	638	-10.5
	F1	F2		F1	F2		F1	F2	
P <sub>1</sub> x P <sub>4</sub>	1 725	2 060.5	19.4	108.72	130.2	19.7	9 375	9 898	5.6
P <sub>1</sub> x P <sub>5</sub>	1 764	6 544.4	271	109.4	186.7	70.6	5 952	7 153	20.2
P <sub>1</sub> x P <sub>6</sub>	1 589	2 091.8	31.6	89.42	130.4	45.8	7 385	8 673	17.4
P <sub>1</sub> x P <sub>7</sub>	1 380	5 573	303.8	96.11	135.3	40.8	6 253	7 539	20.6
P <sub>2</sub> x P <sub>4</sub>	1 370	7 210	426.3	109.24	170.6	56.2	7 785	8 321	6.9
P <sub>2</sub> x P <sub>5</sub>	1 765	7 272.2	312	110.24	135.2	22.6	5 950	4 660	-21.7
P <sub>2</sub> x P <sub>6</sub>	2 081	7 620.8	266.2	98.97	146.3	47.8	8 797	7 918	-10
P <sub>3</sub> x P <sub>4</sub>	1 616	4 985.8	208.5	120.29	147.1	22.3	7 862	8 415	7
P <sub>3</sub> x P <sub>8</sub>	1 761	6 427.2	265	129.79	131.5	1.3	1 2003	1 0866	-9.5

Elaboración con base a datos de laboratorio.

En cuanto al contenido de CAPs es posible observar que los progenitores hembra, sobre todo el chile Serrano fue significativamente superior al resto de los progenitores y poblaciones F2 en estudio, con 14532 SHU, el cual fue 94.83% más picante que los progenitores paternos, los cuales presentan una media de 751.2 SHU siendo estos significativamente inferiores al resto de los genotipos estudiados. Las poblaciones F2, presentan una media de 8 160.33 SHU sobresaliendo la población P<sub>3,8</sub> con 10 866.7 SHU.

Como se puede observar, las poblaciones F2 no son más picantes que los progenitores maternos, sin embargo, si presentan mayor picor si se comparan con los progenitores paternos, lo cual es prometedor si se pretende comercializar estos chiles dentro de la República Mexicana, puesto que la demanda de productos altos en picor es cada vez es más alta y se han tenido que importar oleorresinas de *Capsicum* desde África, para usos industriales (Cruz-Pérez *et al.*, 2007).

En la generación F2, las poblaciones P<sub>1,5</sub> y P<sub>1,7</sub> no solo mantuvieron el picor de F1, sino que lo aumentaron más de un 20%, sin embargo, poblaciones como P<sub>1,4</sub>, P<sub>1,6</sub>, P<sub>2,4</sub> y P<sub>3,4</sub> mantuvieron valores menores al 20% pero siguen siendo positivos, lo que indica un aumento de picor con relación a la primera generación, contrario al resto de las poblaciones, mismas que redujeron su picor en la F2.

## Variables agronómicas

Los análisis de varianza aplicados a progenitores y poblaciones F2, presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre ambos en lo referente a DAF y DAC. La comparación de medias (Cuadro 6) muestra que en la variable DAF las poblaciones F2 fueron significativamente más precoces que los progenitores, tanto maternos como paternos.

**Cuadro 6. Componentes agronómicos en progenitores y poblaciones F2 de *Capsicum annum*.**

Genotipos	DAF	DAC	ADP (cm)	DBT (mm)
P <sub>1</sub> . Jalapeño	51.63 bc	141.03 ab	206.27 a	29.243 a
P <sub>2</sub> . Mirador	88.16 a	135.66 ab	88.77 de	16.083 b
P <sub>3</sub> . Serrano	54 bc	130.33 abcd	125.67 abcde	24.85 ab
P <sub>4</sub> . UANOg	56.66 b	103.46 efg	97.5 cde	27.01 ab
P <sub>5</sub> . UANRd	56.9 b	109 defg	73.1 e	22.277 ab
P <sub>6</sub> . UANShw	49 bcd	93.7 g	70.07 e	25.523 ab
P <sub>7</sub> . UANYw	43.63 bcde	107.16 efg	88.87 de	22.87 ab
P <sub>8</sub> . UANCn	37.66 cdef	132 abc	61.67 e	18.39 ab
P <sub>1,4</sub>	27.56 ef	122.96 bcdef	119.9 abcde	23.067 ab
P <sub>1,5</sub>	28.2 ef	102.26 efg	193.1 ab	25.443 ab
P <sub>1,6</sub>	23.36 f	106.66 efg	168.87 abcd	23.537 ab
P <sub>1,7</sub>	26.03 ef	122.96 bcde	146.27 abcde	23.22 ab
P <sub>2,4</sub>	31.43 def	112.1 cdefg	110.7 bcde	18.543 ab
P <sub>2,5</sub>	27.66 ef	152.26 a	103.1 cde	20.303 ab
P <sub>2,6</sub>	29.9 ef	105.73 efg	183.43 abc	29.123 a
P <sub>3,4</sub>	39 bcdef	99.36 fg	164.1 abcd	26.76 ab
P <sub>3,8</sub>	31.2 def	137.5 ab	145.43 abcde	24.99 ab
DMS	18.77	22.051	89.301	12.05
CV	14.86	6.08	23.11	16.68

Elaboración con base a datos de campo.

Los progenitores maternos presentaron un promedio de 64.4 días a floración después del trasplante, los progenitores paternos 48.77 días, mientras que las poblaciones F2 obtuvieron su primera flor en promedio a los 29.37 días. Las poblaciones F2 siguen la misma tendencia que su primera generación filial mostrando alta precocidad. Las poblaciones F2 lograron 54.33% más precocidad con relación a sus progenitores hembras y 39.77% con relación a sus progenitores paternos, mientras que en la generación F1 presentaron alrededor de 54% de precocidad.

La población F2 P<sub>1,6</sub> presentó mayor precocidad, llegando a floración a los 23.3 días después del trasplante; sin embargo, no difiere significativamente al resto de las poblaciones F2. El progenitor hembra más tardío fue el mirador, alcanzando su primera floración a los 88 días, mientras que de los machos los más tardíos fueron el UANOg y UANRd presentando ambos su primera floración después de los 56 días.

Estos resultados difieren mucho de los parámetros del cultivo ya que se menciona que en pimiento morrón el periodo de floración oscila entre 70 y 93 días; sin embargo, en la práctica es diferente, puesto que en esta investigación los progenitores paternos tuvieron su primera floración entre los 37 y 56 días, datos similares obtuvo Moreno-Pérez *et al.* (2011) quien evaluó 13 híbridos de pimiento morrón en invernadero bajo condiciones de hidroponía, encontrando que la mayoría de sus híbridos tuvieron su primera floración 30 días después del trasplante y en su híbrido más tardío hasta 45 días después del trasplante.

Esto puede atribuirse a lo descrito por Montes *et al.* (2004) quienes señalan que la acumulación de unidades calor durante las diferentes etapas de desarrollo de *Capsicum* spp. Muestra diferencia entre tipos de chile y esta es más evidente entre los diferentes niveles de domesticación, lo que significa que las variantes silvestres muestran un inicio más lento en su desarrollo, en comparación de los cultivares domesticados, por lo que éste cultivo ya bien adaptado a las condiciones de invernadero y con su desarrollo durante los meses más calientes del año, tuvo mayor acumulación de unidades calor, mismas que se vieron reflejadas en la precocidad del cultivo.

Por lo tanto, los resultados obtenidos indican que la siembra en mayo y el trasplante en junio, permiten la floración en Julio, logrando mayor precocidad y desarrollo favorable de la planta, y se logra producción de fruto por más tiempo (hasta 8 meses) y cosechar en los meses más fríos del año logrando así precios altos en la producción en invernadero.

Cabe señalar, que el Jalapeño en su primera generación filial solo alcanzó los 117 cm de altura, mientras que en esta generación rebasó los 206 cm, lo que puede sugerir que en este genotipo y en ésta variable hubo la presencia de herencia transgresiva manifestándose en un grado superior a la generación F1 o bien esta población se está adaptando bien a las condiciones de invernadero, mismas que permiten mayor control de los factores ambientales, condiciones muy diferentes a las que estaba aclimatado o adaptado, puesto que a nivel comercial se maneja bajo condiciones de cielo abierto. Las poblaciones F2 tienen una tendencia positiva con relación a sus progenitores, presentando mayor ADP, superando en 47.24% la media de los progenitores macho y 5.45% a los progenitores hembra.

El análisis de varianza aplicado a la variable DDT muestra que las poblaciones F2 fueron estadísticamente iguales, siendo el Jalapeño Mitla y la población F2 P<sub>2,6</sub> fueron los que presentaron los mayores valores aunque fueron significativamente iguales a las poblaciones F2 y seis progenitores, a excepción del progenitor Mirador, el cual muestra el tallo más delgado, mismo que se vio reflejado en la anatomía de la planta al ser el genotipo más bajo, delgado y frágil, lo cual lo limita para una adecuada opción para producción en invernadero, puesto que aún en condiciones de ambiente controlado, riego adecuado y sanidad óptimas, la planta no logra desarrollarse adecuadamente.

Por otro lado, las poblaciones F2 estudiadas nos indican que conforme se avanza generacionalmente, las plantas se están adaptando mejor a las condiciones de invernadero, aunque es pronto asegurarlo, puesto que solo llevan una generación, pero si nos permiten observar que al igual que en la primera generación, las plantas muestran una tendencia de crecimiento indeterminada, tallos más gruesos, mejor anatomía, plantas más rígidas, erectas, bien definidas y con buena cobertura foliar.

## Conclusiones

La característica principal de la metodología empleada radica en el progreso generacional de los genotipos, a fin de avanzar en el desarrollo de nuevas variedades de chile, con características superiores a las existentes en el mercado. La técnica de cruza interracial permite explotar la variabilidad genética en *Capsicum annuum* para incrementar el rendimiento por arriba de 100 t ha<sup>-1</sup> e incrementar la calidad de fruto.

Como sucedió con las poblaciones F2 P<sub>1, 5</sub> y P<sub>3, 4</sub> que exhibieron el mayor rendimiento e incrementos en las propiedades nutraceuticas con respecto a la F1. Además, la amplia variación genética observada entre y dentro de las poblaciones F2 puede ser aprovechada mediante técnicas de mejoramiento genético por selección para el desarrollo de variedades con mayor rendimiento, características de agronómicas y calidad de fruto.

Las poblaciones P<sub>1, 6</sub>, P<sub>2, 4</sub> y P<sub>2, 5</sub> tuvieron el mayor porcentaje de depresión endogámica en rendimiento de fruto en la generación F2; sin embargo, antes de ser descartadas podrán ser consideradas en futuros estudios ya que presentaron incrementos en calidad nutraceutica en la F2 con respecto a la F1, por lo que podrían ser prometedoras para satisfacer las necesidades actuales del mercado, respecto a calidad de fruto.

## Agradecimientos

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

## Literatura citada

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. No. C/630.240 O3/2000.
- Bennett, D. J. and Kirby, G. W. 1968. Constitution and biosynthesis of capsici. J. Chem. Society C. Organic. 442-446 pp. <https://doi.org/10.1039/J39680000442>.
- Charlesworth, D. and Charlesworth, B. 1987. La depresión endogámica y sus consecuencias evolutivas. Revisión Anual de Ecología y Sistemática. 18(1):237-268.
- Cruz-Pérez, A. B.; González-Hernández, V. A.; Soto-Hernández, R. M.; Gutiérrez-Espinosa, M. A.; Gardea-Béjar, A. A. y Pérez-Grajales, M. 2007. Capsaicinoides, Vitamina C y Heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. Agrociencia. 41(6):627-635.
- De Miranda, P. C. y Anderson, M. L. 2001. La complejidad de los materiales híbridos. USA. Seed News. 15<sup>va</sup>. Edición. <https://seednews.com.br/artigos/1555-la-complejidad-de-los-materiales-hibridos-edicao-novembro-2011>.
- Duarte, R. M.; Contreras, R. L. G. y Contreras F. R. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. Biotecnia. 14(3):32-38.
- García, D. B.; Cabrera, F. A. V. y Salazar, E. I. E. 2003. Avance generacional y selección de líneas promisorias de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) tipos chonto y milano. Acta Agronómica. 52(1):1-9.
- Gaytán-Bautista, R.; Martínez-Gómez, M. y Mayek-Pérez, N. 2009. Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada F2. Agric. Téc. Méx. 35(3):295-304.

- Hernández-Leal, E.; Lobato-Ortiz, R.; García-Zavala, J. J.; Reyes-López, D.; Méndez-López, A.; Bonilla-Barrientos, O. y Hernández-Bautista, A. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3):209-215.
- Inzunza-Ibarra, M. A.; Mendoza-Moreno, S. F.; Catalán-Valencia, E. A.; Villa-Castorena, M. M.; Sánchez-Cohen, I. y Román López, A. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(4):429-436.
- Jarne, P. and Charlesworth, D. 1993. The evolution of the selfing rate in functionally hermaphrodite plants and animals. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 24:441-466. doi.org/10.1146/annurev.es.24.110193.002301.
- Lenaerts, B.; Collard, B. C. and Demont, M. 2019. Improving global food security through accelerated plant breeding. *Plant Science.* 287 (110207): 1-8. doi: 10.1016/j.plantsci.2019.110207.
- Luna-García, L. R.; Robledo-Torres, V.; Vásquez-Badillo, M. E.; Ramírez-Godina, F. y Mendoza-Villarreal, R. 2018. Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto. ITEA. Información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). 114(2):119-134.
- Martínez, S. D.; Pérez, G. M.; Rodríguez, P. J. E. y Moreno, P. E. 2010. Colecta y caracterización morfológica de ‘chile de agua’ (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(3):169-176.
- May, P.; Anastácio, M.; Castañón-Nájera, G.; Tun-Suárez, J. M.; Mendoza-Elos, M.; Mijangos-Cortés, J. O. y Latournerie-Moreno, L. 2010. Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):353-360.
- Montes, H. S.; Heredia, G. E. y Aguirre, G. J. A. 2004. Fenología del cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.). Memorias de la primera convención mundial del chile 2004. Consejo Nacional de Productores de Chiles. León, Guanajuato. 43-47 p.
- Moreno-Pérez, E.; Mora-Aguilar, R.; Sánchez-Castillo, F. y García-Pérez, V. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17(2):5-18.
- Poehlman, J. M. y Allen, D. S. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. 2<sup>da</sup>. edición. LIMUSA. México, DF. 511 p.
- SAS. 2002. Statistical Analysis System. Institute. User's Guide of SAS. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 550 p.
- SIAP-SAGARPA. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do;jsessionid=910C4EEC6F12A506AA65B22CE4DC779D](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do;jsessionid=910C4EEC6F12A506AA65B22CE4DC779D).
- Silverstein, R. M.; Webster, F. X. and Kiemle, D. J. 1998. Infrared spectrometry. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 7<sup>th</sup>. edition; John Wiley. New York. 72-108 pp.
- SMN. 2018. Servicio Meteorológico Nacional.
- Steiner-Abram A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proc. International Congress on Soilless Culture*. Wageningen, The Netherlands. 6<sup>th</sup>. Edition. 633-650 pp.