

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DESARROLLO DE VARIETADES DE CHILE PARA AGRICULTURA
PROTEGIDA, MEDIANTE SELECCIÓN POR PEDIGREE

Tesis

Que presenta **LAURA RAQUEL LUNA GARCÍA**
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Saltillo, Coahuila

Septiembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DESARROLLO DE VARIEDADES DE CHILE PARA AGRICULTURA
PROTEGIDA, MEDIANTE SELECCIÓN POR PEDIGREE

Tesis

Que presenta LAURA RAQUEL LUNA GARCÍA
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Dr. Valentín Robledo Torres
Director UAAAN

Dr. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza
Director Externo


Saltillo, Coahuila

Septiembre 2021


DESARROLLO DE VARIEDADES DE CHILE PARA AGRICULTURA
PROTEGIDA, MEDIANTE SELECCIÓN POR PEDIGREE

Tesis

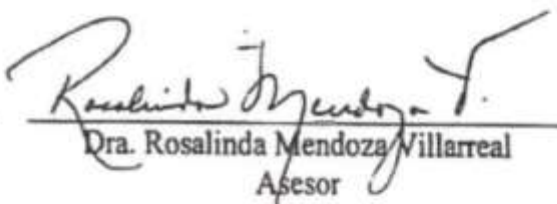
Elaborada por LAURA RAQUEL LUNA GARCÍA como requisito parcial para
obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA
con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



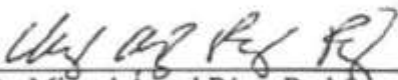
Dr. Valentín Robledo Torres
Asesor Principal




Dra. Francisca Ramírez Godina
Asesor




Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor



Dr. Miguel Ángel Pérez Rodríguez
Asesor



Dr. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Septiembre 2021

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, le agradezco concederme vivir este momento tan especial, al permitirme subir un peldaño más en mi vida profesional tomada de su mano.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro MI ALMA TERRA MATER**, por cobijarme nuevamente en este nuevo proyecto y proporcionarme las herramientas necesarias para poder culminar el Doctorado en Agricultura Protegida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**) por la beca otorgada para efectuar mis estudios de doctorado.

A **mi Comité de Asesoría**, les agradezco infinitamente su apoyo, consejos, disponibilidad, guía y sobre todo su gran paciencia y confianza en mí, antes y durante la realización del presente trabajo de tesis. De verdad los aprecio, admiro y respeto mucho a todos y cada uno de ustedes

Dr. Valentín Robledo Torres

Dra. Francisca Ramírez Godina

Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Dr. Miguel Ángel Pérez Rodríguez

Dr. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza

A las Técnico académico **Martina de la Cruz Casillas y Laura Durón Ochoa** por su ayuda y enseñanzas en la realización de mis evaluaciones de laboratorio durante mi estancia en el doctorado, además por su gran amistad. Las quiero mucho

Al **núcleo básico** y todos los que laboran en el **Departamento de Horticultura** ya que, de alguna forma u otra, todos contribuyeron en mi formación como profesionista, les agradezco las enseñanzas y el apoyo ofrecidos.

A **Ma. Concepción Tello Quintero** por su disponibilidad, paciencia y apoyo, siempre guiándome afectuosamente en la realización de todos los trámites durante mi estancia en el doctorado.

¡GRACIAS!

DEDICATORIAS

A mi hermano menor **Francisco de Jesús Luna García (+)**, Diosito te mando llamar siendo tan joven y con toda una vida por delante. No sabes lo mucho que nos duele y la falta que nos haces, tu partida vino a revolucionar totalmente nuestras vidas y sinceramente nos quitó las ganas de seguir, porque sin ti es demasiado difícil. El día que te fuiste (09-05-21), se nos terminaron las ilusiones y se acabaron los sueños, pero sé que tenemos que seguir y echarle ganas por ti, por tu familia, por tus hijos, te prometimos que no los dejaríamos solos y que los íbamos a apoyar siempre y para ello tengo que seguir adelante y culminar esta etapa, yo solo te pido intercedas siempre por nosotros tu familia y nos ayudes a ser fuertes para no rendirnos. Te quiero mucho hermano y nunca te vamos a olvidar, a pesar de ser el más chiquito, siempre fuiste nuestro apoyo y nuestro ejemplo a seguir porque con 25 años lograste cosas inimaginables, te prometo imitar tu constancia, tu entereza, tu dedicación y algún día llegar a ser un poquito de lo mucho que tú fuiste. TE AMO

A mi hijo Juan José Luna García, te dedico este nuevo éxito a ti que eres mi motor y la personita que me empuja a ser mejor cada día y superarme más profesionalmente, gracias mi amor por tu paciencia, sé que muchas veces te falle por cumplir a mis deberes y aun así me recibías con una sonrisa y aligerabas mi carga, siempre has sido un niño muy maduro y le agradezco tanto a Dios haberme elegido como tu mamá, te adoro con todo mi corazón, mi pequeño milagro. Fuiste, eres y siempre serás lo mejor que me ha pasado en la vida. TE AMO JUANJO.

A mis padres José Alfredo Luna Salas y Rosalinda García Valdez gracias papas por seguirme apoyando en cada paso que doy, gracias por su respaldo y sobre todo por su amor. Esta conquista no sería posible sin ustedes LOS AMO

A mis hermanas Karina, Maricela y Blanca, por sus ánimos para que yo siga adelante, gracias por su apoyo y cariño incondicional, por motivarme siempre a ser mejor persona. Igualmente, a mis cuñados y sobre todo a mis sobrinos **Katy, Alexis, Damián, Gael, Carlos y Allison**, por brindarme su cariño y alegría. LOS AMO

A mis abuelos terrenales **María de la Luz Salas y Santiago Luna** por quererme tanto y por siempre creer en mí y a mis abuelos celestiales **José García Pérez (+) y Manuela Valdez (+)** porque sé que siempre me cuidan y acompañan a donde quiera que voy.

Esta estancia me fue muy difícil emocionalmente, debido a tantas pérdidas familiares (8), me caí muchas veces llorando sus partidas, pero la vida sigue y en su memoria tenemos que seguir adelante, por eso le dedico este logro a todos mis familiares que ya no están físicamente (+). Me hacen mucha falta. Los extraño mucho.

A todos mis compañeros y amigos de **MCH y DAP** por compartir momentos inolvidables y por el apoyo y la amistad brindada

Carta de aceptación de 1er. artículo



Estimado doctor Robledo-Torres,

Buenas tardes, el motivo de mi mensaje, es para comunicarle que su manuscrito con número de referencia: **2423-20** titulado **“Comportamiento agronómico y nutracéutico de poblaciones F2 desarrolladas de cruzas interraciales de Chile”** es publicado en el **Vol. 12(1) 2021** de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (REMEXCA).

Si tuviera alguna duda o comentario, estoy para apoyarlo

Saludos cordiales,

Lic. Irais Alvarado Pérez

Asistente editorial

Dra. Dora M. Sangerman-Jarquín
Editora en Jefa de la Revista
Mexicana de Ciencias Agrícolas

Campo Experimental Valle de México
Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5
Coatlinchan, Texcoco, Edo. de México, México
C. P. 56250. Tel. 55 38 71 87 00 Ext. 85353

ISSN impreso: 2007-0934

ISSN on line: 2007-9230



Carta de aceptación del segundo artículo

05 de enero 2021

Tony Elders

Dear Dr. Valentin Robledo Torres

I am pleased to inform you that your manuscript entitled, "Selection of F3 populations of *Capsicum annuum* for greenhouse production", has been accepted for publication in AJCS.

Please find the invoice, read it carefully and let me know with the proof of your transaction as soon as you made the payment.

As you agreed to pay the English edition fee, we will edit your manuscript with minimum alterations before publication and you do not need to do anything else until the galley proof of your manuscript is ready (proof stage).

Please be notified that after payment your manuscript will be queued for publication (unless you choose to use the rapid scheme see: item 3 in your publication invoice attached).

Please do not hesitate to contact me if you have any other questions.

Regards
Tony Elders
AJCS Managing Editor

--

Kind Regards
Tony Elders
AJCS Managing Editor
QLD 4074
AUSTRALIA



Southern Cross Publishing

AUSTRALIA
ISSN: 1835-2707

PUBLICATION TAX INVOICE
Australian Journal of Crop Science
ISSN 1835-2707 (Online)
ISSN: 1835-2693 (Print)

Date: 24/08/2020

Ref No: AJCSPRE3046

PLEASE Quote the number in YELLOW BOX in your payment - PMS3046240820

To: Dr. Valentin Robledo Torres

I am pleased to inform you that your manuscript, "Selection of F3 populations of *Capitatum arizonicum* for greenhouse production", has been accepted for publication in the Australian Journal of Crop Science.

As you might know, AJCS is an open access journal and costs of publication will be charged to authors. Therefore, you need to pay the following fees before publication.

Your manuscript will be published in www.crosci.com as soon as possible and you need to pay your contribution fee immediately.

Costs of Publication:

- 1) English grammar proofreading: 210 AUD
- 2) Editorial fee and typesetting: 550 AUD Dollar (including GST)
- 3) **Urgent publication scheme (200 AUD):** Authors that are in urgent need to publish their papers can use this scheme.
- 4) Printed copy (350 AUD) [contact me if you would like to order]: N/A

Publication fee:	5550 AUD (Australian dollars)
English Editing Service	\$210
Bank or PAYPAL Transaction fee	\$0.22
Total Payable	\$760.22 AUD

Please transfer the publication fee by one of the three following easy methods:

Preferable method 1 : (Instant and Secure)

1) You can also easily pay by PayPal (if you have a PayPal account linked to your bank account or DEBIT CARD). You just need to create a PayPal account (simple as creating an email account) and then click on "Send Money" icon on your PayPal account web page then enter amount and the email address: payment@crosci.com on required email box and follow the instruction.

2) SOUTHERN CROSS PUBLISHING

Bank name: National Bank Australia (NAB)
Address: Mt Ommaney Centre, 171 Dandenong Road
Mount Ommaney
QLD, 4074
AUSTRALIA
BSB: 084961
Account number: 988406288
SWIFT code: NATAAU3304B

Send the bank receipt as an email attachment (It usually takes up to a week until the payment be deposited).

3) Western Union

Pay to: Dr. Ardashir KHARABIAN MASOULEH
Address: 3 Cookaba St, Riverhills, QLD 4074, Australia
Please send payment details: MTCN, Payer Name, Amount paid and Origin country by email directly to me:
toy.olders@gmail.com

4) Pay by Credit Cards or Debit Cards (Powered by PayPal but you DO NOT need a PayPal account)(Instant and Secure)

>Go to the main website of journal: <http://www.crosci.com>

>On the left bottom hand side of page find the Pay Now button

>Enter your manuscript reference number and click Pay Now

>You will be redirected to the PayPal page for Southern Cross Publishing

> Follow the prompt for payment and provide your credit or debit card details (Always look for "Pay with a Card" icon)

DISCLAIMER: This journal is a peer-reviewed and fully refereed journal. It is not a profit-making organization and should not be used for any commercial purposes. The journal is only sold for a limited time. Please contact us if you have any queries. Please CONTACT us about your subscription requirements. Your manuscript submission to this journal for AJCS does not include any charges for publication (after making my payment which would be the subscription).

Toyng Olders (AJCS Managing Editor)

Australia

Índice

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
Carta de aceptación de 1er. artículo	vii
Carta de aceptación del segundo artículo.....	viii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen, Importancia y Rendimientos	4
Importancia nutracéutica de <i>Capsicum annuum</i>	5
Producción en Invernadero.....	7
Mejoramiento Genético De Las Plantas	8
Heterosis.....	9
Métodos de Selección.....	10
PRIMER ARTÍCULO.....	12
SEGUNDO ARTÍCULO	31
CONCLUSION GENERAL	52
BIBLIOGRAFIA	52

INTRODUCCIÓN

Capsicum annuum es una de las especies cultivadas más importante en todo el mundo. En México se encuentra la mayor diversidad de la especie (SIAP, 2017) y es el segundo país más importante en producción a nivel mundial con un área sembrada de 154 mil hectáreas, cuyo valor supera los 24 mil millones de pesos (SIAP, 2020) generando 3,027,855.06 toneladas, por lo cual, ocupa el primer lugar como exportador a nivel mundial (SIAP-SAGARPA, 2020). 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). Además de su importancia económica y productiva tiene un fuerte impacto social en las diferentes zonas de producción ya que constituye una importante base de ingresos para pequeños, medianos y grandes productores en toda la República Mexicana, siendo un cultivo de suma relevancia generando hasta 30 millones de jornales al año debido a que alrededor de 12,000 agricultores se dedican a él (SIAP, 2018). Sus beneficios se extienden colateralmente hacia la industria de agroquímicos, transporte, almacenamiento y comercio en general (Ramírez Meraz *et al.*, 2019). Además, proporciona vitaminas, antioxidantes, minerales y fibra que son componentes indispensables para la salud y la nutrición humana, siendo una fuente de nutrientes para consumidores e importante materia prima para el sector industrial.

Sin embargo, pese al 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 en 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 20.16 t·ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2020) y es el estado de Sinaloa el de mayor productividad con 39 t·ha⁻¹, debido a su tecnificación, aunque se considera bajo, ya que a nivel experimental se reportan rendimientos de 48.8 t·ha⁻¹ (Ibarra, *et al.* 2007) y hasta 65.4 t·ha⁻¹ (Duarte *et al.*, 2012). A pesar de que en México existe la mayor diversidad en *Capsicum*, su producción es limitada frente a la producción de China, debido a que el 60% de los chiles verdes que se consumen en México vienen de dicho país y sólo 4 de cada 10 toneladas son producidas en México (Seva Rivadulla, 2019). Aunado a eso el chile enfrenta otros problemas relacionados con la oferta limitada de cultivares nacionales de mayor capacidad de adaptación a los agro ecosistemas hortícolas y la semilla híbrida proviene de empresas transnacionales a costos muy elevados Hernández-Leal *et al.*,

(2013), lo que obliga 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. Sumado a ello, hay una declinación de la producción que está asociada con los problemas que enfrenta actualmente la agricultura mundial como el acelerado crecimiento poblacional, el clima cada día más impredecible, la creciente urbanización debido a la conversión de tierra agrícola en urbana 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). Es ahí donde entra la importancia de la agricultura protegida, sin embargo, actualmente solo el 15.5% de la producción de Chile verde (jalapeño, serrano, poblano, pimiento, entre otros) proviene de estos sistemas de producción, en la cual además de proteger el cultivo, se usan materiales adaptados a estas condiciones ambientales y sofisticadas tecnologías de producción (Clausen *et al.*, 2017). Estos sistemas de producción son altamente eficientes y a fin de que sean rentables, utilizan semillas mejoradas que permiten reducir el ciclo fenológico, para lograr alta productividad en menor tiempo y con alta calidad de los productos finales. Por lo cual es necesario crear soluciones factibles para contrarrestar estos problemas, siendo el mejoramiento genético una de las alternativas a mediano plazo más importantes para solucionar problemas de bajos rendimientos de los cultivos (García *et al.*, 2003) desarrollando nuevas variedades, con mayor adaptación a estas condiciones, a fin de obtener cultivares de alto rendimiento y alta calidad de fruto y en la medida que se favorezca la máxima expresión del potencial genético de los cultivares, se garantizará la sostenibilidad y rentabilidad de los cultivos. Un buen programa de mejoramiento debe de permitir hacer una adecuada selección que ayude a garantizar un producto final de calidad, mediante la combinación de caracteres hortícolas deseables ya sea por hibridación o por el método de pedigrí para desarrollar variedades (Márquez, 1988).

Objetivo general

- El objetivo del presente trabajo fue formar híbridos y variedades para AP, de alto potencial de rendimiento y calidad de fruto.

Objetivos específicos

- Estudiar características de interés agronómico y calidad nutracéutica.

- Comparar el rendimiento de fruto y otras características agronómicas y de calidad de híbridos F1 de chile con respecto a su F2.
- Evaluar la generación F2 y seleccionar los mejores genotipos para su evaluación en la siguiente generación (F3).
- Evaluar la generación F3 y avanzar en el proceso de desarrollo de variedades para agricultura protegida
- Avanzar en la selección de materiales para agricultura protegida

Hipótesis

- El comportamiento agronómico de la generación F2 y F3 no difiere significativamente de la generación F₁

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen, Importancia y Rendimientos

Capsicum es un género de plantas angiospermas, dicotiledóneas nativo de las regiones tropicales y subtropicales de América y que pertenecen a la familia de las solanáceas. Comprende 40 especies aceptadas, de las casi 200 descritas y solo cinco han sido domesticadas y extendidas con diferentes fines dependiendo de la región del cultivo (*C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, y *C. pubescens*), mismas que presentan gran diversidad en cuanto a características del fruto y de la planta, encontrando herbáceas o arbustivas, generalmente anuales, aunque las especies cultivadas se han convertido en perennes en condiciones favorables.

La importancia de esta especie, radica en que es una hortaliza y/o condimento muy cotizado, conocido y consumido mundialmente (Laborde y Pozo, 1984). *C. annuum* es demandado por su valor nutricional, contenido de vitaminas y principalmente su agradable sabor en la preparación de alimentos en muchos países del mundo (Casseres, 1984).

La tradición del consumo de chile en México ha perdurado desde tiempos prehispánicos y forma parte de la dieta diaria de los mexicanos, junto con los productos derivados del maíz (*Zea maíz* L.), calabaza (*Cucúrbita pepo* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Castellón-Martínez, *et al.*, 2012)

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos más importantes en México por su gran consumo en la población, por el valor de su producción y por la alta demanda de mano de obra que genera. Se cultiva en casi todos los estados de la república desde altitudes a nivel del mar hasta los 2500 msnm, con un rendimiento promedio de 21.81 ton ha⁻¹ en chile verde (SIAP-SAGARPA, 2020).

De acuerdo al *Avance de Siembras y Cosechas* del SIAP (2021), en el año 2020 se registró una superficie sembrada de 154,347 ha, la cosechada fue de 150,161 ha, con una producción de 3,027,855 ton con un rendimiento promedio de 20.16 ton/ha, es importante mencionar que esta estadística se refiere a chile verde, no existen datos que muestren la producción diferenciada por tipo de chiles, destacando Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas como principales productores del cultivo con más de la mitad del volumen nacional en su conjunto. En el caso de Sinaloa, un estado con alto grado de tecnificación,

se registró una cosecha de 40 t ha⁻¹, en Chihuahua, 20 ton ha⁻¹, mientras Zacatecas, el de mayor superficie sembrada reportó 7 ton ha⁻¹ (SIAP 2012-2013). Sin embargo en algunos trabajos de investigación se ha logrado incrementar este rendimiento, gracias al uso de la agricultura protegida en interacción con una fertilización adecuada, como lo indica Duarte, *et al.*, (2012) quien menciona que la mayor producción y calidad de chile jalapeño se obtuvo con uso de gallinaza + 80N, el cual presentó un rendimiento de 65.2 t ha⁻¹, en comparación con 43.3, 17.2 y 16.2 t ha⁻¹ obtenidos con las siguientes fórmulas de fertilización; 150N-150P, 5 t ha⁻¹ de estiércol y testigo, respectivamente.

Mientras que el chile Mirador es un recurso valioso de gran importancia económica y social en la región de El Mirador, Chicontepec, Veracruz, México, además de tener un excelente sabor y la característica de no irritar el estómago, debido a que tiene una pungencia intermedia. Sin embargo, su producción se ve limitada debido a que en la etapa fenológica de floración se presenta un alto porcentaje de caída de flor (Ramírez *et al.*, 2010), por lo que dichos investigadores aplicaron algunos biorreguladores para mejorar algunas características fisiológicas y bioquímicas, logrando rendimientos promedio que van de 350 a 500 gramos por planta.

En cuanto al rendimiento promedio de chile serrano se reportan 55 ton ha⁻¹ para el cultivar Tampiqueño 74, mientras que otros cultivares presentan rendimientos de 75 ton ha⁻¹ (SAGARPA-INIFAP 2010).

El rendimiento de chile pimiento (*Capsicum annuum L.*) en invernadero en México es 80 t ha⁻¹ con densidades de 9 a 10 plantas·m⁻² (Maroto, 1989). En Italia, manejan un promedio de 41.5 t ha⁻¹ cuando se cosecha el fruto verde, y 36.3 t ha⁻¹ cuando se cosecha maduro (Miccolis *et al.*, 1999). En Israel, el rendimiento medio es 16 kg m⁻² (Bart Tal *et al.*, 2000). En Alemania el rendimiento fue 17 kg m⁻² (Paschold y Zengerle, 2000) bajo cultivo en invernadero, mientras que SEMINIS (2015) reporta 150 ton ha⁻¹, concluyendo que la tecnología de producción en invernadero ha incrementado el rendimiento por unidad de superficie.

Importancia nutracéutica de *Capsicum annuum*

C. annuum considerado una fuente importante de antioxidantes, se compone principalmente de agua, carbohidratos, fibra, proteína, vitaminas A, B1, B2, B6, azufre, calcio, hierro, magnesio, potasio, sodio, magnesio, y yodo. 2. Los chiles rojos contienen grandes cantidades de vitamina C y A, más que los amarillos y verdes. El consumo de frutos de chile provee beneficios a la salud debido a que está relacionado con la

prevención de enfermedades anticancerosos, analgésicos, antiinflamatorios, y antimicrobianos

La vitamina C o ácido ascórbico es un monosacárido hidrosoluble que se encuentra en alimentos, es destruido por el calor, la oxidación y los álcalis, se clasifica como un antioxidante exógeno, es decir; que debe ser ingerida en la dieta, mediante frutos, hortalizas o suplementos vitamínicos (Estrella, *et al.*, 2015)

La vitamina C es un antioxidante hidrosoluble más efectivo presente en el plasma, atrapa y reduce nitritos; evitando la formación de compuestos carcinogénicos N- nitrosos. La vitamina C es conocido como un antioxidante importante, relacionado con la protección contra enfermedades cardiovasculares, también se ha demostrado que ejerce un efecto protector contra el daño oxidativo de los constituyentes celulares y lipoproteínas circulantes (Martí *et al.*, 2018).

La vitamina C favorece la absorción de hierro a nivel intestinal, regenera la forma oxidada de la vitamina E y como antioxidante neutraliza el oxígeno atómico y captura radicales hidroxilos, disminuyendo así los daños oxidativos de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos causados por especies de oxígeno reactivo, que incluyen los radicales libres que es un fenómeno continuo con implicaciones en el envejecimiento y la carcinogénesis (Oxilia, 2014). Estudios indican que la vitamina C puede impedir mutaciones en el ADN humano, y a altas concentraciones puede reducir mutaciones causadas por el estrés oxidativo en células humanas *in vitro* (Da Silva, *et al.*, 2011)

Los pigmentos carotenoides son compuestos responsables de la coloración de gran número de alimentos vegetales y animales, como zanahorias, chiles, zumo de naranja, tomates, salmón y yema de huevo. Desde hace muchos años, se sabe que algunos de estos compuestos, como a y b-caroteno, así como la b-criptoxantina, son provitaminas A. No obstante, estudios recientes han puesto de manifiesto las propiedades antioxidantes de estos pigmentos, así como su eficacia en la prevención de ciertas enfermedades del ser humano, como la aterosclerosis o incluso el cáncer. Todo ello ha hecho que, desde un punto de vista nutricional, el interés por estos pigmentos se haya incrementado notoriamente (Meléndez-Martínez, *et al.*, 2004).

Los capsaicionoides son un conjunto de metabolitos y/o compuestos químicos responsables de la pungencia o picor en el fruto de la planta de chile (*Capsicum annuum*

L.). La Capsaicina y la dihidrocapsaicina son responsables de 90% de la pungencia del fruto; el resto de los capsaicinoides participan en menor medida en el picor, pero contribuyen fuertemente a la diversidad de sabores picantes en las diferentes especies de *Capsicum*. Los capsaicinoides son sintetizados a partir de intermediarios de la ruta de los fenilpropanoides y, en algunos casos, son clasificados químicamente como alcaloides (Sánchez-Segura, 2015). La Capsaicina es un componente activo del género *Capsicum*, se encuentra de manera natural en los frutos, aunque en distintas proporciones, ya que varía de acuerdo al genotipo, las condiciones de crecimiento de la planta (fotoperiodo, pH del suelo, humedad, nutrientes, altitud) y la maduración del fruto (Sánchez-Segura, 2015). La Capsaicina es sintetizada por las plantas como un medio de defensa ante el ataque de animales, además es un efectivo analgésico externo que se absorbe bien a través de la piel y antiinflamatorio, actualmente se le atribuyen propiedades anticancerígenas al inducir apoptosis en estudios realizados con líneas celulares de cáncer de páncreas, es eficiente para el tratamiento de varias patologías degenerativas como artritis y osteoartritis (Mejía Yáñez, 2013) y es un importante ingrediente de los aerosoles de gas pimienta para protección personal (Cedrón, 2013)

La Capsaicina (trans-8-metil-N-vanillil-6-nonenamida) confiere la característica picante a los frutos de chile. Este compuesto tiene actividad analgésica y antiinflamatoria, y se utiliza con fines terapéuticos para tratar dolores provocados por la artritis reumatoide y la neuropatía diabética. No obstante, los argumentos de beneficios o efectos dañinos de la Capsaicina son controvertidos; algunas referencias señalan que la Capsaicina es un agente carcinógeno, co-cancerígeno o promotor de tumores, mientras que otras remarcan sus efectos quimiopreventivos y quimioterapéuticos (Surh y Lee, 1995; Surh, 2002). Según Luo *et al.* (2011), los capsaicinoides (Capsaicina, dihidrocapsaicina nordihidrocapsaicina, homodihidrocapsaicina, homocapsaicina, etc.) ejercen múltiples efectos fisiológicos en la salud humana por su valor potencial en la clínica de alivio del dolor, la prevención del cáncer y la pérdida de peso, que incluye la actividad de antioxidante.

Producción en Invernadero

En México, la producción de hortalizas en invernadero se localiza en zonas desérticas del norte y en el centro del país, donde la escasez de agua limita la agricultura de riego, cultivándose principalmente tomate, pimiento y pepino. La superficie cultivada en

invernadero se incrementó de 350 ha en 1997 (Steta, 1999) a 748 en 2001 (AMPHI, 2001). En el año 2004 existían 2,545 hectáreas operando y 669 hectáreas en construcción (Guantes-Ruíz, 2006). Sin embargo, para el 2014 se tenían 23,482.9 ha de agricultura protegida (SAGARPA, 2016) y para 2018 existían 40,862 ha. Esto se explica por la demanda de productos hortícolas de buena calidad de Estados Unidos, Canadá y el Norte de Europa, principalmente durante los meses de invierno, cuando las condiciones de luz y temperatura limitan la producción agrícola en esos países, además de la protección de los cultivos ante el cambio climático actual. La tecnología utilizada en la producción y los diferentes tipos de estructura de invernaderos son importados de Israel, España, Canadá y Holanda (Steta, 1999). Además, mediante la tecnología de invernaderos se obtienen mayores rendimientos y mejor calidad de frutos, se puede producir cuando no es posible hacerlo a campo abierto lo que se traduce en mejores precios en el mercado (Macías *et al.*, 2003). La Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC) estima que el 50% de la superficie de agricultura protegida en el país se concentra en Sinaloa (22%), Jalisco (15%) y Baja California (12%) (SAGARPA, 2018)

Mejoramiento Genético De Las Plantas

El Fitomejoramiento, en un sentido amplio, es el arte y la ciencia de alterar o modificar la herencia de las plantas para obtener cultivares (variedades o híbridos) mejorados genéticamente, adaptados a condiciones específicas, de mayores rendimientos económicos y de mejor calidad que las variedades nativas o criollas. En otras palabras, el Fitomejoramiento busca crear plantas cuyo patrimonio hereditario esté de acuerdo con las condiciones, necesidades y recursos de los productores rurales, de la industria y de los consumidores, o sea de todos aquellos que producen, transforman y consumen productos vegetales (Vallejo, 2002). La mejora genética se basa en la variabilidad genética y el empleo de métodos de selección cada vez más precisos (Yagüe Sancho, 2020)

La aptitud combinatoria es la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez, 1988). Se denominan cruza dialélicas a las cruza simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto de líneas progenitoras y para su estudio existen varios diseños de análisis dialélico, que permiten conocer los efectos de ACG y ACE, pero el más utilizado es el de Griffing (1956 a,b), en sus cuatro métodos: 1) progenitores y sus cruza F1 directas

y recíprocas, 2) progenitores y cruzas F1 directas, 3) cruzas F1 directas y recíprocas y 4) cruzas F1 directas. Lo cual es de gran importancia para la toma de decisiones en programas de mejoramiento genético, ya que, si la aptitud combinatoria específica es más importante que la aptitud combinatoria general, la formación de híbridos será más promisorio, debido a que es posible aprovechar los efectos de dominancia (Camposeco, 2015). Los métodos de Griffing para análisis dialélicos se usan para selección en plantas porque generan información sobre el comportamiento de las cruzas y sus progenitores, así como la acción génica, heterosis o depresión endogámica (Murray *et al.*, 2003)

Heterosis

La explotación de la heterosis es uno de los medios más prácticos para aumentar el rendimiento en los cultivos, ya que nos da la posibilidad de obtener mejores individuos por la combinación de las virtudes de sus padres, lo que nos ayuda para generar germoplasma útil a los programas nacionales de mejoramiento genético, con mejores cualidades y adaptación y que permita la obtención de líneas, variedades sintéticas e híbridos en menos tiempo (De los Ángeles *et al.*, 2016), heterosis más altas en caracteres de rendimiento y calidad nos ayuda a identificar los cruces superiores para generar dichos genotipos.

La Heterosis es la expresión de un carácter en la progenie más allá de los límites de expresión manifestada en sus progenitores que tiene origen en los efectos genéticos principalmente de dominancia y en la diferencia genotípica de frecuencias génicas (Falconer y Mackay 1996) La Heterosis ha sido ampliamente utilizada en programas de mejoramiento de muchos cultivos para la identificación de poblaciones genéticamente divergentes, como base para el desarrollo de líneas endogámicas a ser usadas en cruzamientos F1 (Hallauer, *et al.*, 2010) mientras que la Heterobeltiosis se refiere al fenómeno en el que el híbrido F1 obtenido por el cruce de dos padres genéticamente distintos muestra superioridad sobre el mejor padre en uno o una combinación de caracteres.

Diversos investigadores han reportado efectos de heterosis alta en *Capsicum spp.*, para largo y diámetro de fruto, número de semillas por fruto, rendimiento y contenido de Capsaicina por planta (Sousa y Maluf, 2003; Seneviratne y Kannangara, 2004), rendimiento y calidad de frutos (Milerue y Nikornpun, 2000; Pérez-Grajales *et al.*, 2009), peso de semilla por fruto, peso de 100 semillas, número de frutos por plantas

(Mishra *et al.*, 1989), contenidos de Vitamina C y capsaicinoides en diferentes grados de madurez de fruto (Cruz-Pérez *et al.*, 2007), materia seca de fruto por planta, incidencia de *Xanthomonas* (Blank y Maluf, 1997; Sousa y Maluf, 2003) y para contenido de Capsaicina (Zewdie *et al.*, 2000; Zwedie y Bosland, 2000). La mayoría de esos estudios se han realizado en *C. annuum*, y en pocas investigaciones se ha determinado la magnitud de heterosis en otras especies, como *C. chinense* y *C. pubescens*.

En el estudio de heterosis y heterobeltiosis de genotipos de pimiento picante (*Capsicum annuum* L.) en el sur de Etiopía, con los objetivos de determinar la magnitud de la heterosis y la heterobeltiosis para el rendimiento y la calidad, y así identificar y seleccionar híbridos F₁ superiores. Se utilizaron 55 genotipos de pimiento picante que incluyeron 10 padres de pimiento picante y 45 F₁ Híbridos obtenidos y los resultados obtenidos confirmaron que la heterosis varió de -51.50% en peso seco de fruta a 97.66% en rendimiento de fruta fresca, lo que indica la existencia de heterosis suficiente que puede explotarse en los programas de mejoramiento de pimiento picante. La investigación confirmó la existencia de un potencial genético variable para la explotación de la heterosis para el rendimiento y la calidad, incluido el contenido de oleorresina en *Capsicum* (Shumbulo, *et al* 2017)

Rao, *et al.*, (2017) en su investigación en Bangalore, al estudiar la magnitud de la heterosis en 33 cruces derivados del cruce entre tres líneas y once probadores en línea × probador. Descubrieron una alta heterosis para el rendimiento total de la fruta y otros rasgos que atribuyen el rendimiento en el pimiento (*Capsicum annuum* L.). Estas combinaciones cruzadas podrían aprovecharse para el programa de mejoramiento de desarrollo híbrido F1 nativo en pimiento en el futuro

Métodos de Selección

La selección de los métodos de Fitomejoramiento y los parámetros de selección dependerán en el mecanismo de reproducción, la heredabilidad de los caracteres incluidos en el programa de mejoramiento (por ejemplo, alta vs. baja heredabilidad) y el tipo de material a liberar comercialmente (por ejemplo, híbrido F1, línea pura, variedad sintética, etc.)

Los métodos de selección convencionalmente utilizados incluyen Pedigree, Pedigree Modificado, Selección Masal, Selección Masal Estratificada, Selección Recurrente, Retrocruza a Línea Endogámica, entre otros.

De cada familia se deben seleccionar líneas avanzadas prometedoras y éstas deben ser evaluadas meticulosamente y comparadas a los testigos de manera rigurosa en varios ambientes

Cada ciclo el genetista selecciona el germoplasma que será avanzado a la siguiente generación y al final del ciclo de cultivo se efectúan nuevas selecciones y se vuelve a decidir qué familias o individuos pasarán a la próxima generación creando así un proceso cíclico que concluye cuando los objetivos se han logrado e híbridos exitosos son liberados y son utilizados comercialmente.

PRIMER ARTÍCULO

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y NUTRACÉUTICO DE POBLACIONES
F2 DESARROLLADAS DE CRUZAS INTERRACIALES DE CHILE

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

Laura Raquel Luna García¹

Valentín Robledo Torres^{1§}

Francisca Ramírez

Godina² Rosalinda

Mendoza Villarreal¹

Miguel Ángel Pérez Rodríguez³

Francisco Alfonso Gordillo Melgoza⁴

¹Departamento de Horticultura, ²Departamento de Fitomejoramiento, ³Departamento 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; rosalindamendoza@hotmail.com. ⁴Stoller 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_{1,7} y P_{3,4}) 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⁻¹. Todas 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⁻¹.

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 (Baena *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⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2018) y es Sinaloa el de mayor productividad con 39 t ha⁻¹, debido a su tecnificación, aunque se considera bajo, ya que a nivel

experimental se reportan rendimientos de 48.8 t ha⁻¹ (Inzunza-Ibarra, *et al.*, 2007) y hasta 65.4 t ha⁻¹ (Macías-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 agro ecosistemas hortícolas y la semilla híbrida proviene de empresas transnacionales 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 (Teichert y De Miranda 2011).

Además, en especies autógamas 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 cruza interracial, 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 annuum* 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. annuum*.

Genotipos	Descripción	
Progenitores hembras		
P₁. UANJal	Tipo Jalapeño color verde oscuro	
P₂. Criollo Mirador	Tipo Mirador del estado de Veracruz	
P₃. Tampiqueño 74	Tipo Serrano de origen comercial	
Progenitores machos		
P₄. UANog	Pimiento Naranja de origen selección	
P₅. UANRd	Pimiento Rojo de origen selección	
P₆. UANShw	Pimiento Verde, de alto vigor	
P₇. UANYw	Pimiento amarillo de origen selección	
P₈. UANCn	Pimiento verde de buen comportamiento en campo abierto	
Híbridos F1	Descripción	
	Poblaciones F2 derivadas	
	de F1	
P₁ x P₄	Cruza UANJal x UANog	P _{1,4}
P₁ x P₅	Cruza UANJal x UANRd	P _{1,5}
P₁ x P₆	Cruza UANJal x UANShw	P _{1,6}
P₁ x P₇	Cruza UANJal x UANYw	P _{1,7}
P₂ x P₄	Cruza Mirador x UANog	P _{2,4}
P₂ x P₅	Cruza Mirador x UANRd	P _{2,5}
P₂ x P₆	Cruza Mirador x UANShw	P _{2,6}
P₃ x P₄	Cruza Serrano x UANog	P _{3,4}
P₃ x P₈	Cruza Serrano x UANCn	P _{3,8}

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 F₁

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⁻¹. Se realizaron podas a dos tallos y tutoreo tipo holandés. El riego por goteo inicial fue de 0.5 L planta⁻¹ día⁻¹, con un incremento paulatino hasta 3.5 L planta⁻¹ día⁻¹, 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, paratrioza 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 F2, 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:

$$\text{mg/ 0.1 kg} = \frac{\text{ABS}_{454} \times 3,85 \times V \times 100}{P}$$

Donde:

%Abs₄₅₄ = 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⁻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 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® 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_{1,5} y P_{3,4} fueron las que presentaron el rendimiento por planta más alto con 2 735.5 y 2764 g planta⁻¹ respectivamente.

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

Genotipos	RTO (g planta ⁻¹)	NFP	PPF (g)
P₁. Jalapeño	1 095 abc	90.3 abc	14.77 f
P₂. Mirador	412.6 c	77.72 bcd	11.35 f
P₃. Serrano	972.9 bc	154.67 a	8.28 f
Genotipos	RTO (g planta ⁻¹)	NFP	PPF (g)
P₄. UANOg	1 708.9 abc	14.56 d	124.16 b
P₅. UANRd	1 661 abc	13.67 d	142.54 b
P₆. UANShw	1 882.5 abc	11.31 d	197.44 a
P₇. UANYw	2 312.2 ab	18.53 cd	148.66 b
P₈. UANCn	1 542.3 abc	15.67 d	142.67 b
P_{1,4}	2 520.9 ab	47.44 bcd	52.83 d
P_{1,5}	2 735.5 a	40.67 bcd	78.59 c
P_{1,6}	1 338.2 abc	53.67 bcd	21.25 ef
P_{1,7}	2 123.4 abc	48.64 bcd	41.77 de
P_{2,4}	1 926.9 abc	47.89 bcd	30.92 def
P_{2,5}	1 737.1 abc	55.08 bcd	30.17 def
P_{2,6}	2 723.2 ab	100 ab	28.18 def
P_{3,4}	2 764 a	95 ab	26.17 ef
P_{3,8}	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 F2, aun así, son prometedoras para el desarrollo de variedades de chile Jalapeño y Serrano. El genotipo que presentó menor RTF fue el P_{1, 6} con un rendimiento de 1 338.2 g planta⁻¹. Cabe señalar, que existen diferencias en comparación con su primera generación filial (F1), debido a que la mayoría de las poblaciones F2 presentan pérdida de vigor, claramente producida por la homocigosidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores medios del rendimiento y depresión endogámica en poblaciones F2 de *Capsicum annuum* observados en dos generaciones filiales.

Genotipos	RTF 2017 (g planta ⁻¹) 2016-2017	RTF 2018 (g planta ⁻¹)	Depresión DEP (%) Endogámica (DE%)
P₁. Jalapeño	1 098 bc	1 095 abc	-0.3
P₂. Mirador	551 c	412 c	-25.1
P₃ Serrano	831 c	972 bc	17.1
P₄. UANOG	1 664 bc	1 708 abc	2.7
P₅. UANRD	1 482 bc	1 661 abc	12.1
P₆. UANSHW	1 243 bc	1 882 abc	51.4
P₇. UANYW	1 293 bc	2 312 ab	78.8
P₈. UANCN	1 227 bc	1 542 abc	25.7
	F1	F2	
P₁ x P₄	2 586 abc	2 520 ab	-2.5
P₁ x P₅	3 584 a	2 735 a	-23.7
P₁ x P₆	2 991 ab	1 338 abc	-55.3
Genotipos	RTF 2017 (g planta ⁻¹) 2016-2017	RTF 2018 (g planta ⁻¹)	Depresión DEP (%) Endogámica (DE%)
P₁ x P₇	1 980 abc	2 123 abc	7.2
P₂ x P₄	2 764 abc	1 926 abc	-30.3
P₂ x P₅	2 828 abc	1 737 abc	-38.6
P₂ x P₆	3 247 a	2 723 a	-16.1
P₃ x P₄	2 633 abc	2 764 a	5
P₃ x P₈	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⁻¹, obtenidos de la población F2(P_{3, 4}) con una densidad de 41 667 plantas ha⁻¹, permitió estimar rendimientos de hasta 115 167 t ha⁻¹, donde aun teniendo 10% de fallas o 10% de espacio no aprovechable se superan las 100 t ha⁻¹, por lo tanto las poblaciones F2 (P_{1, 5}; P_{2, 6}; P_{3, 4} y P_{3, 8}), 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) mencionan 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_{1, 7} y P_{3, 4} 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-Sánchez *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_{3, 4} y P_{3, 8} 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_{2, 6} 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 progenies 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 autógamas 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_{2, 4}, P_{2, 5} y P_{2, 6}, 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 annum*.

Genotipos	CT (mg/0.1 kg)	CAA (mg/0.1 kg)	CAPs (SHU)
P₁. Jalapeño	1 121.5 g	97.9 g	12 706.1 b
P₂. Mirador	1 363.8 fg	92.833 g	12 697.2 b
P₃. Serrano	1 750.4 ef	121.333 f	14 531.7 a
P₄. UANOg	1 291.8 fg	136.633 def	963.6 h
P₅. UANRd	1 195.3 g	137.467 def	832.1 h
P₆. UANShw	1 976.4 e	172.8 ab	764.5 h
P₇. UANYw	2 105.7 e	158.633 bc	557.3 h
P₈. UANCn	1 749.5 ef	146.233 cde	637.9 h
P_{1, 4}	2 060.5 e	130.167 ef	9 898.2 cd
P_{1, 5}	6 544.4 b	186.667 a	7 153.1 f
P_{1, 6}	2 091.8 e	130.4 def	8 672.8 ed
P_{1, 7}	5 573 c	135.3 def	7 538.9 ef
P_{2, 4}	7 210 a	170.633 ab	8 321.1 ef
P_{2, 5}	7 272.2 a	135.2 def	4 659.8 g
P_{2, 6}	7 620.8 a	146.3 cde	7 918.1 ef
P_{3, 4}	4 985.8 d	147.1 cd	8 415.1 def
P_{3, 8}	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_{1, 4} y P_{1, 6} 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(%)
P₁. Jalapeño	6 430	1 121.5	-82.6	74.87	97.9		1 1685	12 706	8.7
P₂. Mirador	742	1 363.8	83.8	55.82	92.8	66.3	1 1381	12 697	11.6
P₃. Serrano	5 494	1 750.4	-68.1	101.27	121.3	19.8	12 138	14 532	19.7
P₄. UANOg	7 498	1 291.8	-82.8	184.6	136.6	-26	939	964	2.6
P₅. UANRd	7 073	1 195.3	-83.1	201.94	137.5	-31.9	845	832	-1.5
P₆. UANShw	7 477	1 976.4	-73.6	187.33	172.8	-7.8	740	765	3.3
P₇. UANYw	5 055	2 105.7	-58.3	172.22	158.6	-7.9	547	557	1.9
P₈. UANCn	6 454	1 749.5	-72.9	187.97	146.2	-22.2	713	638	-10.5
	F1	F2		F1	F2		F1	F2	
P₁ x P₄	1 725	2 060.5	19.4	108.72	130.2	19.7	9 375	9 898	5.6
P₁ x P₅	1 764	6 544.4	271	109.4	186.7	70.6	5 952	7 153	20.2
P₁ x P₆	1 589	2 091.8	31.6	89.42	130.4	45.8	7 385	8 673	17.4
P₁ x P₇	1 380	5 573	303.8	96.11	135.3	40.8	6 253	7 539	20.6

P₂x P₄	1 370	7 210	426.3	109.24	170.6	56.2	7 785 8 321	6.9
P₂x P₅	1 765	7 272.2	312	110.24	135.2	22.6	5 950 4 660	-21.7
P₂x P₆	2 081	7 620.8	266.2	98.97	146.3	47.8	8 797 7 918	-10
P₃x P₄	1 616	4 985.8	208.5	120.29	147.1	22.3	7 862 8 415	7
P₃x P₈	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 lo 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_{3,8} 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_{1,5} y P_{1,7} no solo mantuvieron el picor de F1, sino que lo aumentaron más de un 20%, sin embargo, poblaciones como P_{1,4}, P_{1,6}, P_{2,4} y P_{3,4} 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 annuum*.

Genotipos	DAF	DAC	ADP (cm)	DBT (mm)
P1. Jalapeño	51.63 bc	141.03 ab	206.27 a	29.243 a
P2. Mirador	88.16 a	135.66 ab	88.77 de	16.083 b
P3. Serrano	54 bc	130.33 abcd	125.67 abcde	24.85 ab
P4. UANOg	56.66 b	103.46 efg	97.5 cde	27.01 ab
P5. UANRd	56.9 b	109 defg	73.1 e	22.277 ab
P6. UANShw	49 bcd	93.7 g	70.07 e	25.523 ab
P7. UANYw	43.63 bcde	107.16 efg	88.87 de	22.87 ab
P8. UANCn	37.66 cdef	132 abc	61.67 e	18.39 ab
P1,4	27.56 ef	122.96 bcdef	119.9 abcde	23.067 ab
P1,5	28.2 ef	102.26 efg	193.1 ab	25.443 ab
P1,6	23.36 f	106.66 efg	168.87 abcd	23.537 ab
P1,7	26.03 ef	122.96 bcde	146.27 abcde	23.22 ab
P2,4	31.43 def	112.1 cdefg	110.7 bcde	18.543 ab
P2,5	27.66 ef	152.26 a	103.1 cde	20.303 ab
P2,6	29.9 ef	105.73 efg	183.43 abc	29.123 a
P3,4	39 bcdef	99.36 fg	164.1 abcd	26.76 ab
P3,8	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_{1,6} 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_{2, 6} 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⁻¹ e incrementar la calidad de fruto.

Como sucedió con las poblaciones F2 P_{1,5} y P_{3,4} que exhibieron el mayor rendimiento e incrementos en las propiedades nutraceutica 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_{1,6}, P_{2,4} y P_{2,5} 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.
- Baena, G. D.; Vallejo, C.F.A.; y Estrada S.E.I. 2003. Avance generacional y selección de líneas promisorias de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) tipos chonto y milano. *Acta Agronómica*. 52(1):1-9.
- Bennett, D. J. and Kirby, G. W. 1968. Constitution and biosynthesis of capsici. *Journal of the Chemical Society C: Organic*. 442-446 pp. <https://doi.org/10.1039/J39680000442>.
- Charlesworth, D. and Charlesworth, B. 1987. Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *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.
- 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](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110207).
- Luna-García, L. R.; Robledo-Torres, V.; Vásquez-Badillo, M. E.; Ramírez-Godina, F. y MendozaVillarreal, 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.

- Macías-Duarte, R.; Grijalva-Contreras, R.L. y Robles-Contreras, F. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biotecnia*. 14(3):32-38.
- Martínez-Sánchez, D.; Pérez-Grajales. M.; Rodríguez-Pérez. J. E. y Moreno-Pérez. E.C. 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.; MijangosCortés, 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^{da}. 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>.
- Silverstein, R. M.; Webster, F. X. and Kiemle, D. J. 1998. Infrared spectrometry. Spectrometric Identification of Organic Compounds. 7th. 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. 6th. Edition. 633-650 pp.
- Teichert, P.S. y De Miranda, P. C. 2011. La complejidad de los materiales híbridos. USA. Seed News. 15^a Edición. Disponible en: <https://seednews.com.br/artigos/1555-la-complejidad-de-los-materiales-hibridos-edicao-novembro-2011>.

SEGUNDO ARTÍCULO

SELECTION OF F3 POPULATIONS OF *Capsicum annuum* FOR GREENHOUSE
PRODUCTION

Manuscript type:

Research paper

Title:

Selection of F3 populations of *Capsicum annuum* for greenhouse production

Authors:

Laura Raquel Luna García¹; Valentín Robledo Torres²; Francisca Ramírez Godina³; Rosalinda Mendoza Villarreal²; Miguel Ángel Pérez Rodríguez⁴.

Affiliations

¹Programa de Doctorado en Agricultura Protegida (Ph.D. Program in Protected Agriculture), ²Departamento de Horticultura (Horticultural Department), ³Departamento de Fitomejoramiento (Plant Breeding Department) and ⁴Departamento de Botánica (Botany Department), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila, México. Tel. 01 844 411 0303

***Corresponding author:** Valentín Robledo Torres

Email: robledo3031@gmail.com

Reviewing interests:

Currently food production has dropped by different factors such as the decrease in agricultural area, due to population growth or climate change. However, this paper presents evidence of the importance of using improved varieties and native for the development of varieties high-yield and fruit-quality, for to meet the needs of this vegetable of global importance.

The manuscript also complies with the topics of coverage of the Australian crop science journal.

Suggested Reviewers:

Efrain de la Cruz Lazaro

Researcher, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco.
México.

E-mail address: eclazaro@hotmail.com

Janaki Maradana

Department of Vegetable Science, HC and RI, Dr. Y.S.R.H.U., V. R. Gudem - 534
101 A. P., India.

E-mail address: janaki.maradana@gmail.com

Anthony Jide Afolayan

Department of Botany, Medicinal Plants and Economic Development (MPED)
Research Centre, University of Fort Hare, Alice, South Africa.

E-mail address: aafolayan@ufh.ac.za

SELECTION OF F3 POPULATIONS OF *Capsicum annuum* FOR GREENHOUSE PRODUCTION

Laura Raquel Luna García¹; Valentín Robledo Torres^{1*}; Francisca Ramírez Godina²;
Rosalinda Mendoza Villarreal¹; Miguel Ángel Pérez Rodríguez³.

¹Departamento de Horticultura, ²Departamento de Fitomejoramiento, ³Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, C. P. 25315. Tel. (844)4110333 y (844)4110228 Saltillo, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia robledo3031@gmail.com

Key words: *Capsicum annuum*, transgressive segregation, vitamin C, protected agriculture.

Abstract

Capsicum annuum is one of the most important plant species in the world. México has the greatest diversity; however, its production is limited due to the few improved varieties for greenhouse production. Therefore, through the genetic recombination of native varieties (Creole populations) and superiors cultivars, the development of high-yield varieties will be possible.

Therefore, the purpose of this research work was to assess and select F3 outstanding populations for greenhouse production. The work was carried out in a greenhouse in 2018, at Saltillo, Coahuila Mexico, with eight parents; three varieties used as females (pollen plants receptor), five varieties used as males (pollen donor plants) and nine F3 populations derived by selfing from nine F2 populations.

The parents and F3 populations gave rise to 17 treatments that were established in a greenhouse under a randomized block design with three replications.

The variables studied were; Total fruit yield, average fruit weight, total number of fruits per plant, ascorbic acid content, total capsinoids, days to flowering, days to harvest, final plant height, and basal stem diameter. Significant differences were found

in all variables studied in F3 populations. The highest RTF (total fruit weight) belonged to P_{1,4} and P_{1,6}, with 1647.0 and 1652.0 g/plant respectively. In terms of CAA (ascorbic acid content), population P_{2,4}, was significantly superior to the rest of the genotypes and exceeded the best parent by 19.8%. Therefore, it is concluded that the chili peppers populations, P_{1,4}, P_{1,6} and P_{2,4} are selected to develop cultivars of high yield and high quality of fruit, for greenhouse production.

Introduction

The *Capsicum annuum* species is one of the most important cultivated horticultural species in the world. Mexico is the second leading global producer with 173 thousand hectares. This crop is also a source of 12000 jobs for growers (SIAP, 2018) and provides more than 30 million salaries to day laborers in the agrochemical, transportation, storage and trade industries (Ramírez Meraz et al., 2019). Its great potential is due to its high global consumption, being one of the most widely used condiments in the world. Consumption rate for Asia and the Middle East is 3% to 4%. Globally, the rate of consumption is 2% to 3% per annum (Olatunji and Afolayan, 2018).

More than 2 billion individuals in the world are facing micronutrient deficiencies, how; zinc, iodine, and iron, followed by vitamins. However, hot pepper consumption worldwide can reduce the human micronutrient deficiency. Thus sufficient amounts of micronutrients can be provided by incorporating the pepper fruit, nutrient-rich to better diet that could beneficially help in combating nutrient deficiency (Motukuri and Jaswanthi, 2020). Chili pepper is a source of vitamins (A, B6, C y E), antioxidants, minerals (K, P, Mg, Ca, Fe,) and fiber (Olatunji and Afolayan, 2018; USDA, 2016) for standard reference release 28 (revised May 2016). It is indispensable for human nutrition and it is raw material for the industrial sector.

Despite being the center of origin, Mexico only produces 40% of the green chili peppers eaten in the country; 60% come from China (Seva Rivadulla, 2019). There is a drop in production at present, which is associated with the less agricultural area available, due to the conversion of agricultural to urban land, land degradation and other soil and climate factors (FAO, 2019). In Mexico, only 15.5% of the green chili peppers (Jalapeño, Serrano, Poblano, sweet pepper) come from protected agriculture,

using bred varieties and sophisticated production technologies (Clausen et al., 2017). In the face with this problem, it is necessary to generate varieties of chili peppers for greenhouse, as an alternative to improve productivity in this crop. Since with the use of improved seeds there is a more efficient use of inputs, considering the cost-benefit ratio, since greater production and fruit quality is obtained. Therefore, the development of improved varieties and the use of other technologies are alternatives to improve productivity, and the high yield of *Capsicum annuum* will be a guarantee with the use of improved cultivars, efficient use of water and nutrition (Maraña Santacruz et al., 2018).

A hybridization or pedigree selection-breeding program must ensure proper trait combination and good trait selection to obtain high-quality products (Márquez, 1988). The purpose of this research work was to assess and select F3 outstanding populations for greenhouse production.

Results and Discussion

Yield and yield components

Parental and F3 population analysis presented significant differences ($P < 0.01$) among RTF, NFP and PPF genotypes. Populations P_{1,4} and P_{1,6}, had the highest yield per plant, with 1647.0 and 1652.0 g/plant respectively, exceeding significantly ($P < 0.01$) the parents; creole Mirador, UANs and the populations P_{2,4} and P_{2,5} (Table 2). The estimated yield in these populations was 68.6 and 68.8 t/ha respectively, although they were significantly equal to the populations that gave rise to them. The populations P_{1,4} and P_{1,6} were higher by 34.4 and 34.8% than their UANj parents and more than 18% than the paternal parents, with the advantage that the fruit of the populations P_{1,4} and P_{1,6} are of the UANj type, therefore they are considered outstanding. Also P_{1,4} and P_{1,6} populations exceed by 333% the Mexico average production, which in 2019 reached 20.6 t/ha (SIAP, 2019). In this regard García et al. (2014) obtained jalapeño chili pepper yields of 55 t/ha; while the maximum yield that García Sandoval et al. (2016) obtained in jalapeño chili pepper was 38 t/ha. Populations P_{1,4} and P_{1,6}, exceeded 25% up to 80% the production obtained in previous research works. Maximum yield reported in Mexico for Jalapeño chili pepper Mitla variety, grown under greenhouse

conditions, was 65.2 t/ha (Duarte *et al.*, 2012), which is lower than the yield obtained in this research work.

Creole Mirador parent had the highest NFP (61.6), although it was equal ($P \leq 0.05$) to maternal parents, however PPF was 8.9 g and therefore it does not have significant influence on RTF, which coincides with the results reported by Cebula (1995), who mentioned that some hybrids with high NFP were smaller. Because they are the product of a highest fruit-set, therefore these fruits reached smaller size (length and width). Female parents were significantly different ($P \leq 0.05$) from male parents in terms of NFP, obtaining an average of 10.14; although other research works obtained from 7 to 11.8 NFP (Moreno-Pérez *et al.*, 2011).

UANcN genotype had the highest PPF and it was significantly equal to UANRd and UANSHw and higher than the PPF of F3 populations, which ranged between 21.8 and 55 g; although P_{1,4} and P_{1,5} populations were significantly superior than the female parents. In this research, the selection process focused on fruit development, with traits similar to UANj type, therefore, the PPF of F3 is between twice the weight of the female parents and 50% the weight of male parents; which enables us to take advantage of additive genetic variance (Suryakumari *et al.*, 2010).

Maternal parents had a PPF of 15.4 g, matching the results reported by Ramírez Meraz *et al.* (2019) in Serrano hybrids with a PPF between 9 and 14 g. F3 populations had 36.4 g, coinciding with the results of García Sandoval *et al.* (2016), who found that 68% of the Jalapeño chili pepper lines in their research work exceeded 30 g. P_{1,4} and P_{1,5} UANj populations had the highest PPF, 55 and 52.7 g respectively; which is attributed to the interaction and gene recombination of the parental populations and the preservation of such trait by phenotypic selection.

Fruit quality

In CAA and CAPs variables, we found significant differences among parents and F3 populations ($P \leq 0.01$). Table 3 shows that parents P₆ and P₇ had higher CAAs and were significantly higher than the rest of the male and female parents. The P_{1,5} and P_{1,7} populations F3, were significantly equal to four male progenitors in CAA, however, that P_{2,4} population was significantly superior among all the genotypes, with 224.9 mg/100g; and 19.8% more CAA than the best parent, showing a gene interaction that fosters the overexpression of this trait. CAA of P_{2,4} population was superior in terms

of CAA than 30 collections of Guajillo chili pepper from Durango and Zacatecas, Mexico (Martínez-Damián *et al.*, 2019).

On the other hand, Cares *et al.* (2015) reported a CAA in pepper ranging between 274.3 and 355.5 mg/100g, values significantly higher than those found in this research. Although it is mentioned that CAA in the species *Capsicum* is widely affected by environmental factors, such as high temperatures, salinity, by effect of biotic factors, or by nutritional factors. Preciado-Rangel *et al.* (2019) indicates that an increase in K in the nutrient solution increases Vitamin C content in Serrano chili pepper. Therefore, knowledge on the genotype-environment interaction can be used in breeding to obtain fruits with high CAA content, in order to improve nutrition, since CAA is an essential antioxidant, capable of neutralizing free radicals, regenerate vitamin E and act as a co-factor of α -ketoglutarate-dependent dioxygenase enzymes (Villagrán *et al.*, 2019). Daily recommended vitamin C intake requirements range from 75 to 90 mg/day (Valdez, 2006). This information is important for backcrossing breeding programs that can help increasing the values of this antioxidant and produce high-yielding crops with nutraceutical quality.

UANs chili pepper was significantly superior to the rest of the genotypes in terms of CAPs content, followed by UANj and Creole Mirador, which exceeded significantly the male parents and F3 populations. Male parents were significantly equal and had the least content CAPs, while in F3 populations wide variability was showed in CAPs, with a range 6361.4 to 10264.9 SHU, although the population P_{3,8} (10264.9 SHU) and P_{1,4} (9716.6 SHU) had the highest CAPs but were statistically equal. Maternal parents had an average of 13590.9 SHU, the fathers had 776.4 and F3 populations had 7183.7 SHU, outstanding P_{3,8} genotype with 10,264.9 SHU.

In *Capsicum* there are different levels of itching, characteristic that is determined by genetic, environmental and genetic-environmental interaction factors, therefore the conditions of management of chili cultivation also affect the content of capsaicinoids (Garcés-Claver *et al.*, 2007). On the other hand, Rostini *et al.* (2019) stated that Capsaicin is a polygenic inherited trait, controlled by four pairs of genes that affect CAPs' synthesis pathways in a differential way, due to the expression levels of involved genes. This information is quite important to breed this plant species.

Precocity

Among parents and F3 populations there were significant differences ($P \leq 0.01$) in DAF and DAC. In DAF there was a range of 49.1 to 81d, with an average of 59.8 days, showing variability among the parents, the later was Mirador, while the most early was UANcn, and these were significantly different. However, in F3 populations, the range in DAF was 30.4 (P2.6) to 42.1 (P3.4), with an average of 34.8 days. Precocity is important, because it enables earlier harvesting and thereby lower production costs, especially when the grown it is in greenhouse, since these systems are very demanding in inputs. Population P_{2,6} had the highest precocity (30.4 DAF), which is important, because the DAF difference between parents and their offspring was 25 days (Table 4). Therefore, we can infer that DAF reduction in F3 populations is due to the transgressive segregation of this trait, because of the genetic recombination in generations after F1; and we can conclude that it is a polygenic trait and therefore it is possible to reduce DAF by selection, without reducing yield.

We found significant differences ($P \leq 0.01$) among the genotypes in terms of DAC. UANj was the latest (149 DAC), although it was significantly equal to UANs. Female parents were later with an average of 130.8 days. Male parents UANOg (141 DAC) and UANShw (128.1 DAC) were the latest and significantly equal, but different ($P \leq 0.01$) to UANRd (96.7 DAC). This parent was significantly equal to F3 populations, with an average of 111.2 DAC. P_{2,4} and P_{1,5} populations were earlier and are similar to Jalapeño chili pepper commercial varieties, Don Benito, Don Pancho and Kohunlich that are harvested 110 after transplanting (Ramírez Meraz *et al.*, 2015). DAC variable shows transgressive heritage, since the average number of days required by populations P_{1,4} y P_{1,6}, among others, was lower than the DAC of the parents.

Agronomic variables

Among parents and F3 populations there were significant differences ($P \leq 0.01$) in ADP and DBT. Table 5 shows that the F3 population, P_{3,4} had higher ADP, with 175.1 cm, although it was significantly equal to populations P_{1,6} (167.5cm) and P_{1,4} (155.5cm), but significantly exceeded ($P \leq 0.01$) to all other populations and parents. In greenhouse crops, the ADP variable is important to take advantage of the higher air-conditioned environmental volume, inside the greenhouse and lengthen the production cycle. F3 populations exhibited higher ADP with an average of 127.67 cm, while maternal

parents 72.9 cm and paternal parents 62.7 cm. F3 populations exceeded the average maternal progenitors by 75.1% and by 103.6% female parents, this is important since the plant with continuous growth, maintains flower production for longer (Aguilar-Delgado *et al.*, 2018) lengthening the production cycle.

The F₃, P_{3,4} population had the highest DBT (29.2 mm) but was significantly equal to F₃ populations (P_{3,8} and P_{1,7}) and paternal parents (P₄ and P₇). Stem diameter is important, since the higher DBT there is greater capacity to support the weight of branches, leaves, flowers and fruits, therefore the risk of rupture of the aerial part of the plant will be lower (Elizondo-Cabalceta and Monge-Pérez, 2016). On the other hand, Cankaya *et al.* (2010) indicate that both ADP and DBT are significantly related to RTF per plant and that this variable should be used with the aim of increasing yield per plant in pepper populations. In sweet chilli the diameter of the stem ranges from 14.0 to 27.3 mm (Moreno *et al.*, 2011; Reséndiz-Melgar *et al.*, 2010). Parent Mirador, has a thin, low and fragile stem that limits it for high production in greenhouse, because even in controlled environment conditions, with optimal irrigation and nutrition, the plant does not develop properly, however some F3 populations derived from Mirador exhibited yield characteristics (P2,6) and fruit quality (P2,4) outstanding.

Materials and Methods

Location

This research work took place at “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” (UAAAN) in Saltillo, Coahuila, Mexico, located at 25°21’19” North latitude, 101°01’48” West longitude (“Servicio Meteorológico Nacional”-National Weather Service, 2018).

Plant material

Four types of *Capsicum annuum* were studied (Jalapeño, Mirador, Serrano and sweet pepper selected at UAAAN). The study included the original parents (three females and five males) and nine F3 offspring populations from hereinabove parental crossings (Table 1).

To obtain the F3 populations, the following procedure was carried out in a greenhouse.

1.- three varieties of hot chili (1.- Jalapeño, 2.- Mirador, 3.- Serrano) were selected that were used as females and five varieties of pepper (4.- UANOG, 5.- UANRd, 6.-

UANShw, 7.- UANYw, 8.- UANCn) that were used as males.
2.- By manually crossing the females with the males, only nine hybrids o F1 populations were obtained (Table 1)
3.- In each of the F1 populations, self-fertilization was allowed in a natural way and the best plants were selected, from which the seed that gave rise to the nine populations was obtained.
4.- In the F2 populations, natural self-fertilization is again included and the best plants from each F2 populations were selected, to have the nine F3 populations.

Establishment and management of Parents and F3 Populations

Parental seeds and F3 populations were sown in 200-cavity polystyrene trays. The substrate was peat (Premier Sphagnum Peat Moss, Angeles Millwork & Lumber Co.) and mineral perlite (*Termolita* by Hortiperl) in a 70:30 ratio respectively. Transplantation took place 50 days after planting, establishing 12 plants per plot, in 25 cm-high, 1.60 m-wide beds, with white plastic mulching, subsurface drip irrigation, leaving 30 centimeters between plants, staggered, at double row, with double-stem pruning and with Dutch type tutored. Plants received drip irrigation at a rate of 0.5 L/plant/day until blooming, gradually increasing to 3 L/plant/day at full production. Nutrition (Steiner, 1984) was applied with the irrigation water according to the crop's developmental stage (15% seedling, 25% growth; 50% development, 75% flowering and 100% fruit filling and harvest).

The crop was established under a fully randomized experimental block design with three replicates. Irrigation was applied every third day, with preventive control every 15 days, using active ingredients such as Imidacloprid, abamectin, thiamethoxam and chlorpyrifos against *Bemisia tabaci*, *Bactericera cockerelli*, *Lirimyza sp.*

Yield and yield components

Total fruit weight (RTF) in g/plant, was estimated by weighing all the fruits from 6 plants per treatment in every harvest, using Ohaus Compass™ CX electronic scale. We added the weights before dividing them by the number of plants and the number of cuts. We divided RTF by the number of harvested fruits to estimate average fruit weight (PPF). The number of fruits per plant (NFP) was estimated by counting all the fruits that were harvested throughout the crop season, divided by the six harvested plants.

Fruit quality measurements

Fruit quality was determined in three fresh fruits per treatment in every replicate of the fifth harvest. Ascorbic acid content (CAA) of the fruits was estimated using AOAC (2000) color-change titration methodology, with 100 g of fruit per treatment.

Capsaicinoids (CAPs) were quantified by Bennet & Kirby method (1968), using physiologically mature fruits and a Bio-145025 BIOMATE-5 spectrophotometer (Thermo Electron Corporation, Madison, USA) at 286 nm wavelength. In order to estimate CAPs, we built a calibration curve of this compound (Sigma, Co.), within 0 to 1.2 mg/ml range. CAPs content of every sample was triple-folded, expressed in Scoville units, (SHU).

Precocity measurements

Days to flowering (DAF) and days to harvest (DAC) were determined by counting the days from transplant until every plant had its first flower, and until harvesting the first fruit from every plant. We left ten days between harvests and there were nine harvests within 80 days.

Estimation of agronomic variables

The final plant height (ADP) was measured with a tape measure, from the base to the apex of the plant, at the end of the production cycle (85 days after the first cut). The basal stem diameter (DBT) was measured at 3cm above the floor surface with an Autotec brand digital vernier.

Variance analysis

All the variables went through variance analysis and Tukey's mean comparison test ($P \leq 0.01$) using SAS® V.9.0 (SAS Institute Inc., 2002) statistical program.

Conclusions

F3 populations showed transgressive segregation resulting from the genetic recombination of previous generations. The selection can be efficiently used to breed high-yield chili pepper cultivars and quality, for greenhouse production.

Intercrossing enabled genetic recombination and the expression of high -phenotypic variability in yield, yield components, fruit quality and precocity.

Populations P_{1,4} and P_{1,6}, due to their precocity and high yields; and population P_{2,4}, due to its ascorbic acid content are the most promising candidates to backcrossing breeding.

Acknowledgments

We thanks to the National Council for Science and Technology (CONACYT), for the graduate student's scholarship and to the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

References

- Aguilar-Delgado M. J, Acosta-García G, Espitia-Rangel E, González-Chavira MM, Lozano-Sotomayor P, Folter SD, Guevara-Olvera L (2018) Crecimiento indeterminado y determinado en *Amaranthus hypochondriacus*: ontogenia del meristemo apical y efecto sobre el peso de semilla. *Agrociencia*. 52(5): 695-711.
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International. No. C/630.240 O3/2000.
- Bennett DJ, Kirby GW (1968) Constitution and biosynthesis of *Capsici*. *J Chem Soc C: Organic*. 442-446.
- Cankaya S, Balkaya A, Karaagac O (2010) Canonical correlation analysis for the determination of relationships between plant characters and yield components in red pepper [*Capsicum annuum* L.var. conoides (Mill.) Irish] genotype. *Span J Agric Res*. 8(1): 67-73.
- Cares IEF, Damián MTM, Pérez JER, Álvarez OC, León MTBC, Guadarrama SV, Ramírez SPR (2015) Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Interciencia*. 40(10): 696-703.
- Cebula E (1995) Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Hortic*. 412:321-329.
- Clausen AM, Ferrer M, Atencio HM, Menéndez-Sevillano MDC, Formica MB, Defacio R, Rosso BS (2017) Conservación, utilización y acceso a recursos fitogenéticos de importancia para la agricultura y la alimentación. *Nexos*. 23(31): 5-9.

- 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.
- Elizondo-Cabalceta E, Monge-Pérez JE (2016) Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. *Rev Tec en Marcha*. 29(3): 60-72.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 2019) <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s08.htm>
- Garcés-Claver A, Gil-Ortega R, Álvarez-Fernández A, Arnedo-Andrés MS (2007) Inheritance of capsaicin and dihydrocapsaicin, determined by HPLC-ESI/MS, in an intraspecific cross of *Capsicum annuum* L. *J Agric Food Chem* 55(17): 6951-6957.
- García SJA, Nava PRJ y Ramírez MM (2014) Avance productivo de líneas promisorias de chile jalapeño bajo condiciones de temporal y siembra directa en Quintana Roo, México. 11ª Convención Mundial del Chile, celebrada del 2 al 4 de octubre de 2014, Morelia, Michoacán, México. p 52-61.
- García-Sandoval JA, Meraz M (2016) Rendimiento y calidad de la producción de líneas avanzadas de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) en Quintana Roo. In: Martínez-Herrera J, Ramírez-Guillermo MA, Cámara-Córdova J (ed) *Innovación Tecnológica para la Seguridad Alimentaria*, 1ª ed. UJAT: INIFAP, Villahermosa, Tabasco, México. p 203-207.
- Maraña-Santacruz JÁ, Castellanos-Pérez E, Vázquez-Vázquez C, Martínez-Ríos JJ, Trejo-Escareño H. I., Gallegos-Robles M. Á, Orona-Castillo I (2018) Rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego. *Terra Latinoamericana*. 36(4): 345-354.
- Márquez SF (1988) *Genotecnia Vegetal Tomo II*. AGT Editor. México. p. 585-590.
- Martínez-Damián MT, Cruz-Álvarez O, Moreno-Pérez EC, Valle-Guadarrama S (2019) Intensidad de color y compuestos bioactivos en colectas de chile guajillo del norte de México. *Rev Mex Cien Agríc*. 10(1):35-49.

- Moreno-Pérez EC, Mora-Aguilar R, Sánchez-Castillo F, García-Pérez V (2011) Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. Rev Chapingo Ser Hort. 17(2): 5-18.
- Motukuri SK, Jaswanthi N (2020) Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.): An alternative food to reduce micronutrient deficiencies in human. In: *Capsicum*. A. Dekebo (ed) IntechOpen. DOI:10.5772/intechopen.92198
- Olatunji TL, Afolayan AJ (2018) The suitability of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) for alleviating human micronutrient dietary deficiencies: A review. Food Sci & Nutrition.1–13. DOI: 10.1002/fsn3.790
- Preciado-Rangel P, Andrade-Sifuentes A, Sánchez-Chávez E, Salas-Pérez L, Fortis-Hernández M, Rueda-Puente EO, García-Hernández JL (2019) Potassium influence the nutraceutical and antioxidant content of serrano hot pepper (*Capsicum annuum* L.). Agrociencia. 53: 581-591.
- Ramírez-Meraz M, Arcos-Cavazos G, Mata-Vázquez H, Vázquez-García E, Méndez-Aguilar R (2015) Variedades e híbridos de chile y su manejo para el sur de Tamaulipas. Campo Experimental Las Huastecas. Folleto Técnico No. MX-0-310701-11-03-14-09- 40. 48 p
- Ramírez-Meraz M, Arcos-Cavazos G, Méndez-Aguilar R, Meneses-Márquez I (2019) Variedades e híbridos de chile para el trópico de México. In: Producción Agropecuaria: Un enfoque integrado. México. p. 29-37. ISBN: 978-607-98543-1-7
- Reséndiz-Melgar RC, Moreno-Pérez EC, Sánchez-DelCastillo F, Rodríguez-Pérez JE, Peña-Lomelí A (2010) Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. Rev Chapingo Ser Hort.16 (3):223-229.
- Rostini N, Fitry-Yenny R, Anas H, Amien S (2019) Inheritance pattern of capsaicin content of Indonesian chili landraces (*Capsicum annuum* L.). IOP Conference Series: Earth Environ. Sci. 334: 1-5.
- SAS Institute (2002) User's Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 550 p

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018 y 2019).
http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- Servicio Meteorológico Nacional SMN. (2018) <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Seva Rivadulla F (2019) Arrebata China la producción de chile en México. Revista Digital de Productores de Hortalizas en <https://www.hortalizas.com/cultivos/chiles-pimientos/arrebata-china-la-produccion-del-chile-en-mexico/>
- Steiner-Abram A (1984) The universal nutrient solution. In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. Pp.633-650.
- Suryakumari S, Uma-Jyothi K, Srihari D, Sankar AS, Sankar CR (2010) Variability and genetic divergence in paprika (*Capsicum annuum L.*). J. Spices and Aromatic Crops.19: 71-75.
- United States Department of Agriculture (USDA) (2019) National Nutrient Database for standard reference release 28 (revised april 2019).
- Valdés F (2006) Vitamina C. Actas Dermo-Sifiliográficas. 97(9): 557-568.
- Villagrán M, Muñoz M, Díaz F, Troncoso C, Celis-Morales C, Mardones L (2019) Una mirada actual de la vitamina C en salud y enfermedad. Rev chilena de nutrición, 46(6): 800-808.

Table 1. Parents and F3 populations used in this research work.









Genotypes	Description
Female parents	
UANj	 Spicy fruit, 6 to 8 cm in length and diameter of 2.5 to 3 cm
Creole mirador	 Spicy fruit, 4 to 6 cm in length and diameter of 1.8 to 2.3 cm
UANs	 Spicy fruit, 5.8 to 6 cm in length and diameter of 1.9 to 2.0 cm
Male parents	
UANOG	 Sweet pepper, 8.5 to 8.6 cm in length and diameter of 8.2 to 8.4 cm
UANRd	 Sweet pepper, 8.5 to 8.6 cm in length and diameter of 8.2 to 8.4 cm
UANSHw	 Sweet pepper, 10 to 12 cm in length and diameter of 8.2 to 8.6 cm
UANYw	 Sweet pepper, 6.5 to 7.0 cm in length and diameter of 7.9 to 8.0 cm
UANCn	 Sweet pepper, 8.0 to 8.2 cm in length and diameter of 8.9 to 9.0 cm
F3 populations	F3 origin
P _{1,4}	UANj x UANOG Crossing
P _{1,5}	UANj x UANRd Crossing
P _{1,6}	UANj x UANSHw Crossing
P _{1,7}	UANj x UANYw Crossing
P _{2,4}	Creole Mirador x UANOG Crossing
P _{2,5}	Creole Mirador x UANRd Crossing
P _{2,6}	Creole Mirador x UANSHw Crossing
P _{3,4}	UANs x UANOG Crossing
P _{3,8}	UANs x UANCn Crossing

Table 2. Mean yield values and yield components in *Capsicum annuum* parents and F3 populations.

Genotypes	Total fruit yield g/plant	Fruit per plant	Average fruit weight
P1.-UANj	1225.2 abc*	56.6 ab*	23.2 de*
P2.-Creole mirador	552.3 e	61.6 a	8.9 e
P3.-UANs	678.6 bcde	48.3 abc	14.1 de
P4.-UANOG	1395.0 ab	11.4 fg	123.0 b
P5.-UANRd	1240.5 abc	8.7 g	131.6 ab
P6.-UANShw	1329.6 ab	11.7 fg	127.8 ab
P7.-UANYw	1243.9 abc	10.4 g	123.8 b
P8.-UANCn	1247.1 abc	8.5 g	153.6 a
P1,4	1647.0 a	29.6 de	55.0 c
P1,5	1487.2 ab	29.3 de	52.7 c
P1,6	1652.0 a	43.2 bcde	35.6 cde
P1,7	1301.5 ab	34.5 cde	41.2 cd
P2,4	609.9 de	27.5 ef	22.3 de
P2,5	860.9 bcde	39.0 cde	21.8 de
P2,6	1239.8 abc	43.7 bcd	28.6 cde
P3,4	1205.8 abc	32.2 cde	32.9 cde
P3,8	1177.1 abcd	30.5 de	37.8 cd
DMS	584.15	16.16	28.25

DMS= minimum significant difference; *values followed by the same letter are not statistically different.

Table 3. Mean values of quality in *Capsicum annuum* parents and F3 populations.

Genotypes	Ascorbic content	acid	Capsaicinoids SHU
P1.-UANj	88.7 ef*		12645.9 b*
P2.-Creole Mirador	90.6 ef		12936.4 b
P3.-UANs	113.9 de		15190.6 a
P4.-UANog	140.7 cd		965.7 i
P5.-UANRd	144.2 cd		849.4 i
P6.-UANShw	187.7 b		763.8 i
P7.-UANYw	157.6 bc		635.2 i
P8.-UANCn	136.3 cd		668.0 i
P1,4	77.8 fg		9716.6 cd
P1,5	124.4 cd		8083.7 ef
P1,6	67.7 fg		6361.4 g
P1,7	127.9 cd		7264.3 fg
P2,4	224.9 a		7966.6 ef
P2,5	50.6 g		4634.9 h
P2,6	62.4 fg		7774.7 ef
P3,4	46.4 g		8652.7 de
P3,8	60.5 fg		10264.9 c
DMS	33.46		1065.7

DMS= minimum significant difference; *values followed by the same letter are not statistically different, SHU = Scoville units.

Table 4. Mean values of precocity in *Capsicum annuum* parents and F3 populations.

Parents	Days to flowering	Days to harvest
P1-UANj	61.6 bc*	149.0 a*
P2.-Creole Mirador	81.1 a	114.1 cd
P3.-UANs	54.0 bcd	129.5 abc
P4.-UANog	60.2 bc	141.0 ab
P5.-UANRd	59.0 bc	96.7 d
P6.-UANShw	61.9 b	128.1 abc
P7.-UANYw	51.6 cde	109.6 cd
P8.-UANCn	49.1 def	110.9 cd
P1,4	36.2 gh	110.0 cd
P1,5	31.2 h	105.0 cd
P1,6	31.7 h	119.8 bcd
P1,7	31.6 h	107.4 cd
P2,4	34.3 gh	104.9 cd
P2,5	39.0 fgh	109.5 cd
P2,6	30.4 h	106.3 cd
P3,4	42.1 efg	119.0 bcd
P3,8	37.0 gh	118.9 bcd
DMS	10.14	25.51

DMS= minimum significant difference; *values followed by the same letter are not statistically different

Table 5. Mean values of agronomic variables in parents and F3 populations of *Capsicum annuum*.

Genotype	ADP	DBT
	cm	mm
P1. UANj	53.4 g	11.5 def
P2. Creole Mirador	65.0 fg	8.3 f
P3. UANs	100.3 def	11.4 def
P4. UANOg	82.8 efg	23.7 ab
P5. UANRd	53.3 g	18.5 bcd
P6. UANShw	70.7 efg	18.2 bcde
P7. UANYw	56.3 g	21.8 abc
P8. UANCn	50.7 g	20.4 bc
P1,4	155.5 abc	18.2 bcde
P1,5	124.9 cd	19.8 bcd
P1,6	167.5 ab	19.3 bcd
P1,7	110.3 de	20.7 abc
P2,4	77.5 efg	9.7 ef
P2,5	78.1 efg	14.2 cdef
P2,6	124.1 cd	19.6 bcd
P3,4	175.1 a	29.2 a
P3,8	136.1 bcd	23.7 ab
DMS	37.12	8.56
CV	12.2	15.3

ADP = The final plant height; DBT = basal stem diameter; DMS= minimum significant difference; CV = Variation coefficient; *values followed by the same letter are not statistically different.

CONCLUSION GENERAL

Existe un temor latente sobre el futuro de la alimentación mundial, llegando a pensar que por el crecimiento poblacional acelerado y los bajos rendimientos registrados por los cultivos en los últimos años debido al cambio climático, se ha dificultado asegurar la producción de alimentos necesarios para cubrir dichas necesidades, por lo cual podemos concluir que el mejoramiento genético de plantas, representa una alternativa viable para contrarrestar este problema, logrando obtener variedades más productivas y mejor adaptadas.

Las cruzas interraciales permitieron explotar la variabilidad genética de *C. annuum* bajo Agricultura Protegida, incrementando la calidad y rendimiento de fruto arriba de 100t ha⁻¹ en las generaciones F1, F2 y F3.

Con el entrecruzamiento, la selección y el avance generacional que se realizaron durante el presente proyecto con *C. annuum*, se logró identificar poblaciones más productivas, de mejor calidad y precocidad, pero sobre todo más resistentes y con mejor adaptación para producción en invernadero, dichas poblaciones están mencionados en cada uno de los artículos obtenidos durante la investigación. Se evaluó la generación F2 y F3 y se logró avanzar en el proceso de selección de materiales para el desarrollo de variedades para Agricultura protegida.

Las poblaciones F3 mostraron segregación transgresora y se identificaron candidatos prometedores para continuar con el programa de mejoramiento genético y a mediano plazo obtener variedades mejoradas 100% estables.

BIBLIOGRAFIA

- Asociación Mexicana De Productores De Hortalizas En Invernaderos (AMPHI). 2001. Análisis Agropecuario De Invernaderos. (En Línea). [Http://Www.Cea.Sagar.Go.Mx/Diagro/Analisis/Invermx.Html](http://Www.Cea.Sagar.Go.Mx/Diagro/Analisis/Invermx.Html)
- Blank, A.F., y Maluf, W.R. (1997). Gene Action and Eraly Testing for Combining Ability in Sweet Peppers (*Capsicum Annuum L.*) Journal Genetics and Breeding (Italy).
- Camposeco Montejo N., Robledo Torres V., Valdez Aguilar L.A., Ramírez Godina F., Mendoza Villarreal R., Benavides Mendoza A. (2015) Estimación de la Aptitud Combinatoria en Poblaciones de Tomate de Cáscara. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas. 6(3):437-451.
-

- Casseres, E. 1984. Producción De Hortalizas. 3ª Edición. San José, Costa Rica. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. 295 P.
- Castellón-Martínez, É., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C., y Vera-Guzmán, A. M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum L.*) nativos en los valles centrales de Oaxaca, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(SPE5), 27-35.
- Cedron, J. C. (2013). La Capsaicina. *Revista de Química*, 27(1-2), 7-7.
- Clausen A.M., Ferrer M., Atencio H.M., Menéndez-Sevillano M.D.C., Formica M.B., Defacio R., Ferreyra M., Rosso B.S. (2017) Conservación, Utilización y Acceso a Recursos Fitogenéticos de Importancia para la Agricultura y la Alimentación. *Nexos*. 23(31): 5-9.
- Cruz-Pérez A. B., González-Hernández V. A., Soto-Hernández R. M., Gutiérrez-Espinoza M. A., Gardea-Bejar A. A., Pérez-Grajales M. (2007). Capsaicinoides, Vitamina C y Heterosis durante el desarrollo del Fruto de Chile Manzano. *Agrociencia* 41:627
- Da Silva Oliveira, D., Prixoto Aquino P., Rocha R. S., Pacheco da Costa R., Proença, H.M., y Pinheiro-Sant'Ana (2011). Vitamina C, carotenoides, fenolicos totais e atividade antioxidante de goiba, manga e mamao *Acta Scientiarum. Ciencias de la salud*, 33 (1), 89-98.
- Sousa, J.A.D., y Maluf W. R. (2003) Diallel Analysis and Estimation of Genetic Parameters of Hot Pepper (*Capsicum Chinense* Jacq). *Scientia Agricola* 60:1, 105-113
- De los Ángeles Martínez-Vázquez, E., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., & Reyes-López, D. (2016). Heterosis de cruas entre líneas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) nativo mexicano tipo pimiento y líneas tipo saladette. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(1), 67-77.
- Duarte, R. M., Contreras, R. L. G., & Contreras, F. R. (2012). Respuesta de la Aplicación de Estiércol y Fertilizantes Sobre El Rendimiento y Calidad del Chile Jalapeño. *Biocencia*, 14(3), 32-38
- Estrella, V., Nipotti, J., Orive, M., y Fernández Bussy, R. (2015). La piel y sus nutrientes. *Revista Argentina de Dermatología*, 96(2), 117-133
- Falconer D. S. y Mackay, T. F. C. (1996). Introducción a la Genética Cuantitativa. 4ª edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 469 P. Cap. 11, 187-209
- Guantes-Ruiz, Jairo. (2006). "El Mercado de los Invernaderos en México. Notas Sectoriales." *Spanish Institute of Foreign Trade. Economic and Commercial Office. Embassy of Spain in Mexico, Mexico.*

- Hallauer A. R., Carena, M.J., y Miranda F. J. B. (2010). Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd Ed. Iowa State University Press. Ames, Iowa. Pp:60. (Vol. 6). Springer Science & Business Media.
- 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
- Ibarra, M. A. I., Moreno, S. F. M., Valencia, E. A. C., Castorena, M. M. V., Cohen, I. S., & López, A. R. (2007). Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30(4), 429-436.
- Laborde-Cansino J.A. Y Pozo-Campodónico O. (1982). Presente y Pasado del Chile en México. Publicación Especial No. 85. INIA, México
- Latournerie M. L., J. S. López V., G. Castañón N., J. O. Mijangos C., G. Espadas V., A. Pérez G. Y E. Ruiz S. 2015. Evaluación Agronómica de Germoplasma de Chile Habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.). *Agroproductividad* 1: 24-29.
- Lenaerts, B.; Collard, B. C. and Demont, M. 2019. Improving Global Food Security Through Accelerated Plant Breeding. *Plant Science*. 287 (110207): 1-8. Review Doi: 10.1016/J.Plantsci.2019. 110207
- Luo X.J., Peng J., y Li Y.J. (2011) Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. *European Journal of Pharmacology*. 650:1-7
- Macías R.H., Romero E. y Martínez J. (2003). Invernaderos de Plástico. Cap. 6. en *Agricultura Protegida*. I. Sánchez Cohen (Ed.). Pp 131-163. Inifap Cenid Raspa. Gómez Palacio, Dgo.
- Maroto, B. J. V. (1989). *Horticultura. Herbácea Especial*. Ed. Mundi-prensa 5ta edición. Madrid, España 566 P
- Márquez Sánchez, F. (1988). *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Métodos, Teoría, Resultados. Agt. Editor. México. P. 665. (No. 04; SB123, M3.).
- Mejía Yáñez, F. M. (2013). *Aislamiento y caracterización fisicoquímica de la capsaicina de tres variedades de ají* (Bachelor's thesis, QUITO/PUCE/2013).
- Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I.M y Francisco, H. (2004). Importancia Nutricional de los Pigmentos Carotenoides. *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*, 54 (2), 149-155.
- Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I.M., y Heredia, F.J. (2007). Pigmentos Carotenoides: Consideraciones Estructurales y Fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*, 57 (2), 109-117.
- Miccolis, V., Candido V., y Marano V. (1997). Influence of Harvest Time On Yield of Some Sweet Pepper Cultivars Grown in Greenhouses. *Acta Hort.* 491: 205-208.

- Milerue N. And Nikornpun M. (2000). Studies On Heterosis of Chile (*Capsicum Annumm L*) Kasetsart J. Nat. Sci. 34:190 *Agriculture and Natural Resources*, 34(2), 190-196
- Mishra R. S., Lotha R. E. y Mishra, S. N. (1989). Heterosis in Chilli by Diallel Analysis. *South Indian Hort.* 37:(3), 179-180
- Murray, L. W.; Ray I. M.; Dong, H.; Segovia-Lerma, A. (2003). Clarification and Reevaluation of Population-Based Diallel Analyses: Gardner and Eberhart Analyses II and III Revisited. *Crop Science.* 43(6):1930-1937. Doi:10.2135/Cropsci2003.1930
- Oxilia, R. M. (2014). Estrés oxidativo y sistema de defensa antioxidante. *Revista Del Instituto de Medicina Tropical*, 5(2), 23-27.
- Pashold, P. J., y. Zengerle K. H. (2000). Sweet Pepper Production in a Closed System in Mound Culture with Special Consideration to Irrigation Scheduling. *Act. Hort.* 554: 329-333.
- Pérez-Grajales, M., González-Hernández, V. A., 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.
- Ramírez Meraz, Moisés; Arcos Cavazos Gerardo; Méndez Aguilar Reinaldo; Meneses Márquez Isaac. (2019) Variedades e Híbridos de Chile para el Trópico de México. *Producción Agropecuaria: Un Enfoque Integrado*, P. 29.
- Ramírez, H., Amado-Ramírez, C., Benavidez-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., y Martínez Osorio, A., (2010) Prohexadiona-Ca, Ag3, Anoxa, Y Ba Modifican Indicadores Fisiologicos Y Bioquimicos De Chile Mirador. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 16(2) 83-89.
- Rao, P.G., Reddy, K.M., Naresh, P. y Venkata, C. (2017). Heterosis in pepper (*Capsicum annuum L.*) for yield and yield attribution traits. *Journal Botanic de Bangladesh*, 46 (2), 745-750.
- SAGARPA-INIFAP (2010) Fertirrigación de Chile Serrano con Riego por Goteo en el Sur de Tamaulipas Dr. Horacio Mata Vázquez Dr. Enrique Vázquez García M.C. Moisés Ramírez Meraz M.C. Juan Patishtán Pérez. Libro Técnico No. 2 ISBN: 978-607-425-465-5
- Sánchez-Segura, L., Téllez-Medina, D. I., Evangelista-Lozano, S., García-Armenta, E., Alamilla-Beltrán, L., Hernández-Sánchez, H., y Gutiérrez-López, G. F. (2015). Morpho-structural description of epidermal tissues related to pungency of *Capsicum* species. *Journal of Food Engineering*, 152, 95-104
- SEMINIS (2015). <https://www.seminis.mx>

- Seneviratne, K. G. S., y Kannangara, K. N. (2004). Heterosis, Heterobeltiosis and Commercial Heterosis for Agronomic Traits and Yield of Chilli. *Annals Of The Sri Lanka Department Of Agriculture*, 6, 195-201.
- Seva Rivadulla F (2019) Arrebata China La Producción De Chile En México. Revista Digital De Productores De Hortalizas En <https://www.hortalizas.com/cultivos/chiles-pimientos/arrebata-chhina-la-produccion-del-chile-en-mexico/>
- SIAP-SAGARPA (2012-2021). Servicio De Información Agroalimentaria Y Pesquera-Secretaria De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación. Producción Agrícola Por Cultivo. Disponible En Línea [Http://www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/Agricola-Siap>
- Steta, M. (1999). Status of the Greenhouse Industry in México. *Acta Hort.* 481: 735-738.
- Shumbulo, A., Nigussie, M., & Alamerew, S. (2017). Heterosis and heterobeltiosis study of hot pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes in Southern Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 11(2), 63-70.
- Surh Y J (2002) More than spice: capsaicin in hot chili peppers makes tumor cells commit suicide. *J. Nat. Cancer Inst.* 94:1263-1265.
- Surh, Y.J. y Lee, S.S. (1996). Capsaicina en ají picante: ¿carcinógeno, co-carcinógeno o anticancerígeno. *Toxicología alimentaria y química*, 34 (3), 313-316.
- Valadez, L. A. (1998). Producción De Hortalizas. Editorial Limusa., Mexico, D. F.
- Vallejo Cabrera, F. A. (2002). Mejoramiento Genético De Plantas. Universidad Nacional De Colombia, 402 P. Co-Bac, Bogotá.
- Yagüe Sancho, M. (2020). Mejora Genética De *Capsicum* Asistida Por Marcadores Moleculares: Caracteres Del Fruto. Universidad De Almería Trabajo Fin De Máster: Memoria Facultad De Ciencias Experimentales: Máster en Biotecnología Industrial y Agroalimentaria
- Zewdie Y. y Bosland P. W. (2000). Evaluation of Genotype, Enviroment, and Genotype-By-Enviroment Interaction for Capsaicinoids in *Capsicum Annumm* L. *Euphytica* 111:185
- Zewdie Y., Bosland P. W. y Steiner R. (2000). Combining Ability and Heterosis for Capsaicinoids in *Capsicum Pubescens*. *Hortscience*. 36:1315