

**ESTIMACIÓN DE LA APTITUD
COMBINATORIA Y HETEROSIS EN
POBLACIONES DE TOMATE DE CÁSCARA
(*Physalis ixocarpa* Brot.)**

NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA APTITUD COMBINATORIA Y
HETEROSIS EN POBLACIONES DE TOMATE DE
CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)**

TESIS POR

NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO

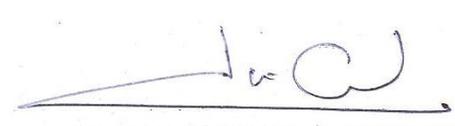
Elaborado bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

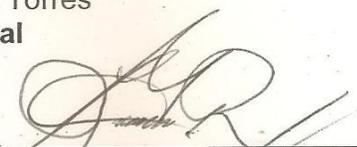
COMITÉ PARTICULAR



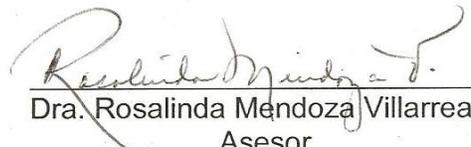
Dr. Valentín Robledo Torres
Asesor principal



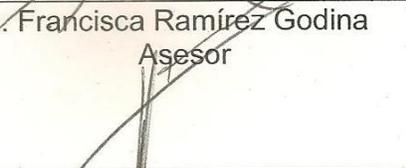
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor



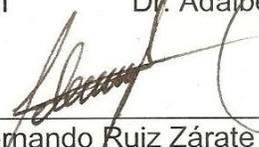
Dra. Francisca Ramírez Godina
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor



Dr. Fernando Ruiz Zárate
Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2013.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA.
COMPENDIO.....	v
ABSTRACT.....	viii
Agradecimientos.....	xi
Dedicatoria.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1.- Origen e historia.....	5
2.2.- Importancia.....	6
2.3.- El mejoramiento genético vegetal.....	7
2.4.- El mejoramiento genético en tomate de cáscara.....	12
2.5.- Diseños dialélicos y aptitud combinatoria.....	16
2.6.- Heterosis y heterobeliosis.....	19
III. ARTÍCULO “estimación de la aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cascara”.....	21
IV. RESULTADOS DE HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS.....	44
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. LITERATURA CITADA.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA.
ARTÍCULO Cuadros medios del análisis de varianza combinado para cuatro poblaciones y cruzas dialélicas de acuerdo al Metodo I Modelo II de Griffing, en tomate de cascara, establecido en Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	31
Cuadro 1.	
ARTÍCULO Efectos de ACG y comportamiento genético de progenitores a través de sus cruzas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	33
Cuadro 2.	
ARTÍCULO Efectos estimados de ACE y comportamiento genético de cruzas directas y reciprocas en promedio de las localidades, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	35
Cuadro 3.	
ARTÍCULO Efectos maternos de progenitores en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	36
Cuadro 4.	
ARTÍCULO Estructura genética y análisis de cruzas para rendimiento, en base a su ACG y ACE en promedio por localidades.....	38
Cuadro 5.	
Cuadro 4.1. Prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$) de progenitores y sus respectivas cruzas directas y reciprocas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.	47
Cuadro 4.2. Valores de heterosis (%) presentada por las cruzas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.	48
Cuadro 4.3. Valores de heterobeltiosis (%) presentada por las cruzas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	49
Cuadro 4.4. Valores medios de progenitores y cruzas no analizadas con el dialélico I modelo II de Griffing, en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	52
Cuadro 4.5. Valores de heterosis (%), presentada por las cruzas no analizadas con el dialélico I modelo II de Griffing, en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	53
Cuadro 4.6. Valores de heterobeltiosis (%), presentada por las cruzas no analizadas con el dialélico I modelo II de Griffing, en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.....	54

COMPENDIO

ESTIMACIÓN DE LA APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN POBLACIONES DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

POR

NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO

MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre de 2013

Dr. Valentín Robledo Torres. - Asesor-

Palabras clave: *Physalis ixocarpa* Brot., cruzas dialélicas, varianza genética aditiva, varianza genética de dominancia, heterobeltiosis, rendimiento de fruto.

El tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot. es una de las hortalizas más importantes en México, actualmente ocupa el quinto lugar en superficie sembrada, se distribuye en todos los Estados de la República Mexicana, esta diversidad geográfica, ha originado una amplia variabilidad genética que puede ser útil en programas de mejoramiento genético, ya que actualmente se utilizan principalmente variedades con escaso mejoramiento genético, registrando en el 2012 un rendimiento medio de 14,362 t.ha⁻¹, sin embargo se considera que éste cultivo puede alcanzar rendimientos superiores a 60 t.ha⁻¹, mediante el uso de tecnologías de producción adecuadas y sobre todo

variedades o híbridos de alto rendimiento, desarrollados mediante el uso de genotipos con alta aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) para el desarrollo de variedades o híbridos superiores, por lo tanto el objetivo de éste trabajo fue; identificar poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) de alta ACG y ACE. Las poblaciones estudiadas de acuerdo al Método I Modelo II de Griffing (1956) fueron: UAN CC-S2(1), UAN CPP-S2(2), UAN SE3(3) y la variedad Rendidora(4), además seis cruza directas y seis recíprocas. Otras poblaciones progenitoras estudiadas fueron; la UAN CJ-S2, *P. angulata* y UAN 133-05, originando 15 híbridos adicionales. Los cruzamientos se realizaron en invierno de 2012 y la evaluación de progenitores y cruza se llevo a cabo en el ciclo Primavera-Verano de 2013, en dos localidades experimentales, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada a 25° 21' 24'' N y 101° 02' 05'' O a 1762 msnm y en General Cepeda, Coahuila, México, ubicada a 25° 22' 45'' N y 101° 27' 18'' O a 1465 msnm, bajo un arreglo experimental de bloques al azar con tres repeticiones.

El análisis genético-estadístico permitió identificar diferencias significativas en Cruza, ACG, ACE, EM y ER, en las variables rendimiento de fruto y componentes del rendimiento y se identificó a las poblaciones UAN CPP-S2 y UAN SE3 con altos valores de ACG. Los tres híbridos sobresalientes fueron; UAN CC-S2 x Rendidora (26.25 t.ha⁻¹) que presentó ACG (-5.718) < ACE (6.925) y se recomienda usarlo como híbrido, mientras que UAN CPP-S2 x UAN SE3 (36.52 t.ha⁻¹) tuvo ACG (5.718) ≈ ACE (5.457) y se podrá usar como población base para selección recurrente. El híbrido UAN SE3 x UAN CPP-S2 (29.52 t.ha⁻¹) con ACG (5.718) > ACE (3.501), se podría utilizar como variedad de polinización libre, por lo tanto se recomiendan para su uso en programas de mejoramiento genético.

En el presente trabajo se encontraron valores de heterosis de hasta 107.26 %, y heterobeltiosis de 103.49 %, correspondiente a la cruza 1*4, sin embargo la cruza mas rendidora (2*3) mostró heterosis de 42.82 % y heterobeltiosis de 22.30 %, de igual forma esta cruza presentó valores de heterosis y heterobeltiosis positivos en las variables PPF, DPF, DEF, SST y vitamina C.

ABSTRACT

ESTIMATION OF HETEROSIS AND COMBINING ABILITY IN POPULATIONS OF HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.)

BY

NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO

MASTER OF SCIENCE
IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre de 2013

Dr. Valentín Robledo Torres. - Adviser-

Key words: *Physalis ixocarpa* Brot., Diallel crosses, additive genetic variance, dominance genetic variance, heterobeltiosis, fruit yield.

The husk tomato *Physalis ixocarpa* Brot. is one of the most important vegetables in Mexico, currently ranked fifth in acreage, is distributed in all states of the Mexican Republic, this geographic diversity, has led to a wide genetic variability that may be useful in breeding programs, and varieties currently used are of scarce breeding, registering in 2012 an average yield of 14.362 t ha⁻¹, however it is considered that it can achieve higher yields 60 t ha⁻¹, using appropriate production technologies and especially varieties or hybrids of high performance, developed by using genotypes with high

general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) to produce superior varieties or hybrids, therefore the aim of this work was; identify populations of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) high GCA and SCA. The populations studied according to Method I Model II of Griffing (1956) were: UAN CC-S2 (1), UAN CPP-S2 (2), UAN SE3 (3) and the variety Rendidora (4) plus six direct crosses and six reciprocals. Other progenitor populations studied were: UAN CJ-S2, 133-05 UAN, *P. angulata* and 15 additional hybrids. The crosses were performed in winter 2012 and the evaluation of parents and crosses were carried out in the cycle Spring-Summer 2013 in two experimental locations in the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, located 25 ° 21 '24" N and 101 ° 02 '05" W at 1762 msnm and in General Cepeda, Coahuila, Mexico, located at 25 ° 22' 45" N and 101 ° 27 '18" W at 1465 msnm, in an experimental arrangement randomized block with three replications.

Genetic-Statistical analysis identified significant differences in, Crosses, ACG, ACE, EM and ER, in characteristics of fruit yield and yield components and the populations UAN-SE3 and UAN CPP-S2 and have high values of ACG. Three hybrids were outstanding; UAN CC-S2 x Rendidora (26.25 t ha⁻¹) presented ACG (-5.718) < ACE (6.925) and is recommended for use as a hybrid, while UAN CPP-S2 x UAN SE3 (36.52 t ha⁻¹) had ACG (5.718) \approx ACE (5.457) and may be used as a base population for recurrent selection. The hybrid UAN SE3 x UAN CPP-S2 (29.52 t ha⁻¹) with ACG (5.718) > ACE (3.501), could be used as open-pollinated variety, therefore recommended for use in breeding programs.

In this work the heterosis was up to 107.26%, and heterobeltiosis of 103.49%, corresponding to hybrid 1 * 4, however the better crossing was 2 * 3, showed heterosis

of 42.82% and 22.30% of heterobeltiosis, also this cross presented heterosis and heterobeltiosis in PPF, DPF, DEF, VIT, SST, vitamin C.

Agradecimientos

A mis padres y mi familia por haberme brindado su apoyo moral, espiritual y económico durante mi proceso de formación académica y profesional, y porque siempre me impulsan a seguir adelante con lo que quiero.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y al Departamento de Horticultura por albergarme en sus instalaciones por dos años consecutivos y con ello la oportunidad de continuar mi formación profesional.

Al CONACYT por brindarme la beca con la que fue posible culminar mis estudios de maestría en tiempo y forma.

Al Dr. Valentin Robledo Torres por haberme guiado y contribuido en la conducción y ejecución de este trabajo de investigación, además de las sugerencias y consejos que ayudaron en mi formación profesional y como persona.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, la Dra. Francisca Ramirez Godina, la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal, por su apoyo incondicional y colaboración en la realización de esta investigación, además de los conocimientos brindados en las aulas y que sirvieron para realizar la investigación de la manera correcta.

A todos los profesores pertenecientes al núcleo básico de la Maestría en Ciencias en Horticultura que de una u otra manera colaboraron en mi proceso de formación profesional y como persona.

A mi hermano Rudy Camposeco Montejo y Yesi Anali Camposeco Montejo, mi primo Jimmy, a mi amigo Miguel Ángel Morales Jiménez, por haberme apoyado y estado siempre en los momentos difíciles y momentos de alegría.

A los camaradas y compañeros de la maestría, Alfredo Patichan (el gordito), Victor, William, Capula, Gibran, Martel, Dago, con los que compartí momentos de aventura, alegría y nos divertíamos sobre todo al jugar futbol, también cuando nos juntábamos en el salón 9 y 10 de postgrado para echar el relajo.

A mis compañeros y amigos de la universidad que siempre me apoyaron durante todo este tiempo.

Dedicatoria

A dios por haberme guiado e iluminado en mi camino y darme una familia maravillosa, por darme fuerza y a la vez tranquilidad y paciencia en los momentos difíciles.

A mis padres Juan Camposeco Ross y Milida Montejo Mejía por haberme dado la vida y su apoyo siempre incondicional durante el proceso de mi formación académica profesional y sobre todo como persona.

A mis hermanos Rudy, Uriel y Yesi Anali que siempre estuvieron aquí, impulsándome a seguir adelante y apoyándome en todo momento.

I. INTRODUCCIÓN

La población humana crece a un ritmo exponencial constante y por ende una demanda proporcional de alimentos, al tiempo que los espacios para la producción agrícola se reducen por el crecimiento de los asentamientos urbanos, lo cual trae como consecuencia que en muchos países, la demanda no sea cubierta por la producción local y tenga que importarse grandes cantidades de alimentos de otros países. En México los incrementos de la población han ocasionado una demanda creciente de alimentos, dentro de las especies de mayor demanda y que aumenta día a día se encuentra el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) que aunque se cultiva en muchos Estados de la República Mexicana en muchas ocasiones no es suficiente para satisfacer la demanda creciente del mercado.

El tomate de cáscara en México, actualmente ocupa el quinto lugar en superficie sembrada entre las hortalizas (SIAP, 2012), se distribuye en todos los Estados de la República Mexicana, desde los 8 hasta 3350 m.s.n.m. (Santiaguillo *et al.*, 2004) y crece en forma silvestre, cultivada y domesticada, esta amplia variabilidad geográfica, es consecuencia de que México como centro de origen, tenga amplia distribución y diversidad genética (formas, color, tamaño y tolerancia a factores adversos), que puede ser útil en los programas de mejoramiento genético (Peña y Márquez, 1990). Actualmente el rendimiento medio nacional de tomate de cascara es de 14,362 t.ha⁻¹ (SIAP, 2012), considerándose bajo en relación con el potencial productivo, ya que se

reportan rendimientos experimentales de hasta 40 t.ha⁻¹ (Peña y Santiaguillo, 1999) y 63 t.ha⁻¹ (López *et al.*, 2009). Ante los bajos rendimientos surge la necesidad de desarrollar variedades o híbridos de alto rendimiento, ya que en México ésta especie se propaga principalmente con semilla de variedades criollas y las variedades mejoradas que actualmente se tienen, se han obtenido por selección masal, selección familiar de medios hermanos y selección combinada de medios hermanos, ya que la producción de líneas puras para generar híbridos está muy restringida (Peña y Márquez, 1990), debido a que es una alógama obligada por presentar autoincompatibilidad gametofítica (Pandey, 1957).

La amplia diversidad existente en el tomate de cáscara en cuanto a formas, color, tamaño y tolerancia a factores adversos es de gran importancia, para el mejoramiento genético de ésta especie. Los bajos rendimientos son debidos inadecuado manejo del cultivo, siembra bajo condiciones de temporal y a la escasez de variedades mejoradas. Por lo que la necesidad de trabajar en su mejoramiento genético se hace cada vez más relevante, a fin de contribuir en el desarrollo de genotipos con potencial de rendimiento y calidad de fruto, que superen los rendimientos medios de las variedades que se cultivan actualmente.

Los diseños dialélicas de apareamiento son una herramienta de gran importancia y comúnmente usados en el fitomejoramiento, para obtener información de la carga y efectos genéticos de los padres, principalmente efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), parámetros genéticos determinantes en la selección de los padres que producen cruza superiores (Burrow y Croos 1994; Zhang y Kang 1997), además permiten establecer las estrategias y técnicas de mejoramiento

genético más adecuadas, tanto en especies autóгамas como alógamas (Hallauer y Miranda, 1981).

La demanda creciente, obliga a la búsqueda de poblaciones que en un momento dado permitirían el desarrollo de genotipos mejorados con mayor potencial de rendimiento por unidad de superficie, de mayor calidad de fruto y resistencia a factores adversos, lo que se lograría con un programa de mejoramiento genético dirigido, mediante el conocimiento de parámetros genéticos como la ACG y ACE.

Por lo tanto en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

Identificación de poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) de alto valor genético con base en los efectos de aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica y heterosis.

Definir las mejores estrategias de mejoramiento genético de las poblaciones bajo estudio en función de su ACG y ACE

Objetivos específicos

- Evaluar características de interés agronómico de los híbridos interpoblacionales de tomate de cáscara resultantes de las cruza simple planta por planta y determinar que progenitores producen las cruza superiores, expresado en heterosis y heterobeltiosis.
- Estimar la heterosis y heterobeltiosis en variables de calidad de fruto de tomate de cáscara.

Hipótesis

1.- La divergencia geográfica entre las poblaciones bajo estudio se expresa en híbridos superiores a sus progenitores.

2.- Existen altos valores de heterosis en las poblaciones bajo estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- Origen e historia

La palabra tomate proviene del vocablo náhuatl ayacachtomatl cuyas etimologías: ayacach (tli)= sonaja, cascabel y tomatlcomate. Así como su nombre genérico en el idioma maya que supone es originaria de América y muy probablemente de México.

Bukasov (1963) señala que los aztecas lo cultivaban entre sus milpas de maíz aunque es muy probable que su cultivo fuese muy rudimentario, por lo que se cree que se desarrollaba en forma silvestre, para ser consumidos en salsas acompañados con chile, además hay indicios de que también se le usaba con fines curativos contra úlceras.

El tomate de cáscara pertenece al género *Physalis* de la familia de las solanáceas, con distribución principalmente en zonas templadas y tropicales de América, algunas áreas de Asia, Australia, Europa y África tropical. Varias especies de *Physalis* han sido cultivadas por sus frutos destacándose; *peruviana*, *pruinosa* e *ixocarpa* (Menzel, 1951). Esta última considerada originaria de México, donde se le encuentra en forma silvestre desde Guatemala hasta California EE.UU. Situación que prevalece en áreas de Centro-Sur y Costa del Pacífico Mexicano, donde aun tiene lugar la recolección de frutos para consumo familiar, incluso para la venta en mercados locales y regionales (Soto, 1996).

2.2.- Importancia

En la actualidad, es evidente la importancia que tiene el Genero *Physalis* y aun más la especie *ixocarpa* en la cocina y medicina tradicional Mexicana, atribuyéndosele gran cantidad de propiedades alimenticias y curativas, sin dejar del lado el aspecto que históricamente se le ha dado, resultando insustituible en la elaboración de salsas para la preparación de platillos regionales (Hernández, 1946; Saray y Villanueva, 1978).

El tomate de cáscara en 1957, prácticamente solo se le cultivaba en México, sin embargo, en la actualidad varios países de Europa, Asia, África, Australia lo cultivan (Peña y Márquez 1990).

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México actualmente ocupa el quinto lugar en cuanto a superficie sembrada (43,505.33 hectáreas) entre las hortalizas, por debajo únicamente de chile, tomate, cebolla y papa, siendo los estados de Sinaloa, Jalisco, Sonora, Puebla, Estado de México, Michoacán y Morelos los que más contribuyen a su producción, además del consumo nacional (5 kg *per capita*), las exportaciones a Estados Unidos y Canada principalmente, han cobrado gran importancia (SIAP, 2012).

En la década de los 90s las variedades más importantes fueron Rendidora, Salamanca, Tamazula y Puebla, las cuales sirvieron como base para los programas de mejoramiento genético posteriores (Peña y Márquez, 1990). La amplia diversidad genética existentes en cuanto a formas, color, tamaño y tolerancia a factores adversos, indica la importancia que cobra como recurso fitogenético, por tanto un largo camino por recorrer en su mejoramiento (Robledo *et al.*, 2011). A pesar de la gran importancia del cultivo, el rendimiento medio nacional es de 14,362 t.ha⁻¹ (SIAP, 2012),

considerándose bajos en relación con el potencial productivo dado que se reportan rendimientos de hasta 40 y 63 t.ha⁻¹ (Peña y Santiaguillo, 1999; López *et al.*, 2009), lo que da la pauta para continuar con el mejoramiento genético de la especie a fin de desarrollar genotipos superiores y con ello mejorar la productividad del tomate de cáscara por unidad de superficie.

2.3.- El mejoramiento genético vegetal

Desde el inicio de la existencia del hombre, incapaz de elaborar por si mismo los alimentos que posibilitan y facilitan su vida, ha recurrido a diferentes organismos tanto animales como vegetales para la satisfacción de sus más elementales necesidades, pero las plantas debido a su capacidad de fotosintetizar, constituyen el primer eslabón en el flujo constante de energía de los ecosistemas (Cuevas, 1991)

A través de la historia la forma en la que los grupos humanos han percibido y manejado las plantas ha ido cambiando, distinguiéndose en este proceso las plantas silvestres, toleradas, fomentadas y finalmente cultivadas que en su fase inicial los grupos humanos requirieron grandes extensiones para su propósito, Santiaguillo *et al.*, (2010) señalan cuatro aspectos importantes de la diversidad genética vegetal; 1) siendo organismos heterótrofos la vida humana depende en última instancia de los alimentos y oxígeno que proporcionan las plantas, 2) desde el punto de vista evolutivo, tanto la selección natural, como la ejercida por el hombre mediante domesticación, requieren como condición imprescindible para producir, la existencia de diversidad genética en la composición de poblaciones originadas, 3) históricamente, la diversidad genética vegetal ha sido y será el fundamento del proceso de producción agrícola en el mundo, 4) la

variación genética entre individuos de una misma especie asegura que el taxón como un todo pueda cambiar y adaptarse en respuesta a las presiones de selección, asegurando de esta manera su supervivencia y evolución.

El mejoramiento genético de cualquier cultivo implica un proceso continuo para la formación de híbridos y variedades superiores en los aspectos de rendimiento y productividad, resistencias a plagas, enfermedades, sequia, salinidad etc., que las ya existentes en la actualidad. Al mejorar un cultivo, es importante conocer a detalle el componente genético de los materiales usados como progenitores, dado que en todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma progenitor es una de las decisiones más importantes a tomar en cuenta, al respecto, (Hallauer y Miranda, 1981), señalan que la caracterización de los progenitores por su aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), permite establecer las estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y con ello determinar el método de mejoramiento genético más adecuado, tanto en especies autógamas como alógamas, una importante herramienta que permite determinar ACG y ACE son los diseños dialélicos de apareamiento de Griffing (1956 a, b) usados extensivamente en programas de mejoramiento genético. Esto permite seleccionar progenitores con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos, e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado. De esta manera la variabilidad genética vegetal representa la base para el mejoramiento genético de plantas que el hombre usa para su supervivencia, es por ello que se ve en la necesidad de implementar acciones que permitan mejorar las características de las plantas de interés, así como preservar la conservación *ex situ*, mediante bancos de germoplasma, importante alternativa, para la conservación de la variabilidad y el recurso genético.

Sahagun (1992), señala que en el mejoramiento genético de una especie, el fitomejorador debe tener perfectamente definidas las características agronómicas y el comportamiento del material a obtener. Por su parte Santiaguillo *et al.*, (1996) mencionan que si la meta final del fitomejorador es la liberación de cultivares altamente productivos y agronómicamente deseables, es conveniente que el proceso de evaluación, considere experimentos de campo en diferentes ambientes, con el objetivo de generar información relacionadas con la estabilidad de rendimiento del cultivar a liberar.

De los cereales más importantes y en el que se ha trabajado fuertemente por mejorar sus características agronómicas y de calidad es el maíz (*Zea mays* L.) en donde reportan que los híbridos intervarietales rinden más que las variedades mejoradas (Russell, 1991; Duvick, 1999), principalmente los de cruce simple de líneas endogámicas (Weatherspoon, 1970). Al respecto Rojas y Jimenez (1986), reportan en ocho mestizos de maíz resultantes de cruces de líneas de alta calidad proteica incrementos en rendimiento, con valor de heterosis que varía de 92.5 % hasta 101.36%, mostrando además mejor cobertura de mazorca y por ende menor pudrición de la misma. En tanto que Ramírez *et al.*, (1998) detectan diferencias estadísticas significativas en mestizos de maíz, con incrementos de 9.5% más que la media general y 24 % más que el promedio de los testigos, además el mejor mestizo superó en 15% al mejor testigo. Quemé *et al.*, (1991) reportan incrementos en rendimiento de grano de hasta 16 % respecto al híbrido comercial. Por su parte Castañón *et al.*, (2003) encontraron una mayor heterosis en rendimiento de grano de maíz en cruces no emparentadas entre padres resistentes al achaparramiento x padres susceptibles, atribuyéndosele este fenómeno a la divergencia genética, fenómeno no mostrado por las cruces resistentes x resistentes y susceptibles x susceptibles. Mientras que De la cruz *et al.*, (2010) señalan

diferencias altamente significativas de aptitud combinatoria general para rendimiento de grano en dos poblaciones, cuatro híbridos resultantes de la cruce entre poblaciones mostraron mayor aptitud combinatoria específica, encontrando en cinco híbridos incrementos en rendimiento respecto a sus progenitores, concordante a lo encontrado por Avila *et al.*, (2009) quienes atribuyen el rendimiento de grano y longitud de mazorca a efectos genéticos no aditivos en líneas endogámicas de maíz de valles altos de México. Lo cual diferente a lo que afirman (Torrecillas y Bertoia 2000; Wong *et al.*, 2006) adjudicando que los efectos aditivos son más importantes que los no aditivos en el rendimiento y acumulación de materia seca, señalando en estos incrementos de hasta 116 % respecto al mejor progenitor. Por su parte Barrera *et al.*, (2005) reportan que realizando retrocruzas en maíz se reducen notablemente los efectos de aptitud combinatoria general y específica, encontrando rendimientos similares a los híbridos comerciales, por lo que sugieren realizar autofecundaciones tempranas.

Workie *et al.*, (2013) estudiaron en el noreste de Etiopia la interacción genotipo-ambiente en 15 genotipos de maíz, donde únicamente tres de los materiales probados mostraron alta estabilidad en rendimiento de grano en todos los ambientes lo que demuestra la sensibilidad de adaptación general, contrario a lo mostrado por el resto de los materiales probados. Al respecto Adebola *et al.*, (2013) reportan en híbridos de (*Ipomoea batatas* L.) mayor rendimiento para ambientes definidos en Sudáfrica, y las interacciones genotipo ambiente fueron significativas.

Moreira *et al.*, (2003) estudiaron la heterosis y habilidad combinatoria en líneas de tomate, encontrando heterosis en rendimiento y peso promedio de fruto, que lo atribuyen principalmente a efectos genéticos no aditivos o de dominancia. Por su parte Mendoza *et al.*, (2010) estudiaron la heterosis intervarietal en jitomate indeterminado

tipo saladette, reportando seis cruzas que superaron en rendimiento total de fruto y larga vida de anaquel a su mejor progenitor y al progenitor medio, mientras que uno de los híbridos mostró mayor efecto de aptitud combinatoria general. En un estudio dialélico de chile jalapeño y ancho, se encontró que el rendimiento está influenciado en mayor medida por efectos genéticos aditivos (Hernandez *et al.*, 2011), resultados similares reportan Pech *et al.*, (2010) en chile dulce.

Robledo *et al.*, (2002) en híbridos de frijol de temporal, reporta valores de heterosis de hasta 94.3% y heterobeltiosis de 80.8 % para rendimiento de grano, 61 y 38.2 % para vainas por planta, 35.4 % en granos por vaina y 15.7 y 13.7 % para peso de 100 semillas, agregando que la diversidad geográfica y el uso de variedades mejoradas con acumulación de genes favorables para características cuantitativas permite en los híbridos la expresión de altos valores de heterosis. Incrementos de rendimiento en híbridos de frijol reportan (Fooland y Bassiri 1983; Gutiérrez y Singh 1985) con valores de heterosis de hasta 133% y 47.3% respectivamente.

Ruelas *et al.*, (2008) en híbridos de Jamaica encontraron incrementos respecto al mejor progenitor en número de frutos por planta de hasta 96 %, peso de cálices secos 36 %, numero de frutos de la rama principal 46 %, numero de ramas por planta 27 % y peso de cálices frescos 14 %, atribuyendo en los tres primeros a efectos de dominancia y epistáticos, mientras que a los dos restantes y otras variables estudiadas a efectos aditivos.

Méndez *et al.*, (1997) reportan en híbridos de algodón, heterobeltiosis de hasta 58.52 %, por lo que determinan que el uso de este fenómeno permite incrementar la productividad del cultivo.

Características tendientes a mejorar calidad de fruto cada vez son más estudiadas mediante los análisis genéticos, en Chile manzano por ejemplo se estudio el contenido de capsaicinoides (nordihidro-, dihidro- y capsaicina) en fruto, encontrando que este carácter está regulado por genes de efectos dominantes, resultando estos más importantes que los aditivos, además están influenciados por genes extracelulares (Sánchez *et al.*, 2010).

2.4.- El mejoramiento genético en tomate de cáscara

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una especie diploide $2n=2x=24$ considerada alógama obligada por presentar autoincompatibilidad gametofítica, por lo que se hace difícil la obtención de líneas endogámicas para su hibridación clásica (Pandey, 1957; Santiaguillo *et al.*, 2004). Es por ello que los métodos genotécnicos usados para su mejoramiento genético se han basado sólo en la selección, principalmente selección masal y familiar de medios hermanos, sin embargo, es posible obtener híbridos intervarietales o sintéticos partiendo de ciclos avanzados de selección (Peña y Márquez, 1990).

Como la heterosis en una cruce se incrementa al aumentar la divergencia genética entre los progenitores, para obtener híbridos intervarietales rendidores es necesario que los progenitores sean de alto rendimiento y genéticamente divergentes, en especies autoincompatibles, como el tomate de cáscara. El rendimiento de los híbridos intervarietales puede aumentar si estos se forman entre dos plantas S_0 (sin endogamia) de dos variables que cumplen con las características mencionadas, debido a la mayor aptitud combinatoria específica entre plantas, lo cual se expresa en la heterosis (Ghaderi *et al.*, 1984)

El mejoramiento genético del tomate de cáscara en México, se inicio con una investigación realizada en el campo experimental de Zacatepec Morelos, en 1972. La finalidad fue obtener un cultivar de alto rendimiento. Después de 4 años de evaluación se selecciono una colecta cuyo promedio fue superior al resto de las colectas y se le llamo “Rendidora”. Su promedio de rendimiento fue de 21.3 ton/ha, muy superior a la criolla que rinde un promedio de 13.8 ton/ha es decir 53.45 % más que su progenitor original (Perez *et al.*, 1997).

Sahagún *et al.* (1999) encontraron diferencias altamente significativas entre cruza dialélicas de tres variedades (Salamanca, Rendidora y Milpero de Guerrero) en peso de fruto, precocidad, volumen de fruto en cm^{-2} y altura de planta, por lo que sugieren la existencia de variabilidad genética que permite visualizar posibilidades de desarrollo de variedades superiores mediante cruza intervarietales. Debido a la gran diversidad genética que existe entre los genotipos, se podrían recombinar genes que permitan la formación de un híbrido intervarietal de alto potencial de rendimiento y con buenas características agronómicas. También hallaron variabilidad genética explotable tanto del tipo aditivo como del no aditivo, en el peso de fruto y rendimiento de fruto en el primer corte, en volumen de fruto y altura de planta sólo la aptitud combinatoria general alcanzó significancia estadística. Por lo que plantea como alternativa, el desarrollo de un programa de selección recíproca recurrente para la formación de híbridos intervarietales, que bien podría ser precedida por selección intrapoblacional para eliminar caracteres indeseables de alta heredabilidad.

Peña *et al.*, (1998) encontraron en cruza dialélicas de ocho variedades de tomate de cáscara, que la mejor cruza (Verde Puebla y CHF 1 Chapingo) superó en un 14.3 % al rendimiento de fruto de su mejor progenitor (Verde puebla), que a su vez fue el mejor de

todos los progenitores, encontrando además valores significativos de heterosis para número de frutos por planta y rendimiento total de fruto por planta. Por su parte Sahagún *et al.*, (1999) en cruza intervarietales de tomate de cáscara obtuvieron incrementos en rendimiento de fruto en el primer corte de hasta 138.7 % respecto al mejor progenitor, en la variedad Salamanca y Rendidora y concluyeron que el éxito de cruzamientos artificiales entre poblaciones de tomate de cáscara es posible y es menos complicada que en genotipos más domesticados.

Moreno *et al.*, (2002) estudiaron la varianza aditiva y heredabilidad de la variedad M1-Fitotecnia, encontrando resultados con los que afirman que la alta variabilidad genética aditiva permite la posibilidad de obtener ganancias genéticas importantes mediante selección, lo cual permite derivar rápidamente nuevas variedades de tomate de cáscara.

Santiaguillo *et al.*, (2004) encontraron en cruza planta por planta amplia variación en rendimiento de fruto y permitió obtener híbridos superiores en rendimiento y algunas características de calidad de fruto, respecto a la media de los progenitores y al mejor progenitor, en la cruce intervarietal Verde Puebla y CHF₁ Chapingo. Así mismo mencionan que la heterosis y heterobeltiosis entre dichas cruza vario ampliamente, debido a diferencias en aptitud combinatoria específica entre los progenitores y por las diferencias entre los individuos de las variedades CHF₁ Chapingo y Verde Puebla. Reportando además híbridos de cruce simple entre plantas S₀ de dos variedades (A y B), superiores en rendimiento hasta en 40.6 % sobre A y B. Al igual que Gordillo *et al.*, (2006) en híbridos intervarietales de tomate de cascara encontraron incrementos en rendimiento de hasta 15.5 %, respecto a su mejor progenitor, por lo que definen que los

híbridos intervarietales son prometedores para incluirse en programas de mejoramiento genético.

Peña *et al.*, (1999) encontraron que la mayor heterosis fue encontrada entre familias de diferente origen o entre líneas endogámicas y se encontraron efectos significativos de aptitud combinatoria general en tres caracteres estudiados, mientras que en aptitud combinatoria específica, solo en peso promedio de fruto.

Leiva *et al.*, (2001) reportan en híbridos de (*Physalis peruviana* L.) incrementos en rendimiento, especialmente los cultivados en invernadero, por lo que definen que la interacción dominancia-ambiente para el rendimiento fue muy importante, además de que el efecto de dominancia más alto se observó en invernadero y no en campo. Los caracteres de calidad se vieron muy afectados por el ambiente y mostraron resultados inconstantes para las diferentes familias, en cuanto a rasgos de composición de la fruta, el efecto aditivo y las interacciones de aditivo-ambiente fueron muy importantes, la heredabilidad en sentido amplio para todos los caracteres fue de alta a media (0.48 a 0.91). Cesar *et al.*, (2006) estudiaron la aptitud combinatoria en características de fruto detectando que para peso de fruto los efectos de dominancia son más importantes, mientras que para contenido de sólidos solubles totales los efectos aditivos resultan más importantes, sin embargo para el resto de las variables evaluadas como; diámetro de fruto con cáliz, rendimiento total, ácido cítrico, índice de madurez y pH del jugo, los parámetros de ACG y ACE no fueron significativos, con valores de heterosis media parental relativamente bajos en las combinaciones, hasta 2.72%.

Ortuño *et al.*, (1997) afirman que mediante el cultivo de anteras en el tomate de cáscara podría permitir el uso de dihaploides homocigotos, con el objetivo de iniciar un programa de mejoramiento genético. Lo que coincide con Peña (1994) quien señala que

la formación de híbridos mediante el uso de líneas dihaploides obtenidas por el cultivo de anteras podría tener gran potencial. Mientras que el mejoramiento genético mediante la formación y uso de tetraploides es un camino prometedor para obtener nuevas variedades o híbridos con alto potencial de rendimiento y calidad de fruto, principalmente en contenido de vitamina C y ° Brix, dado que se rompe con el fenómeno de autoincompatibilidad gametofítica (Robledo *et al.*, 2011., Jiménez *et al.*, 2012).

2.5.- Diseños dialélicos y aptitud combinatoria

Los diseños dialélicos de apareamiento son una herramienta de gran importancia y comúnmente usados en el fitomejoramiento, para obtener información de la carga y efectos genéticos de los padres, principalmente efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), parámetros determinantes en la selección de los padres que producen cruzas superiores (Burrow y Croos 1994; Zhang y Kang, 1997) y que además permiten establecer las estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y con ello determinar el método de mejoramiento genético más adecuado, tanto en especies autógamas como alógamas (Hallauer y Miranda, 1981). Se denominan cruzas dialélicas a las cruzas simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de p líneas progenitoras (Griffing 1956 a, b). La aptitud combinatoria es la capacidad que tienen un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez, 1988), sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. Mientras que (Gutiérrez *et al.*, 2004; Castañón *et al.*, 2005) mencionan que conocer la aptitud

combinatoria de los progenitores, mejora la eficiencia de un programa de mejoramiento. Existen varios diseños de análisis dialélico para estimar ACG y ACE, pero el más utilizado es el de Griffing (1956 b), en sus cuatro métodos: 1) progenitores y sus cruzas F1 directas y recíprocas; 2) progenitores y cruzas F1 directas; 3) cruzas F1 directas y recíprocas; y 4) cruzas F1 directas. Los diseños uno y tres de Griffing (1956 a, b) sirven para estimar aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos (EM), efectos recíprocos (ER) y en el caso en que se considere que los híbridos son una muestra aleatoria, componentes de varianza. La progenie de las cruzas (F1) produce información sobre los progenitores al medir sobre ella los caracteres de interés. Los resultados se interpretan mediante un modelo lineal que incorpora ACG, ACE, EM y ER, según el método de Griffing empleado; lo cual permite la interpretación en términos de parámetros genéticos, todo esto es de gran importancia para la toma de decisiones en programas de mejoramiento genético vegetal.

Zhang *et al.*, (2005) desarrollaron un macro para SAS al que nombraron DIALLEL SAS-05, en el cual se pueden analizar las cruzas dialélicas de apareamiento de Griffing (1956 b) en sus cuatro métodos y diferentes modelos, incorporándose además los diseños de Gardner y Eberthart (1966) lo cual proporciona una gama de análisis y da la pauta para elegir el tipo de diseño y análisis en base a lo que estemos buscando, por lo que se convierte en una herramienta de fácil uso y de gran utilidad en la toma de decisiones de los fitomejoradores.

De acuerdo con el criterio de agrupamiento propuesto por Serrano y Mendoza (1990), los mejores progenitores para formar una población base para mejoramiento por selección, serán aquellos con mayores efectos de ACG o acción génica aditiva, y que en sus combinaciones híbridas se comporten mejor que el promedio de los progenitores

involucrados en el cruzamiento, al respecto Peña *et al.*, (1998) catalogan como mejores progenitores a los que presentan mayores efectos de ACG y podrían ser usados en programas de mejoramiento genético, ya sea por hibridación o selección recurrente. Por su parte (López *et al.*, 2012; Wong *et al.*, 2006) señalan que los progenitores que muestren los mayores efectos de ACG son susceptibles de ser usados en programas de mejoramiento genético diseñado a explotar la acción génica aditiva en forma exitosa. Mientras que el criterio de comparación de las cruzas F1 se basa en sus valores genotípicos, respecto a esto Sanchez *et al.*, (2011) propone tres situaciones; 1) en cruzas con $ACG = g_i + g_j > ACE$ se espera que no presenten depresión endogámica significativa en generaciones avanzadas ($F_n, n > 1$), pudiendo utilizarse como variedades sintéticas cuando éstas sean de alto rendimiento; 2) con $ACG < ACE$, las cruzas mostrarían cambios aleatorios en su rendimiento en F_n , ya que los efectos específicos son de mayor magnitud que los aditivos en la expresión de rendimiento; así, de ser una craza rendidora sólo deberá utilizarse como craza y no como sintético, y 3) cuando $ACG = ACE$, ambos tipos de acción génica (aditividad y dominancia) son importantes por lo que la depresión endogámica en F_n se espera que sea reducida, pudiendo usarse la craza como variedad sintética ó como población base para selección recurrente. Mientras que Reyes *et al.*, (2004) afirman que una craza simple será de alto rendimiento si sus dos progenitores son de alta ACG, o si su efecto de ACE es alto y al menos uno de los progenitores muestra alta ACG, por lo que se espera el máximo rendimiento cuando sus progenitores presentan alta ACG y su efecto de ACE en su craza también es alto, sin embargo, si los progenitores son de baja ACG y su efecto de ACE también es bajo el rendimiento de la craza será bajo.

2.6.- Heterosis

La heterosis es el fenómeno en el que el individuo resultante del cruzamiento entre dos genotipos, es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento y vigor, fenómeno que puede presentarse en todos los individuos heterocigotos (Gutiérrez *et al.*, 2002; Shull 1952). Mientras que Robles (1986) señala que la heterosis es la manifestación del vigor híbrido en la progenie en relación con la manifestación de los caracteres de sus progenitores, se puede presentar entre cruzas de líneas puras, cruzas intervarietales o cruzas interespecíficas, además señalan que la heterosis es negativa cuando el vigor híbrido o la expresión de los caracteres son menores que la de los progenitores, en cambio la heterosis es positiva cuando la expresión de los caracteres es mayor que la de sus progenitores. Guzmán *et al.*, (1987) indican que la heterosis puede ser causada por la presencia de genes heterocigotos en condiciones favorables o debido a la sobredominancia, en donde el heterocigoto es superior a ambos homocigotos o bien por genes epistáticos. Por su parte Castro *et al.*, (1968) afirman que al cruzar materiales de diferente fondo genético o de diferente origen geográfico, es decir, cuanto más diferente genotípicamente sean los progenitores en la formación de híbridos, permite que se manifieste generalmente el fenómeno de heterosis, sin embargo, la máxima heterosis se presenta en la generación F1 y disminuye en la F2, debido a la segregación producida y a la disminución del efecto medio de los genes.

La heterosis, es la diferencia de la generación F1 y el promedio de sus progenitores, mientras que la heterobeltiosis es la diferencia de la generación F1 y el promedio del mejor progenitor, ambos parámetros expresados en porcentaje.

$$\text{heterosis} = \frac{F1 - (P1 + P2)/2}{(P1 + P2)/2} * 100$$

Donde;

F1 = híbrido de la primera cruce.

P1= progenitor uno.

P2= progenitor dos.

$$\text{heterobeltiosis} = \frac{F1 - MP}{MP} * 100$$

Donde;

F1 = híbrido de la primera cruce.

MP = el mejor progenitor.

III. ARTÍCULO

ESTIMACIÓN DE LA APTITUD COMBINATORIA EN POBLACIONES DE TOMATE DE CÁSCARA

**Neymar Camposeco Montejo¹, Valentín Robledo Torres^{*1}, Luis Alonso Valdez Aguilar¹,
Francisca Ramírez Godina², Rosalinda Mendoza Villarreal¹, Adalberto Benavides
Mendoza¹**

¹Departamento de Horticultura y ²Departamento de Fitomejoramiento, Universidad
Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315 Saltillo,
Coahuila, México

* Autor para correspondencia, e-mail: varoto@prodigy.net.mx

RESUMEN

El tomate de cáscara *Physalis ixocarpa* Brot. es una de las especies hortícolas más importantes en México, el número limitado de híbridos y variedades mejoradas de alto rendimiento, demanda la búsqueda de genotipos con alta ACG y ACE para el desarrollo de variedades o híbridos superiores, por ende el objetivo de éste trabajo fue estimar la ACG y ACE en las poblaciones UAN CC-S2, UAN CPP-S2, UAN SE3 y variedad Rendidora, seis cruzas directas y seis recíprocas, de acuerdo al Método I Modelo II de Griffing (1956). Los cruzamientos fueron realizados en otoño de 2012 y la evaluación de progenitores e híbridos fue en Primavera-Verano

de 2013, en las localidades de Saltillo y General Cepeda Coahuila, bajo un arreglo experimental de bloques al azar con tres repeticiones. El análisis estadístico combinado permitió identificar diferencias significativas en Cruzas, ACG, ACE, EM y ER, en rendimiento y componentes del rendimiento y se identificó a las poblaciones UAN CPP-S2 y UAN SE3 con altos valores de ACG. Los tres híbridos sobresalientes fueron; UAN CC-S2 x Rendidora (26.25 t.ha⁻¹) que presentó ACG (-5.718) < ACE (6.925) y se recomienda usarlo como híbrido, mientras que UAN CPP-S2 x UAN SE3 (36.52 t.ha⁻¹) tuvo ACG (5.718) ≈ ACE (5.457) y se podrá usar como población base para selección recurrente. El híbrido UAN SE3 x UAN CPP-S2 (29.52 t.ha⁻¹) con ACG (5.718) > ACE (3.501), se podría utilizar como variedad de polinización libre, por lo tanto se recomiendan para su uso en programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa* Brot., cruas dialélicas, rendimiento de fruto, híbridos.

Abstract

The husk tomato *Physalis ixocarpa* Brot. is one of the most important horticultural crops in Mexico, the limited number of hybrids and improved high-yielding varieties, demand finding genotypes with high GCA and SCA for developing superior varieties or hybrids, therefore the objective of this work was to estimate the GCA and SCA in UAN CC-S2, UAN CPP-S2, UAN-SE3 and Rendidora variety, six direct crosses and six reciprocal crosses, according to Method I Model II of Griffing (1956). Crosses were conducted in fall 2012 and the evaluation of parents and hybrids was in Spring-Summer 2013, in the localities of Saltillo and General Cepeda, Coahuila, under an randomized complete block design with three replications. The combined statistical analysis identified significant differences between Crosses, ACG, ACE, EM, ER in yield and yield components and the UAN CPP-S2 and UAN-SE3 populations, were identified with high values of ACG. The three hybrids outstanding were; UAN CC-S2 x Rendidora (26.25 t ha⁻¹) presented ACG (5.718) < ACE (6.925) and is recommended for use as hybrid, while UAN CPP-S2 x UAN-SE3 (36.52 t ha⁻¹) had ACG (5.718) ≈ ACE (5.457) and may be used as a base

population for recurrent selection. The hybrid UAN-SE3 x UAN CPP-S2 (29.52 t ha⁻¹) with ACG (5.718) > ACE (3,501), could be used as open-pollinated variety, therefore recommended for use in breeding programs tomatillo.

Key words: *Physalis ixocarpa* Brot., diallel crosses, fruit yield, hybrids

INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México es de gran importancia, actualmente ocupa el sexto lugar en cuanto a superficie sembrada entre las hortalizas (SIAP, 2012), se distribuye en todos los estados de la República Mexicana, desde los 10 hasta 2600 m.s.n.m. y crece en forma silvestre, cultivada y domesticada, esta amplia distribución geográfica, es consecuencia de que en México exista amplia diversidad fenotípica y genética (formas, color, tamaño y tolerancia a factores adversos) que puede ser útil en los programas de mejoramiento genético (Peña y Márquez, 1990).

Actualmente el rendimiento medio nacional es de 14.362 t.ha⁻¹ (SIAP, 2012), considerándose bajo en relación con el potencial productivo, ya que se reportan rendimientos experimentales de hasta 40 t.ha⁻¹ (Peña y Santiaguillo, 1999) y 63 t.ha⁻¹ (López *et al.*, 2009). Surge entonces la necesidad de trabajar en el mejoramiento genético de la especie, basado principalmente en selección masal, selección familiar de medios hermanos y selección combinada de medios hermanos, ya que la producción de líneas puras para generar híbridos está restringida en ésta especie (Peña y Márquez, 1990). Debido a que es una alógama obligada por presentar autoincompatibilidad gametofítica (Pandey, 1957). Sin embargo, en hibridaciones intervarietales de tomate de cáscara ha sido posible obtener híbridos sobresalientes, sobre todo si los progenitores utilizados son genéticamente divergentes. En la cruce de progenitores derivados de la variedad Verde Puebla y Rendidora se ha encontrado alta heterosis y se han obtenido híbridos planta a planta que superan al mejor progenitor, con incrementos en rendimiento de fruto de 14.3

%, atribuidos a efectos de ACG (Peña *et al.*, 1998), 40.6 % por efectos de ACE (Santiaguillo *et al.*, 2004), hasta 138.7 % en el primer corte en Salamanca x Rendidora atribuido a efectos de ACG (Sahagún *et al.*, 1999). Lo anterior demuestra la posibilidad de encontrar poblaciones genéticamente divergentes y con cualidades para ser aprovechadas en esquemas de mejoramiento genético como la hibridación, con lo cual es posible formar híbridos fenotípicamente superiores a sus progenitores. Entre los diseños genéticos utilizados para estimar las cualidades de progenitores se tiene a los diseños dialélicos de apareamiento, que son una herramienta de gran importancia y comúnmente usados en el fitomejoramiento, para obtener información de la carga y efectos genéticos de los padres, principalmente efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), parámetros genéticos determinantes en la selección de los padres que producen cruza superiores (Burrow y Croos, 1994; Zhang y Kang, 1997), además permiten establecer las estrategias y técnicas de mejoramiento genético más adecuadas tanto en especies autóгамas como alógamas (Hallauer y Miranda, 1981). La aptitud combinatoria es la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progeñie (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 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 cruza F1 directas, 3) cruza F1 directas y recíprocas y 4) cruza F1 directas. Los diseños uno y tres de Griffing (1956 a,b) sirven para estimar ACG, ACE, efectos maternos (EM), efectos recíprocos (ER) y en el caso en que se considere que los híbridos son una muestra aleatoria, componentes de varianza. La progeñie de las cruza (F1s) produce información sobre los progenitores al medir sobre ella los caracteres de interés. Los resultados se interpretan mediante un modelo lineal que incorpora ACG, ACE, EM y ER, según el método de Griffing empleado; lo cual permite su interpretación en términos de parámetros genéticos. 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 y epistasis (Hoegenmeyer y Hallahuer, 1976).

Las variedades mejoradas de tomate de cáscara deben tener mejores características agronómicas y mayor rendimiento y calidad que las nativas (Peña *et al.*, 1997), sin embargo la reducida cantidad de variedades mejoradas o híbridos de tomate de cáscara con alto rendimiento, demanda la búsqueda de poblaciones que permitirían el desarrollo de genotipos con alto potencial de rendimiento, de mayor calidad y resistencia a factores adversos, lo que se lograra en la medida que se estudien y caractericen poblaciones de tomate de cascara en relación a parámetros genéticos de ACG y ACE. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue estimar la aptitud combinatoria general, específica para rendimiento y calidad de fruto de progenies derivadas de poblaciones criollas y mejoradas de tomate de cáscara, con la hipótesis de que la hibridación es un método de mejoramiento útil para obtener materiales de alto rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado fueron los genotipos; UAN CC-S2 (1), UAN CPP-S2 (2) UAN-SE3 (3), obtenidos de colectas realizadas en diferentes regiones de México y con 2 ciclos de selección, y la variedad Rendidora (4), con estos materiales se realizaron cruza directas y recíprocas de acuerdo al Método dialélico I Modelo II de Griffing (1956 b). La evaluación agronómica se realizo en dos localidades, en Saltillo, Coahuila (ubicada a 25° 21' 24'' Latitud Norte y 101° 02' 05'' Longitud Oeste, a una altitud de 1762 msnm, con una precipitación media de 400mm y una temperatura media anual oscilante entre 12-18 °C, con un clima BS₀ k(x') (e)) y en General Cepeda, Coahuila ubicada a 25° 22' 45'' Latitud Norte y 101° 27' 18'' Longitud Oeste, a una altitud de 1645 msnm, con una precipitación media de 342.4 y temperatura media anual oscilante entre 18-22 °C y un clima BW hw (e)), (Carta de Climas No.14R-VII, 1970)

Formación de los híbridos

Para la formación de los híbridos, los progenitores se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando como medio de germinación Peat moss y perlita en una proporción 80:20 respectivamente y 35 días después de la siembra, 20 plántulas por genotipo se trasplantaron en invernadero durante el ciclo otoño-invierno de 2012, éstas fueron establecidas en camas elevadas de 25 cm, con una distancia entre camas de 1.80 m., y entre plantas de 60 cm. Las plantas se cultivaron bajo los procedimientos estándar del cultivo, cuando se inició la floración se realizaron las cruza de forma manual planta a planta, a fin de obtener la mayor cantidad de semilla de cada cruza, las polinizaciones se realizaron diariamente de 9:00 am a 12:00 del día, tomando polen de una flor de una flor que fungió como macho y colocándolo en el estigma de la flor que funcionó como hembra, no se realizaron emasculaciones dado que a las plantas progenitoras se les realizó una prueba preliminar de autopolinización para comprobar su autoincompatibilidad, estas fueron polinizadas nuevamente por los siguientes dos días y cada flor polinizada fue etiquetada indicando los progenitores utilizados. Cuando los frutos resultantes de las cruza alcanzaron su madurez fisiológica, se cortaron y almacenaron de 10 a 15 días a la sombra y a temperatura ambiente, para favorecer la madurez completa de las semillas, luego se procedió a la extracción de la misma, las semillas fueron secadas a la sombra y a temperatura ambiente por diez días y posteriormente conservadas en sobres de papel estraza hasta su siembra.

Establecimiento en campo y manejo del cultivo

La semilla híbrida resultante y la de los progenitores fue sembrada el 21 de febrero del 2013 y desarrollo hasta plántula de la misma forma antes descrita. El trasplante en campo de los progenitores e híbridos fue 35 días después de la siembra, en dos localidades. Las plántulas fueron establecidas en camas elevadas de 25 cm, con acolchado plástico de color negro, con riego por goteo, a una distancia de 1.80 metros entre camas, a doble hilera en forma de tresbolillo y 60 cm entre plantas, resultando un total de 18515 plantas.ha⁻¹, bajo un arreglo

experimental de bloques al azar con 3 repeticiones. Cada parcela experimental fue constituida por 12 plantas y como parcela útil 8 plantas con competencia completa, tomando las plantas del centro para reducir el efecto de orilla. El manejo del cultivo se realizó bajo los procedimientos estándar, con una fertilización de 180-120-240 kg.ha⁻¹. Para la prevención y control de plagas (mosca blanca, diabrótica y gusano del fruto) se realizaron aplicaciones quincenales de metamidofos 48%, cipermetrina 21%, lambda cyalotrina 5% y dimetoato 38 %, a razón de 1 mL.L⁻¹, después de cada cosecha una aplicación de cipermetrina 21% + lambda cyalotrina 5%.

Mediciones de rendimiento de fruto y sus componentes

El peso total de fruto (RTF, t.ha⁻¹), se estimó pesando todos los frutos de la parcela útil mediante una balanza digital de precisión SARTORIUS modelo TS 1352Q37 y posteriormente estimando el rendimiento por hectárea. Considerando la suma de cuatro cortes, el primero fue a los 63 días después del trasplante y los tres restantes con intervalos de 15 días. Después de pesar los frutos se contaba el número de frutos (NFP) que se cosecharon por parcela útil, considerando los cuatro cortes. El peso promedio de fruto (PPF), se calculo dividiendo el peso total de frutos por parcela útil entre número total de frutos por parcela, mientras que el diámetro ecuatorial y polar de fruto (DEF y DPF respectivamente) fue estimado tomando al azar cuatro frutos por parcela, utilizando para ello un vernier digital marca Autotec[®].

Mediciones de calidad de fruto

Para estimar el contenido de sólidos solubles totales (SST) se utilizó un refractómetro Atago N-1E[®] y expresada en (°Brix). La firmeza de fruto (FF) se determinó con un penetrometro Fruit Pressure Tester, modelo FT-327 of 13 kg, con una puntilla de 6 mm. El contenido de vitamina C en fruto, se determinó de acuerdo a la metodología oficial de la AOAC (2000), método de titulación con 2,6 Dicloroindofenol-reactivo de Tihelmann. Expresado en miligramos de vitamina C por 100 gramos de peso fresco de fruto (mg 100g⁻¹).

Análisis estadístico

El análisis genético-estadístico se realizó con el programa SAS versión 9.1, se empleó el Método I Modelo II de Griffing (1956 b), utilizando el algoritmo para SAS (DIALLEL-SAS05) propuesto por Zhang *et al.* (2005) que incluye los progenitores y las cruzas directas y recíprocas (Montesinos *et al.* 2007), y permite estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACE) y específica (ACE) como lo indica Martínez (1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza combinado

Los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las dos localidades presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en las variables RTF, PPF, NFP, DEF, DPF, FF, SST y VIT C (Cuadro 1), De la Cruz *et al.* (2007) indican que los efectos significativos encontrados en todas las características agronómicas, se puede deber a que las líneas pertenecen a poblaciones diferentes y a la suma de efectos aditivos de los genes de las líneas progenitoras. Mientras que las diferencias entre localidades se atribuyen a las diferencias edáficas y climáticas. Para la interacción de repeticiones por ambiente no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo en las cruzas se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en RTF, PPF, NFP, DEF, DPF, FF, SST no así en la variable VIT C.

Los valores de ACG fueron significativos ($P \leq 0.01$) en las variables RTF, PPF, DEF y DPF, en las cuales fueron más importantes los efectos aditivos que los efectos de ACE, coincidiendo con lo reportado por Sahagún *et al.* (1999) para PPF y precocidad (rendimiento en el primer corte) quienes reportan diferencias significativas tanto de ACG como de ACE en tres poblaciones de tomate de cascara, similarmente Peña *et al.* (1998) encontró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para ACG en RTF y FTP y para ACE en PPF. Por otro lado en éste trabajo los cuadrados medios de la ACE fueron significativos ($P \leq 0.01$) en las variables en RTF, PPF, NFP, DEF, DPF, FF, SST, sin embargo las variables NFP, FF y SST presentaron valores de mayor

magnitud a los de ACG, en estas predominaron los efectos de dominancia y epistáticos como lo señalan (Sprague y Tatum, 1942).

La varianza genética encontrada en ACG se atribuye a una variación debida a efectos aditivos para RTF, PPF, DEF, y DPF en los cruzamientos, y la varianza en ACE es debida a efectos de dominancia y/o epistáticos. Al respecto, Gutiérrez *et al.* (2002) en maíz reportan que a medida que la divergencia genética de los materiales se incrementa, también se incrementa la diferencia entre los valores de aptitud combinatoria, ya sea para ACG o para ACE, o bien para los dos tipos de acción génica, concordante a lo reportado por Sánchez *et al.* (2011) quienes en calabacita, atribuyen la varianza a la divergencia genética de los progenitores por su diversidad de origen, agregando que los efectos aditivos y no aditivos contribuyen de manera equilibrada al rendimiento de fruto.

La contribución a la varianza del rendimiento total de fruto RTF por hectárea atribuible a las cruzas, estuvo constituida por 51.44 % para los efectos aditivos (ACG), 32.28 % a acción génica no aditiva o de dominancia (ACE), 15.3 % efectos maternos (EM) y 9.95 % efectos recíprocos (ER), los resultados con respecto a los efectos de ACG y ACE, indican que los efectos aditivos son más importantes que los de dominancia para rendimiento. Similares efectos de acción génica se presentan en PPF (40.17 % de ACG y 33.13 % de ACE), DEF (46.43% de ACG y 37.76 % de ACE), DPF (48.47 % de ACG y 39.63 % de ACE), en estos casos resulto más importante los valores de ACG que los valores de ACE, similar a lo encontrado por Gomide *et al.* (2003) y contrario a lo reportado por Sánchez *et al.* (2011) en calabacita tipo Grey Zucchini. Por el contrario la contribución a la varianza para NFP, los efectos están dados en mayor medida por acción génica de dominancia o no aditiva, con 20.42 % de ACG, y 56.5 % de ACE, lo cual es indicativo que los efectos de dominancia son más importantes que los aditivos para dicho carácter, respuestas similares se presentaron en firmeza de fruto (5.01 % de ACG, 41.76 % de ACE), contenido de SST (10.55 % de ACG, 33.86 % de ACE), contenido de VIT C (31.88 % de ACG y 36.33 % de ACE).

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en los efectos recíprocos (ER) de RTF, PPF, DEF y DPF, esto indica que hay cruza, en las que los progenitores no se comportan de igual manera en la cruce directa que en la cruce recíproca, estas respuestas se pueden atribuir a un efecto diferencial en los efectos maternos de cada progenitor, lo cual se demuestra al encontrar diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en los efectos maternos (EM) de las variables antes citadas y la variable de SST, por su parte Sahagún *et al.* (1999) reportan EM significativos en precocidad (rendimiento en el primer corte), volumen de fruto y altura de planta y ER significativos en precocidad y longitud de rama, de tres poblaciones de tomate de cáscara, atribuyendo los primeros a herencia cromosómica citoplasmática, aunque Peña *et al.* (1998) reportan no significancia de EM y ER para RTF, NFP y PPF en ocho variedades de tomate de cáscara, por lo que atribuye la herencia de estos caracteres a influencia cromosómica nuclear, aunque Ruiz *et al.* (2004) encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en los ER, pero no en los efectos maternos, por lo tanto señalan que esta alteración no puede ser atribuible a los EM de cada línea o variedad utilizada como progenitor, sino a otros efectos que excluyen al efecto materno, dado que no encontraron diferencias significativas, por lo tanto indican que la magnitud de los caracteres evaluados está determinada por genes de cromosomas localizados en el núcleo, no existiendo contribución de los genes de cromosomas localizados en el citoplasma o si existen son iguales.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la interacción de Cruza x Loc. en RTF, PPF, DEF y DPF, esto indica que en éstas variables las cruza se comportaron fenotípicamente de forma diferente en los ambientes bajo estudio, se infiere que es consecuencia de la diversidad genética de los materiales bajo estudio y que son caracteres de herencia poligénica, a diferencia de los caracteres de herencia simple que son poco afectados por el ambiente.

La interacción de Loc x ACG, indica que los efectos genéticos aditivos observados en los materiales estudiados no fueron afectados por la localidad, sin embargo los efectos de ACE para RTF si fueron afectados significativamente por el ambiente ($P \leq 0.01$), los efectos de ACE para

NFP también fueron afectados significativamente ($P \leq 0.05$) por las localidades bajo estudio. En relación a las diferencias significativas ($P \leq 0.01$) encontradas entre cruzas para las variables RTF, PPF, NFP, DEF, DPF y FF se atribuyen a la divergencia genética que presentan los progenitores por su diversidad de origen, que indica además la existencia de variabilidad genética (Sahagún *et al.*, 1999).

A pesar de la significancia encontrada en algunas interacciones (Loc x ACE, Loc x EM y Loc x ER), su contribución a la varianza fenotípica observada para las diferentes características resultó pequeña en comparación con la contribución de los efectos de ACG y ACE.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para cuatro poblaciones y cruzas dialélicas de acuerdo al Método I Modelo II de Griffing, en tomate de cáscara establecido en Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

Fuente de Variación	G.L.	Cuadrados Medios							
		RTF	PPF	NFP	DEF	DPF	FF	SST	VIT C
Localidades	1	4301.81**	1463.43**	11528.16**	7.08**	2.24**	2.14**	3.63**	7.11**
Rep x Loc	4	14.80 ns	35.09 ns	108.44 ns	0.06 ns	0.04 ns	0.06 ns	0.24 ns	0.25 ns
Cruzas	15	275.33**	597.38**	370.07**	1.61 **	0.85**	0.87**	0.42**	0.25 ns
ACG	3	600.52**	876.38**	235.9 ns	2.68**	1.48**	0.17 ns	0.19 ns	0.29 ns
ACE	6	271.82**	722.89**	652.65 **	2.18**	1.21**	1.39 **	0.62 **	0.33 ns
ER	6	116.25**	332.37**	154.58 ns	0.50**	0.17**	0.70*	0.35 ns	0.16 ns
EM	3	178.65**	249.75**	111.97 ns	0.41**	0.19**	1.07*	0.66**	0.12 ns
Cruza x Loc	15	58.91**	83.23**	165.51 ns	0.19 **	0.08**	0.36 ns	0.25 ns	0.20 ns
Loc x ACG	3	12.52 ns	95.23 ns	247.22 ns	0.08 ns	0.08 ns	0.35 ns	0.12 ns	0.16 ns
Loc x ACE	6	69.04**	54.64 ns	219.43 *	0.16 ns	0.04 ns	0.52 ns	0.16 ns	0.24 ns
Loc x ER	6	71.96**	105.81*	70.73 ns	0.29**	0.14**	0.20 ns	0.41*	0.13 ns
Loc x EM	3	104.15**	168.1**	88.93 ns	0.44 **	0.19**	0.31 ns	0.69**	0.14 ns
Error C.	60	21.93	35.09	97.25	0.07	0.03	0.30	0.16	0.15
CV %		21.43	16.07	28.95	5.57	4.78	10.82	6.65	9.61

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente; ns= no significativo; G.L.= Grados de libertad; EM= Efectos maternos; ER= Efectos recíprocos; Loc= localidades; Rep= repeticiones; Error C.= Error combinado; C.V.= Coeficiente de variación.

Estimación de la aptitud combinatoria general (ACG)

Los efectos promedio de ACG de las poblaciones utilizados como progenitores a través de ambientes, se presentan en el Cuadro 2. UAN-SE3 y UAN CPP-S2 presentaron efectos positivos de ACG para la mayoría de los caracteres evaluados, con una excepción de UAN-SE3 que en SST presentó un efecto negativo, destacando los de RTF con 3.604 y 2.113 respectivamente, dichos resultados indican que estos progenitores tienen potencial para aumentar el número de frutos, mas grandes y pesados de acuerdo al valor estimado en ACG para PPF, DEF y DPF, además, de que en los frutos de éstas poblaciones podría ser posible aumentar la firmeza mediante procesos de selección y en UAN CPP-S2 se podría incrementar el contenido de vitamina C, lo que demuestra el alto potencial genético de éstos dos progenitores. La variedad Rendidora presentó efectos positivos de ACG para firmeza de fruto y SST con 0.031 y 0.073 respectivamente, características que podrían ser explotables en un programa de mejoramiento genético por selección, para mejorar dichos caracteres, sin embargo, el resto de las variables evaluadas presentaron efectos negativos, únicamente UAN CC-S2 presentó efectos positivos en NFP con 1.097, pero negativos en el resto de las variables estudiadas, lo anterior indica que Rendidora y UAN CC-S2 son progenitores de baja ACG. Dado que las poblaciones UAN-SE3 y UAN CPP-S2 presentaron altos valores de ACG, pueden ser de utilidad para el aprovechamiento de los efectos aditivos. Al respecto Sahagún *et al.* (1999) reportan mayores efectos positivos de ACG para la variedad Salamanca que en Rendidora y Milpero de Guerrero respecta a peso promedio de fruto, precocidad, volumen de fruto y altura de planta, por lo que sugieren la existencia de variabilidad genética explotable mediante procesos de selección. También se ha reportado alta ACG o efectos aditivos para RTF y NFP en las variedades Verde Puebla, CHF1-Chapingo y Manzano, por lo que se recomienda que las variedades indicadas son adecuadas para usarse en un programa de mejoramiento genético, ya sea por hibridación o selección recurrente (Peña *et al.*, 1998). Resultados similares se han reportado en tomate saladette (López *et al.*, 2012), en maíz (Wong *et al.*, 2006; Reyes *et al.*, 2004), afirmando que

una cruce será de alto rendimiento si sus dos progenitores son de alta ACG, o bien si uno de los progenitores muestra alta ACG y su cruce presenta alta ACE, por el contrario si los progenitores presentan efecto bajo de ACG el rendimiento de la cruce será bajo.

Cuadro 2. Efectos de ACG y comportamiento genético de progenitores a través de sus cruces en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

Progenitores	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (g)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (Kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
UAN CC-S2	-1.492	-2.349	1.097	-0.143	-0.133	-0.088	-0.034	-0.052
UAN CPP-S2	2.113	1.994	0.0084	0.210	0.148	0.025	0.029	0.088
UAN-SE3	3.604	4.932	1.989	0.190	0.155	0.031	-0.068	0.039
Rendidora	-4.224	-4.577	-3.095	-0.257	-0.170	0.031	0.073	-0.076

Estimación de la ACE en cruces directas y recíprocas

En el Cuadro 3 se presentan los efectos de ACE para cruces, señalando que en tanto mayor sea el efecto de ACE mostrado por las cruces directas que por las cruces recíprocas, estos podrán ser utilizados favorablemente como progenitor femenino y mientras mayor sea el efecto de ACE para las cruces recíprocas que en las cruces directas, estos podrán ser utilizados favorablemente como progenitor macho, para un carácter o conjunto de caracteres en particular (Sánchez *et al.*, 2011).

El cuadro 3 muestra que en rendimiento total de fruto, la cruce UAN CPP-S2 x UAN-SE3 presentó un valor de ACE de 5.457, mientras que la cruce recíproca presentó un valor de ACE de 3.501 de ACE, lo que indica que UAN CPP-S2 es mejor utilizándolo como progenitor femenino que como macho de la cruce en señalada, en el número de frutos por planta se observó un comportamiento similar para ésta cruce, sin embargo en la variable PPF se encontró un comportamiento opuesto. Las cruces UAN-SE3 x Rendidora y UAN CPP-S2 x Rendidora, presentaron un valor negativo de ACE para rendimiento de fruto, en su cruce directa (-5.102 y -

0.851 respectivamente), mientras que en su cruce recíproca las mismas cruces presentaron valores positivos (4.549 y 2.386 respectivamente) en las variables PPF y NFP se observó un comportamiento similar, por lo tanto la variedad Rendidora siempre será recomendable utilizarla como macho en sus cruces con los progenitores indicados. Las cruces UAN CC-S2 x UAN CPP-S2 y UAN CC-S2 x Rendidora, presentaron para RTF valores de ACE positivos en su cruce directa (0.189 y 6.925 respectivamente) similar a las variables PPF y NFP, mientras que la primera cruce presentó en forma recíproca un valor negativo (-2.166) y la segunda cruce presentó un valor positivo pero más bajo que en la cruce directa (3.1913) el mismo comportamiento fue observado en las variables PPF y NFP, lo que sugiere que el progenitor UAN CC-S2 siempre sea utilizado como progenitor femenino. Por otro lado la cruce UAN CC-S2 x UAN-SE3 muestra valores de ACE negativos en su cruce directa (-1.1548) y un valor positivo en su cruce recíproca (2.146) lo que demuestra la posibilidad de utilizar UAN-SE3 como progenitor macho, lo anterior queda corroborado con los efectos maternos presentados en el Cuadro 4. En progenies de poblaciones de Chile dulce se encontraron efectos significativos ($P \leq 0.01$) de ACE, indicando la presencia de acción genética no aditiva en los caracteres de rendimiento total de fruto, número de frutos por planta y días a inicio de cosecha (Pech *et al.*, 2010). En los casos de altos valores de ACE en alguna variable, indica que el mejor esquema para aprovechar dicha variable será la hibridación, para aprovechar más eficientemente la varianza genética debida a efectos de dominancia o epistáticos. Los efectos de ACE mostrados por las cruces directas como recíprocas y los EM de los progenitores, determinan la mejor forma de utilizar el genotipo ya sea como progenitor femenino o como progenitor macho, al tiempo que permiten identificar las cruces con rendimiento y calidad de fruto, superiores. Al respecto Peña *et al.* (1998) afirman que si el efecto de ACE en las cruces es positivo y de alto valor, sus respectivos progenitores representan una opción para derivar familias, poblaciones o líneas en su caso, para un programa de mejoramiento genético, considerando siempre la dirección del

programa de mejoramiento genético, que es el que determina a final de cuenta las características favorables a utilizar de cada progenitor.

Cuadro 3. Efectos estimados de ACE y comportamiento genético de cruzas directas y recíprocas en promedio de las localidades, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

CRUZAS	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (g)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (Kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
Cruzas Directas								
(i * j)								
1*2	0.189	0.564	-3.310	0.094	0.018	-0.193	0.169	-0.016
1*3	-1.155	9.273	-11.480	0.455	0.290	0.210	-0.127	0.107
1*4	6.925	6.306	4.770	0.389	0.335	0.137	-0.069	-0.144
2*3	5.457	3.190	8.086	0.153	0.148	0.374	-0.136	0.186
2*4	-0.851	-0.955	1.416	0.0075	0.039	0.375	0.280	0.060
3*4	-5.102	-8.798	-0.968	-0.468	-0.396	-0.266	0.180	-0.162
Cruzas Recíprocas								
2*1	-2.166	3.199	-4.060	0.092	0.123	0.292	-0.240	-0.220
3*1	2.146	-1.582	3.793	-0.195	-0.025	-0.107	-0.012	0.147
3*2	3.501	10.089	-4.029	0.238	0.159	0.046	0.276	0.073
4*1	3.191	2.790	4.036	0.114	0.093	0.444	-0.150	0.073
4*2	2.386	2.676	3.269	0.044	0.138	0.153	0.0029	-0.022
4*3	4.549	6.060	1.792	0.364	0.126	0.180	-0.132	0.000

(1) UAN CC-S2, (2) UAN CPP-S2, (3) UAN-SE3, (4) Rendidora; i = progenitor hembra; j = progenitor macho.

Efectos maternos (EM) de los progenitores

Los EM positivos de una craza en particular, muestran que tales progenitores tienen mayor potencial en sus cruzas cuando son usados como progenitor femenino, que en sus respectivas cruzas recíprocas, por el contrario si los EM son negativos estos indican que tales progenitores tienen mayor potencial en sus cruzas cuando son usados como progenitor macho (Cuadro 4). En rendimiento total de fruto el progenitor UAN CPP-S2 y UAN CC-S2 presentaron valores

positivos de 2.013 y 0.793 respectivamente, por lo tanto tales progenitores tienen mayor potencial de rendimiento en sus cruzas cuando son usados como progenitor femenino, que en sus respectivas cruzas recíprocas, resaltando además los efectos maternos positivos de PPF con 2.391 y 1.10 y de NFP con 0.824 y 0.942. Rendidora mostró EM negativos en la mayoría de las variables excepto para SST, lo que demuestra que este progenitor funciona mejor como progenitor macho, efectos similares se observaron en UAN-SE3 para RTF, PPF, DPF, SST y VIT C, demostrando con esto que es mejor utilizarlo como progenitor macho, lo cual se muestra en el cuadro 5 y con lo reportado por Sánchez *et al.* (2011).

Cuadro 4. Efectos maternos de progenitores en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

Progenitores	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (g)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (Kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
UAN CC-S2	0.793	1.102	0.942	0.0028	0.048	0.157	-0.100	0.000
UAN CPP-S2	2.013	2.391	0.825	0.048	0.043	-0.023	0.130	0.068
UAN-SE3	-0.274	-0.612	0.507	0.080	-0.002	0.060	-0.099	-0.055
Rendidora	-2.532	-2.882	-2.274	-0.131	-0.089	-0.194	0.070	-0.013

Análisis de cruzas para rendimiento, en base a su ACG y ACE

De acuerdo con los criterios de decisión de Sánchez *et al.* (2011), quienes indican que si $ACG < ACE$ y la craza es de alto rendimiento, esta podría utilizarse como híbrido únicamente, ya que se espera que presente depresión endogámica en generaciones avanzadas, situación en la que se encuentra UAN CC-S2 x Rendidora con -5.718 de $ACG < 6.925$ de ACE y con rendimiento de 26.25 t.ha⁻¹, y su respectivo recíproco con -5.718 de $ACG < 3.191$ de ACE y rendimiento de 19.87 t.ha⁻¹ ambos superiores a sus progenitores (Cuadro 5). Mientras que si $ACG = ACE$ y la craza es de alto rendimiento, los efectos aditivos y de dominancia son de igual importancia, se espera que la depresión endogámica sea reducida, por lo que es susceptible de ser utilizado como

población base para selección recurrente, como es el caso de la cruza UAN CPP-S2 x UAN-SE3 con 5.7175 de ACG ≈ 5.4567 de ACE y cuyo rendimiento fue el mayor con 36.52 t.ha^{-1} aunque estadísticamente igual a su mejor progenitor, es importante señalar que su respectivo recíproco con ACG de $5.7175 > 3.501$ de ACE, aunque de menor rendimiento 29.52 t.ha^{-1} fue estadísticamente igual a su mejor progenitor. Otro caso es cuando la $ACG > ACE$ y la cruza es de alto rendimiento, estas pueden ser utilizables directamente como variedad de polinización libre, dado que se espera que no presenten depresión endogámica significativa en generaciones avanzadas, bajo ésta situación se encuentra la cruza UAN CPP-S2 x UAN CC-S2 con 0.6202 de ACG > -2.1658 de ACE y rendimiento de 24.82 t.ha^{-1} superior a su mejor progenitor. Al respecto Serrano y Mendoza (1990) y Peña *et al.* (1998) señalan que los mejores progenitores para formar una población base para mejoramiento por selección, serán aquellos con los mayores efectos de ACG. Por su parte Moreno *et al.* (2002) afirman que la alta variabilidad genética aditiva, sugiere la posibilidad de obtener ganancias genéticas importantes mediante selección, lo que permite derivar rápidamente nuevas variedades de tomate de cáscara.

Los análisis de rendimientos de fruto indican que la mejor cruza fue UAN CPP-S2 x UAN-SE3, superando a su mejor progenitor en 22.3% , de igual forma superó significativamente (Tukey, $P \leq 0.05$) en PPF a su mejor progenitor en 32.55% . La cruza UAN CC-S2 x Rendidora y su respectivo recíproco superaron en rendimiento a la media de su mejor progenitor en 103.48% y 54.03% respectivamente, aunque en PPF, DEF y DPF se observó efecto similar en la cruza directa pero diferente en la cruza recíproca.

Cuadro 5. Estructura genética y análisis de cruzas para rendimiento, en base a su ACG y ACE en promedio por localidades.

Progenitores		RTF (t.ha ⁻¹)	
UAN CC-S2		12.9	
UAN CPP-S2		21.28	
UAN-SE3		29.86	
Rendidora		12.43	
Cruzas Directas	ACG (gi+gj)	ACE (S ij)	
UAN CC-S2 x UAN CPP-S2	0.620	0.189	20.49
UAN CC-S2 x UAN-SE3	2.111	-1.155	24.95
UAN CC-S2 x Rendidora	-5.718	6.925	26.25
UAN CPP-S2 x UAN-SE3	5.718	5.457	36.52
UAN CPP-S2 x Rendidora	-2.111	-0.851	21.27
UAN-SE3 x Rendidora	-0.620	-5.102	20.68
Cruzas Recíprocas			
UAN CPP-S2 x UAN CC-S2	0.620	-2.166	24.82
UAN-SE3 x UAN CC-S2	2.111	2.146	20.66
UAN-SE3 x UAN CPP-S2	5.718	3.501	29.52
Rendidora x UAN CC-S2	-5.718	3.191	19.87
Rendidora x UAN CPP-S2	-2.111	2.386	16.5
Rendidora x UAN-SE3	-0.620	4.549	11.58

gi= ACG de progenitor i, gj = aptitud combinatoria general de progenitor j.

CONCLUSIONES

El Análisis de varianza combinado permitió identificar diferencias significativas en Cruzas, ACG, ACE, EM y ER, en rendimiento y componentes del rendimiento así como en parámetros de calidad de fruto. Así mismo en las poblaciones de tomate de cáscara UAN CPP-S2 y UAN-SE3 se encontraron valores positivos y altos de ACG en RTF, PPF, NFP, DEF y DPF, mientras que las poblaciones UAN CC-S2 y rendidora presentaron valores negativos de ACG para

rendimiento y componentes del rendimiento, excepto para NFP. Por lo tanto los progenitores UAN CPP-S2 y UAN-SE3 con altos valores de ACG podrían utilizarse en esquemas de mejoramiento genético por selección.

Los híbridos UAN CC-S2 x Rendidora y UAN CPP-S2 x UAN-SE3, presentaron valores positivos y altos de ACE para rendimiento y componentes del rendimiento en su cruce directa, mientras que en su cruce recíproca también fueron positivos pero de menor magnitud excepto en la cruce UAN-SE3 x UAN CPP-S2 donde se presentó en PPF una ACE de 10.089 y un valor de ACE negativo de -4.029 en NFP, lo que se sugiere utilizar a los progenitores UAN CC-S2 y UAN CPP-S2 como hembras. Los tres híbridos más destacados presentaron las siguientes situaciones, en el UAN CC-S2 x Rendidora tuvo un rendimiento de 26.25 t.ha⁻¹ y la ACG (-5.718) < ACE (6.925) por lo tanto su uso es recomendable solo como híbrido, mientras que el híbrido UAN CPP-S2 x UAN-SE3 tuvo un rendimiento de 36.52 t.ha⁻¹ con una ACG (5.718) ≈ ACE (5.457) por lo tanto podría servir como población base para mejoramiento por selección, ya que tanto lo ACG como la ACE fueron valores positivos y altos. El segundo híbrido con mayor rendimiento fue el UAN-SE3 x UAN CPP-S2 que manifestó un rendimiento de 29.52 t.ha⁻¹ y una ACG (5.718) > ACE (3.501) por lo tanto se podría utilizar como variedad de polinización libre. El híbrido de UAN CPP-S2 x UAN-SE3 destacó en todas las variables estudiadas, por lo tanto es el que más se recomienda para programas de mejoramiento genético de tomate de cáscara.

LITERATURA CITADA

AOAC, 2000. Official methods of analysis, 17thed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD. 1058-1059 pp.

Carta de Climas, No.14R-VII. 1970. Sistema de clasificación climática de Koppen modificado por García 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la república

- Mexicana. UNAM, Instituto de Geografía. Impreso en México en los Talleres Gráficos de la Nación, Enero 1970.
- Burrow, M. D. and Croos G. 1994. DIALLEL: a microcomputer program for the simulation and analysis of diallel crosses. *Agron. J.* 86: 154-158.
- Gomide, M. L.; Maluf, W. R. Gomes, L. A. A. 2003. Heterose e capacidade combinatória de linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.). *Cienc. Agrotec. Lavras.* 27:1007-1015.
- Griffing V. 1956-a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10: 31-50.
- Griffing, V. 1956-b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Austr. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Gutiérrez, del R. E.; Palomo, G. J.; Espinoza, B. A. y De la Cruz, E. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 (3): 271-277.
- Hallauer, A. R. y Miranda, B. 1981. *Quantitative genetic in maize breeding.* Iowa State University Press. Ames, Iowa. 268-368 pp.
- Hoegenmeyer, T.C., Hallauer, A. R. 1976. Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Science.* 16(1):76-80.
- López, B. A.; Borrego, E. F.; Zamora, V. V. M. y Guerra, L. 2012. Estimación de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Agraria.* 9(3): 87-95.
- López, L. R.; Arteaga, R. R.; Vázquez, P. M. A.; López, C. I. L. y Sánchez, C. 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Rev. Chapingo, Ser. Hort.* 15(1): 83-89.
- Márquez, S. F. 1988. *Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría, Resultados.* Tomo II. AGT Editor. México. 665 p.

- Martínez, G. A. 1983. Diseño y análisis de los experimentos de cruzas dialélicas. Centro de Estadística y Cálculo, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 249 p.
- Montesinos, L. O. A.; Mastache, L. A. A.; Luna, E. I. and Hidalgo, C. J. V. 2007. Best linear unbiased predictor for general combining ability and combined analysis of Griffing's designs one and three Tec. Pecu. Méx. 45(2): 131-146.
- Moreno, M. M.; Peña, L. A.; Sahagún, C. J.; Rodríguez P. J. E y Mora, A. R. 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Rev. Fitotec. Mex. 25(3): 231-237.
- Pandey, K. K. 1957. Genetics of self-incompatibility in (*Physalis ixocarpa* Brot.) a new system. Amer. J. of Bot. 44: 879- 887.
- Pech M. A. M.; Castañón N. G.; José M. T. S.; Mendoza E. M.; Mijangos C. J. O.; Pérez G. A.; Latournerie M. L. 2010. Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). Rev. Fitotec. Mex. 33(4): 353-360.
- Peña, L. A. y Santiaguillo, J. F. 1999. Variabilidad genética de tomate de cáscara en México. Inf. Rep. 2. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Peña, L. A.; Molina, G. J. D.; Cervantes, S. T.; Márquez, S. F.; Sahagún C. J. y Ortiz, C. J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 4(1): 31-37.
- Peña, L. A., Santiaguillo, H. J. F.; Montalvo, H. D. y Pérez, G. M. 1997. Intervalos de cosecha en la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 3(1): 31-38.
- Peña, L. A. y Márquez, S. F. 1990. Mejoramiento genético en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 71/72: 84-88.

- Reyes, L. D. J.; Molina G. J. D.; Oropeza, R. M. A. y Moreno, P. E. del C. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. Rev. Fitotec. Mex. 27(1): 49 – 56.
- Ruiz, E.; Sigarroa, A. y Cruz J. A. 2004. Analisis dialelico del rendimiento y sus principales componentes en variedades de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) I. tabla dialélica de Griffing. Biol. 18(1): 64-73.
- Sahagún, C. J.; Gómez, R. F. y Peña, L. A. 1999. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 5(1): 23-27.
- Sánchez, H. C.; Villanueva, V. C.; Sahagún, C. J.; Martínez, S. J.; Legaria, S. J. P. y Sánchez, M. A. 2011. Efectos de aptitud combinatoria en híbridos de calabacita tipo grey zucchini. Rev. Chapingo Ser. Hort. 17(2): 89-103.
- Santiaguillo, H. J. F.; Cervantes, S. T. y Peña, L. A. 2004. Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruzas planta x planta entre variedades de tomate de cáscara. Rev. Fitotec. Mex. 27(1): 85-91.
- Serrano, C. L. y Mendoza, O. L. 1990. Formación de híbridos de sorgo para grano III. Proposición de un modelo de selección de progenitores con base en sus parámetros genéticos. Rev. Fitotec. Mex. 13(1): 44-55.
- SIAP 2012 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350.
- Sprague, G. F.; Tatum, L. A. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 923-932.
- Wong, R. R.; Gutiérrez, del R. E.; Rodríguez, H. S. A.; Palomo, G. A.; Córdova O. H. y Espinoza B. A. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. Universidad y Ciencia. 22 (2):141-151.

Zhang, Y. and Kang M. S. 1997. Diallel-SAS+: A SAS program for Griffings diallel analyses
Agron. J. 89-176-182.

Zhang, Y.; Kang, M. S. y Lamkey, R. 2005. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for
Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. Agron. J. 97: 1097-1106.

IV. RESULTADOS DE HETEROSIS Y HETEROBELTIOSIS

En el cuadro 4.1 se muestran las pruebas de medias (Tukey $P \leq 0.05$) en promedio por ambientes, así como también los valores de heterosis (Cuadro 4.2) y heterobeltiosis (Cuadro 4.3) para rendimiento, componentes de rendimiento y calidad de fruto en promedio de ambientes, para RTF se encontraron valores de heterosis de hasta 107.26 %, y heterobeltiosis de 103.49 %, correspondiente a la cruce 1*4, sin embargo la cruce más rendidora (2*3) mostró heterosis de 42.82 % y heterobeltiosis de 22.30 %, de igual forma esta cruce presentó valores de heterosis y heterobeltiosis positivos en las variables PPF, DPF, DEF, SST y VIT C, resultados similares fueron reportados por Santiaguillo *et al.* (2004) con incrementos en rendimiento de hasta 40.6 % respecto a su mejor progenitor en la variedad Verde Puebla y CHF1 Chapingo, mientras que Sahagún *et al.*, (1999) reportaron incrementos de 138.7 % en rendimiento en el primer corte en la variedad Salamanca y Rendidora, por su parte Peña *et al.*, (1998) reportan 14.3 % de incremento en rendimiento respecto al mejor progenitor en CHF1 Chapingo y Verde Puebla. En PPF la cruce 3*1 mostro el más alto valor heterotico con 70.33 % y heterobeltiosis de 16.82 %, sin embargo la mayor heterobeltiosis para dicho carácter lo presentó la cruce 2*3 con 32.55% y cuya heterosis es de 40.74 %, que difiere con lo encontrado por Santiaguillo *et al.*, (2004) quienes reportan heterosis negativa para este carácter con -5.2 % en CHF1 Chapingo x Verde Puebla, lo cual es similar a lo reportado por Peña *et al.*, (1998) con heterosis media de -5.73 %.

Para NFP la mayor heterosis fue de 41.13 % y heterobeltiosis de 27.87 % correspondiente a la craza 2*4, seguido de 3*2 con 37.07 % y 13.61 % respectivamente, valores superiores a los reportados por Peña *et al.*, (1998) quienes reportan una heterosis media de 10.42 % para cruzas en este carácter. La heterosis observada es consecuencia de efectos genéticos de aptitud combinatoria general y menor grado de dominancia en la expresión de estos caracteres (Moreno *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 1998), además de la divergencia genética existente (Falconer, 1986; Moll *et al.*, 1965), sin embargo (Santiaguillo *et al.*, 2004; Sahagun *et al.*, 1999) difieren de los anteriores atribuyendo heterosis de rendimiento a acción génica no aditiva. Martínez *et al.*, (1989) y Mendoza *et al.*, (2010) en jitomate también atribuyen la presencia de heterosis en rendimiento a efectos de aptitud combinatoria general o acción génica aditiva.

En cuanto a DEF la craza 3*1 mostro la mayor heterosis con 27.01 % y heterobeltiosis de 8.91 %, aunque la mayor heterobeltiosis lo presento 1*4 con 12.05 % seguido de 2*3 con 10.66 %, para DPF la mayor heterosis y heterobeltiosis con 22.51 % y 12.36 % lo presento la craza 1*4, lo que difiere de lo encontrado por Santiaguillo *et al.*, (2004) quienes reportan heterosis negativa de -1.7 y -0.7 % respectivamente para dichos caracteres en CHF1Chapingo x Verde Puebla. En cuanto a firmeza de fruto la mayor heterosis fue de 19.7 % correspondiente a la craza 2*4 y heterobeltiosis de 15.78 %, seguido de 2*3 con 18.46 % y 15.38 % respectivamente. Para SST la mayor heterosis encontrada fue de 11.17 % correspondiente a la craza 2*4 y heterobeltiosis de 11.07 %, no coincidiendo con lo reportado por Santiaguillo *et al.*, (2004) quienes reportan heterosis negativa de -3.6 % para este carácter en la craza CHF1Chapingo x Verde Puebla. En cuanto al contenido de vitamina C la mejor la mayor heterosis encontrada fue

de 11.11 % perteneciente a la cruce 2*3 y heterobeltiosis de 11.11 %, lo que indica que realizando hibridación interpoblacional también se incrementa la calidad de fruto.

Los fenómenos de heterosis y heterobeltiosis se presentaron en la mayoría de las cruces evaluadas y en la mayoría de los caracteres evaluados, sin embargo en algunos caracteres también se presentaron en sentido negativo (Cuadro 4.1 y 4.2), heterosis y heterobeltiosis entre cruces varía ampliamente debido a la variabilidad y divergencia genética entre progenitores y a diferencias de aptitud combinatoria (Santiaguillo *et al.*, 2004).

Cuadro 4.1. Prueba de medias Tukey ($P \leq 0.05$) de progenitores y sus respectivas cruzas directas y recíprocas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (g)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (Kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
Progenitores								
1) UAN CC-S2	12.9 ef &	16 g	46.27 ab	3.69 f	2.97 h	4.74 ab	5.9 ab	3.96 a
2) UAN CPP-S2	21.28 bcde	38.03 cde	27.88 abcd	5.09 bc	3.94 bcde	4.56 ab	5.68 ab	3.96 a
3) UAN-SE3	29.86 ab	43.04 bcd	42.39 abc	5.16 abc	4.15 abc	4.81 ab	5.88 ab	3.96 a
4) Rendidora	12.43 ef	31.13 def	22.64 cd	4.48 de	3.56 fg	4.88 ab	5.69 ab	4.1 a
Cruzas Directas (i * j)								
1*2	20.49 bcdef	40.25 bcde	27.79 bcd	5.17 abc	4.03 bcd	5.1 ab	5.86 ab	3.81 a
1*3	24.95 bcd	47.11 abc	29.45 abcd	5.23 abc	4.17 abc	5.11 ab	5.7 ab	4.25 a
1*4	26.25 bc	39.01 bcde	40.86 abcd	5.02 cd	4 bcd	5.59 ab	5.76 ab	3.81 a
2*3	36.52 a	57.05 a	40.11 abcd	5.71 a	4.49 a	5.55 ab	6.04 ab	4.4 a
2*4	21.27 bcde	35.98 cde	35.65 abcd	4.92 cd	4.03 bcd	5.65 a	6.32 a	4.06 a
3*4	20.68 bcdef	34.46 def	33.77 abcd	4.75 cd	3.59 efg	5.04 ab	5.99 ab	3.81 a
Cruzas Recíprocas								
2*1	24.82 bcd	33.85 def	35.91 abcd	4.99 cd	3.79 cdef	4.52 b	6.34 a	4.25 a
3*1	20.66 bcdef	50.28 ab	21.86 d	5.62 ab	4.21 ab	5.33 ab	5.72 ab	3.96 a
3*2	29.52 ab	36.87 cde	48.16 a	5.23 abc	4.17 abc	5.45 ab	5.49 b	4.25 a
4*1	19.87 cdef	33.43 def	32.71 abcd	4.79 cd	3.81 cdef	4.7 ab	6.06 ab	3.66 a
4*2	16.5 def	30.63 ef	29.11 abcd	4.84 cd	3.76 def	5.35 ab	6.32 a	4.1 a
4*3	11.58 f	22.34 fg	30.19 abcd	4.02 ef	3.34 gh	4.69 ab	6.25 ab	3.81 a

&= medias de la misma letra en columnas son estadísticamente iguales Tukey ($P \leq 0.05$) RTF = rendimiento total de fruto, PPF= peso promedio de fruto,

NFP= número de frutos por planta, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, DPF= Diámetro polar de fruto, FF= firmeza de fruto, SST= sólidos solubles

totales, VIT C= vitamina C, i = progenitor hembra, j = progenitor macho.

Cuadro 4.2. Valores de heterosis (%), presentada por las cruzas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (gr)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
Cruzas directas (i * j)								
1*2	19.89	48.99	-25.04	17.77	16.64	9.68	1.21	-3.79
1*3	16.70	59.59	-33.57	18.19	17.13	7.02	-3.23	7.32
1*4	107.26	65.54	18.59	22.89	22.51	16.22	-0.60	-5.46
2*3	42.82	40.74	14.16	11.41	11.00	18.46	4.50	11.11
2*4	26.19	4.05	41.13	2.82	7.47	19.70	11.17	0.74
3*4	-2.20	-7.08	3.86	-1.45	-6.87	4.02	3.54	-5.46
Cruzas recíprocas								
2*1	45.23	25.30	-3.14	13.67	9.70	-2.80	9.50	7.32
3*1	-3.37	70.33	-50.69	27.01	18.26	11.62	-2.89	0.00
3*2	15.45	-9.04	37.07	2.05	3.09	16.33	-5.02	7.32
4*1	56.89	41.86	-5.06	17.26	16.69	-2.29	4.57	-9.18
4*2	-2.11	-11.42	15.24	1.15	0.27	13.35	11.17	1.74
4*3	-45.24	-39.76	-7.15	-16.60	-13.36	-3.20	8.04	-5.46

(1) UAN CC-S2, (2) UAN CPP-S2, (3) UAN-SE3, (4) Rendidora; RTF= rendimiento total de fruto, PPF= peso promedio de fruto, NFP= número de frutos por planta, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, DPF= Diámetro polar de fruto, FF= firmeza de fruto, SST= sólidos solubles totales, VIT C= vitamina C, i= progenitor hembra, j= progenitor macho.

Cuadro 4.3. Valores de heterobeltiosis (%), presentada por las cruzas en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (gr)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
Cruzas directas (i * j)								
1*2	-3.71	5.84	-39.94	1.57	2.28	7.59	-0.68	-3.79
1*3	-16.44	9.46	-36.35	1.36	0.48	6.24	-3.39	7.32
1*4	103.49	25.31	-11.69	12.05	12.36	14.55	-2.37	-7.07
2*3	22.30	32.55	-5.38	10.66	8.19	15.38	2.72	11.11
2*4	-0.05	-5.39	27.87	-3.34	2.28	15.78	11.07	-0.98
3*4	-30.74	-19.93	-20.33	-7.95	-13.49	3.28	1.87	-7.07
Cruzas recíprocas								
2*1	16.64	-10.99	-22.39	-1.96	-3.81	-4.64	7.46	7.32
3*1	-30.81	16.82	-52.76	8.91	1.45	10.81	-3.05	0.00
3*2	-1.14	-14.34	13.61	1.36	0.48	13.31	-6.63	7.32
4*1	54.03	7.39	-29.31	6.92	7.02	-3.69	2.71	-10.73
4*2	-22.46	-19.46	4.41	-4.91	-4.57	9.63	11.07	0.00
4*3	-61.22	-48.09	-28.78	-22.09	-19.52	-3.89	6.29	-7.07

(1) UAN CC-S2, (2) UAN CPP-S2, (3) UAN-SE3, (4) Rendidora; RTF= rendimiento total de fruto, PPF=

peso promedio de fruto, NFP= número de frutos por planta, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, DPF=

Diámetro polar de fruto, FF= firmeza de fruto, SST= sólidos solubles totales, VIT C= vitamina C, i=

progenitor hembra, j= progenitor macho.

Aunque el total de cruzas resultantes en la investigación y progenitores no se analizaron con dialélico I modelo II de Griffing, si se incluyen los valores medios en promedio de ambientes (Cuadro 4.4), y sus respectivos valores de heterosis (Cuadro 4.5) y heterobeltiosis (Cuadro 4.6), para cada una de las variables evaluadas. Para RTF la mayor heterosis se observó en la craza 7*4 con 78.19% y heterobeltiosis de 72.62%, con rendimiento de 22.89 t.ha⁻¹, seguido de 5*1 con heterosis de 71.98% y heterobeltiosis de 62.67% con rendimiento de 20.99 t.ha⁻¹ y 7*5 con rendimiento de 20.28 t.ha⁻¹ de heterosis y heterobeltiosis de 63.90 % y 53 % respectivamente, dichas cruzas superaron el rendimiento medio nacional en 42 %, y a la variedad Rendidora cultivada ampliamente en el territorio nacional en 62 %, lo que demuestra que en los progenitores UAN CJ-S2 y UAN 133-05 existe características genéticas que podrían ser de utilidad en programas de mejoramiento genético, debido a los altos valores de heterosis que presentan.

En cuanto a PPF se presentaron valores de heterosis de 100.71 % y heterobeltiosis de 87.01% correspondiente a la craza 1*5, seguido de la craza 6*1 con 87.04% de heterosis y 60.85% de heterobeltiosis y 5*1 con 66.68% y 55.37% respectivamente. En cuanto a NFP la mayor heterosis se observó en la craza 7*4 con 84.60 % y heterobeltiosis de 55.5 %, seguido de la craza 7*5 con 67.61% y 47.42% respectivamente.

Las cruzas 1*5, 6*1 y 5*1 mostraron los más altos valores de heterosis con 30.30, 30.05 y 26.78 % para DEF respectivamente y de 23.71, 23.85 y 22.61 % para DPF respectivamente, con heterobeltiosis de 27.12, 23.09 y 23.68 % para DEF mientras que para DPF de 21.13, 17.56 y 20.05 % respectivamente.

Para FF se presentaron valores altos de heterosis de hasta 15.33% y heterobeltiosis de 12.18% correspondiente a la craza 3*7, seguido de la craza 6*1 con heterosis de 14.58 % y heterobeltiosis de 11.16%. En cuanto calidad de fruto representado por el contenido de SST la mayor heterosis se observo en la craza 6*4 con 14.10 % y heterobeltiosis de 11.79%, seguido de la craza 3*7 con 8.84% de heterosis y 8.71% de heterobeltiosis, mientras que para el contenido de vitamina C en fruto también se encontraron incrementos, resaltando la craza 3*7 con heterosis de hasta 10.7 % y heterobeltiosis de 6.89%, seguido de la craza 6*4 con 8.77% de heterosis y 6.89 de heterobeltiosis. Los altos valores de heterosis y heterobeltiosis mostrado por las cruza se atribuyen a la diversidad genética que presentan los progenitores por su diversidad de origen geográfico, por lo que se asume la maximización y ganancia genética media de las cruza (F1s).

Puede observarse que las cruza que destacan en cuanto a heterosis y heterobeltiosis y para la mayoría de las variables evaluadas, aparecen los progenitores UAN CJ-S2, UAN 133-05 y *Physalis angulata*, lo que indica que en estas poblaciones puede haber componentes genéticos que deberían incluirse en los programas de mejoramiento genético, por lo tanto se sugiere hacer un estudio minucioso de estos, principalmente para la determinación ACG y ACE a fin de cerciorarse de la carga y los efectos genéticos que contiene cada población y determinar con ello el mejor método de mejoramiento a utilizar, a fin de producir genotipos con potencial de rendimiento superiores y calidad de fruto y que superen a las variedades que se cultivan actualmente.

Cuadro 4.4. Valores medios de progenitores y cruzas no analizadas con el dialélico I modelo II de Griffing, en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (gr)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	Firmeza (kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
Progenitores								
1)UAN CC-S2	12.909	16.00	46.27	3.69	2.97	4.74	5.9 a	3.96
2)UAN CPP-S2	21.28	38.03	27.88	5.09	3.97	4.56	5.68	3.96
3)UAN-SE3	29.86	43.04	42.39	5.16	4.15	4.81	5.88	3.96
4)Rendidora	12.43	31.13	22.64	4.48	3.56	4.88	5.69	4.10
5)UAN CJ-S2	11.51	13.83	43.56	3.51	2.84	4.95	5.97	4.10
6) <i>Physalis</i>								
<i>angulata</i>	18.96	22.23	47.97	4.14	3.30	4.45	5.93	4.25
7)UAN 133-05	13.26	22.41	33.07	4.15	3.27	4.55	5.87	4.25
Cruzas (i*j)								
(1*5)	18.15	29.94	33.73	4.70	3.60	4.75	5.76	4.10
(2*7)	15.17	30.03	28.34	4.58	3.48	4.99	5.45	4.25
(3*5)	22.41	24.42	49.94	4.53	3.78	5.04	5.71	3.96
(3*7)	22.66	36.76	33.29	5.01	3.72	5.40	6.40	4.54
(4*5)	11.47	17.99	34.35	3.88	3.09	5.24	5.86	3.96
(5*1)	20.99	24.86	45.84	4.57	3.56	4.70	6.26	4.25
(5*2)	13.76	23.01	32.86	4.31	3.29	5.45	6.09	4.25
(5*7)	15.20	17.73	46.63	3.99	3.27	4.34	5.40	4.25
(6*1)	23.07	35.75	36.55	5.09	3.88	5.27	5.59	4.25
(6*5)	17.78	18.81	55.56	4.04	3.34	4.54	5.98	4.54
(6*4)	13.68	18.57	39.83	3.64	3.11	4.50	6.63	4.54
(6*7)	13.45	26.02	29.50	4.31	3.32	4.52	6.30	3.96
(7*2)	19.11	28.47	34.30	4.57	3.69	4.93	5.57	3.96
(7*5)	20.28	17.97	64.23	3.86	3.09	4.81	5.67	3.66
(7*4)	22.89	23.33	51.43	4.37	3.44	5.17	5.75	4.25

RTF= rendimiento total de fruto, PPF= peso promedio de fruto, NFP= número de frutos por planta, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, DPF= Diámetro polar de fruto, FF= firmeza de fruto, SST= sólidos solubles totales, VIT C= vitamina C, i= progenitor hembra, j= progenitor macho.

Cuadro 4.5. Valores de heterosis (%), presentada por las cruzas no analizadas con el dialélico I modelo II de Griffing, en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

(i*j)	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (gr)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
(1*5)	48.71	100.71	-24.90	30.30	23.71	-1.94	-2.95	1.81
(2*7)	-12.11	-0.63	-7.00	-0.76	-3.82	9.49	-5.55	3.57
(3*5)	8.33	-14.11	16.19	4.35	8.09	3.20	-3.68	-1.81
(3*7)	5.11	12.33	-11.77	7.50	0.28	15.33	8.84	10.70
(4*5)	-4.19	-19.96	3.75	-2.90	-3.34	6.47	0.57	-3.56
(5*1)	71.98	66.68	2.07	26.78	22.61	-3.03	5.44	5.45
(5*2)	-16.06	-11.24	-8.00	0.20	-3.28	14.47	4.44	5.45
(5*7)	22.80	-2.14	21.70	4.13	6.98	-8.75	-8.75	1.76
(6*1)	44.79	87.04	-22.42	30.05	23.85	14.58	-5.46	3.57
(6*5)	16.71	4.37	21.41	5.71	8.74	-3.47	0.40	8.77
(6*4)	-12.84	-30.40	12.81	-15.48	-9.43	-3.70	14.10	8.77
(6*7)	-16.48	16.58	-27.18	3.86	0.96	0.32	6.78	-6.89
(7*2)	10.65	-5.80	12.57	-1.17	2.08	8.18	-3.61	-3.57
(7*5)	63.80	-0.85	67.61	0.72	1.06	1.18	-4.28	-12.29
(7*4)	78.19	-12.86	84.60	1.33	0.83	9.58	-0.60	1.76

(1) UAN CC-S2, (2) UAN CPP-S2, (3) UAN-SE3, (4) Rendidora, (5) UAN CJ-S2, (6) *Physalis angulata*,

, (7) UAN 133-05, RTF= rendimiento total de fruto, PPF= peso promedio de fruto, NFP= número de frutos por planta, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, DPF= Diámetro polar de fruto, FF= firmeza de fruto, SST= sólidos solubles totales, VIT C= vitamina C, i= progenitor hembra, j= progenitor macho.

Cuadro 4.6. Valores de heterobeltiosis (%), presentada por las cruzas no analizadas con el dialélico I modelo II de Griffing en promedio por ambientes, Saltillo y General Cepeda, Coahuila, México.

(i*j)	RTF (t.ha ⁻¹)	PPF (gr)	NFP	DEF (cm)	DPF (cm)	FF (kg cm ⁻²)	SST (°Brix)	VIT C (mg 100g ⁻¹)
(1*5)	40.66	87.08	-27.09	27.12	21.13	-4.08	-3.56	0.00
(2*7)	-28.67	-21.03	-14.30	-9.86	-12.30	9.32	-7.05	0.00
(3*5)	-24.96	-43.26	14.63	-12.29	-8.87	1.76	-4.40	-3.56
(3*7)	-24.11	-14.58	-21.47	-3.00	-10.31	12.18	8.71	6.89
(4*5)	-7.74	-42.20	-21.16	-13.33	-13.05	5.73	-1.79	-3.56
(5*1)	62.67	55.37	-0.91	23.68	20.05	-5.14	4.77	3.58
(5*2)	-35.33	-39.48	-24.57	-15.28	-16.99	9.99	1.91	3.58
(5*7)	14.70	-20.89	7.04	-3.87	0.03	-12.45	-9.54	0.00
(6*1)	21.67	60.85	-23.79	23.09	17.56	11.16	-5.74	0.00
(6*5)	-6.23	-15.34	15.83	-2.26	1.18	-8.33	0.07	6.89
(6*4)	-27.85	-40.35	-16.97	-18.66	-12.68	-7.94	11.79	6.89
(6*7)	-29.04	16.09	-38.49	3.68	0.42	-0.75	6.22	-6.89
(7*2)	-10.20	-25.14	3.73	-10.23	-6.92	8.01	-5.14	-6.89
(7*5)	53.00	-19.84	47.42	-7.02	-5.50	-2.93	-5.10	-13.80
(7*4)	72.62	-25.06	55.50	-2.32	-3.28	5.85	-2.09	0.00

(1) UAN CC-S2, (2) UAN CPP-S2, (3) UAN-SE3, (4) Rendidora, (5) UAN CJ-S2, (6) *Physalis.angulata*,

(7) UAN 133-05, Rendidora; RTF= rendimiento total de fruto, PPF= peso promedio de fruto, NFP= número de frutos por planta, DEF= diámetro ecuatorial de fruto, DPF= Diámetro polar de fruto, FF= firmeza de fruto, SST= sólidos solubles totales, VIT C= vitamina C, i= progenitor hembra, j= progenitor macho.

V. CONCLUSIONES

En las poblaciones de tomate de cáscara utilizadas en la presente investigación se encontraron características genéticas deseables, que permiten la formación de híbridos interpoblacionales superiores a sus progenitores, y con los efectos significativos de ACG, ACE, EM y ER de acuerdo al método I modelo II de Griffing, permiten definir las estrategias más adecuadas de mejoramiento genético en las poblaciones de tomate de cáscara estudiadas.

Se identificaron los mejores progenitores (UAN CP-S2 y UAN-SE3) y la mejor interacción entre estos, es decir, cual fungiría mejor como progenitor femenino y cual como progenitor macho.

Se encontró que la mejor cruce fue UAN CP-S2 x UAN-SE3, pudiendo utilizarse esta como híbrido interpoblacional de alto rendimiento, variedad sintética o como población base para selección recurrente, por presentar altos valores de ACG y el mayor rendimiento entre progenitores y cruces.

El cruzamiento de progenitores de tomate de cáscara geográficamente divergentes se expresó en altos valores de heterosis y heterobeltiosis.

VI. LITERATURA CITADA

- Adebola P.O.; Shegro A.; Laurie S. M.; Zulu L.N.; Pillay M. 2013. Interacción genotipo x ambiente y la estimación de la estabilidad del rendimiento de algunas batatas (*Ipomoea batatas* L. Lam) líneas de mejoramiento en Sudáfrica. J.of Plant. Breeding and Crop. Science. 5: 182-186.
- Ávila P. M. A.; Rodríguez H. S. A.; Vázquez V. M. E.; Borrego E. F.; Lozano del R. A. J.; López B. A. 2009 aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de valles altos del centro de México. Agricultura Técnica en México. 35: 285-293.
- Bakasov S. M. 1963. Las plantas cultivadas en México, Guatemala y Colombia. Pub. Misc. No. 20. IICA. DEA. Perú. p. 261.
- Barrera G. E.; Muñoz O. A.; Márquez S. F.; Martínez G. A.; 2005. Aptitud combinatoria en razas de maíz mejoradas por retrocruza limitada I: caracteres agronómicos. Revista fitotecnia mexicana. 28 :231-242.
- Burrow M. D.; Croos G. 1994. DIALLEL: a microcomputer program for the simulation and analysis of diellel crosses. Agron. J. 86: 154-158.

- Castañón N. G.; Latournerie M. L.; Mendoza E. M. 2005. Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffing. *Universidad y Ciencia* 21: 27-35.
- Castañón N. G.; Hidalgo C. E.; Jeffers D. 2003. Heterosis en siete líneas de maíz para tolerancia al achaparramiento y rendimiento de grano. *Bioagro*. 15: 65-73.
- Castro G. M.; Gardner C. O.; Lonquist J. H. 1968. Cultivate gene effects and the nature of heterosis in maize crosses. Involving genetically diverse races. *Crop. Sci.* 8: 97-101.
- César L. T.; Alirio V. F.; Criollo H. Análisis de la aptitud combinatoria de algunas características del fruto de *Physalis peruviana* L. *Agronomía Colombiana*. 25: 36-46.
- Cuevas S. J. A. 1991. Definición, aprovechamiento y conservación de recursos filogenéticos en una comunidad indígena totonaca. Tesis de maestría en ciencias, centro de botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
- De la Cruz L. E.; Castañón N. G.; Brito M. N. P.; Gómez V. A.; Robledo T. V. Lozano del R. A. J. 2010. Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *FYTON*. 79: 11-17.
- Duvick D. N. 1999. Heterosis: Feeding people and protecting natural resources, pp. 19-29. *In: Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. coors, J. G.; Pandey, S. (eds). American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Wisconsin, USA.

- Falconer D.S. 1986. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. Trad. F. Márquez S. Editorial CECSA. 2a. Edición. D. F., México. 383 p.
- Fooland M. R.; Bassiri A. 1983. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in a common bean diallel cross. *J Agric. Sci. Cambridge*. 100: 103-108.
- Gardner C. O.; Eberhart S.A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related population. *Biometrics*. 22:439-452.
- Ghaderi A.; Adams M. W.; Nassib A. M. 1984. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in dry edible bean and faba bean. *Crop Sci*. 24: 37-72.
- Gordillo M. E.; Ramírez M. J. G.; Hernández D. J.; Robledo T. V.; Murillo S. M. M. 2006. Estudio de progenitores e híbridos de tomate de cascara. *Agrofaz* 6: 163-169.
- Griffing V. 1956-a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10: 31-50.
- Griffing V. 1956-b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Austr. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Gutiérrez del R.E.; Espinoza B. A.; Palomo G. J.; Lozano G. y O. Antuna G. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27 Num. Especial (1): 7-11.

- Gutiérrez J. A.; Singh S. P. 1985. Heterosis and inbreeding depression in dry bush vean
Can. J plant Sci. 65: 243-249.
- Guzman E. E.; Kuruvadi.; Villanueva D. J. 1987. Heterosis útil en girasol. Columna
órgano informativo de la UAAAN. PP. 6-7.
- Hallauer A. R. Miranda B. 1981. Quantitative Genetic in Maize Breeding. Iowa State
University Press. Ames, Iowa. pp. 268-368.
- Hernández F. 1946. Historia de las plantas de la nueva España Vol II. UNAM. Mexico
D.F. pp. 701-706.
- Hernández P. M.; López B. A.; Borrego E. F.; López B. S. L.; Ramírez M. M. 2011.
Análisis dialélico del rendimiento de chile por el método IV de Griffing I.
Agronomía Mesoamericana 22: 37-43.
- Hoegemeyer T. C.; Hallauer A. R. 1976. Selection among and within full sib families
to develop single-crosses of maize. Crop. Science. 16: 76-81.
- Jiménez S. E.; Robledo T. V.; Benavides M. A.; Ramírez G. F.; Ramírez R. H., De la
Cruz L. E. calidad de fruto en genotipos tetraploides de tomate de cascara
(*Physalis ixocarpa* Brot.). Universidad y Ciencia. 28: 153-161.
- Leiva B. M.; Prohens J.; Nuez F. 2001. Genetic analyses indicate superiority of
performance of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). J. New Seeds 3: 71-
84.

- López B. A.; Borrego E. F.; Zamora V. V. M.; Zitlalapa L. G. 2012. Estimación de Aptitud Combinatoria general y aptitud combinatoria específica en siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Agraria. 9: 87-95.
- López L. R.; Arteaga R. R.; Vázquez P. M. A.; López C. I. L.; Sánchez C. I. 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. Rev. Chapingo Ser. Hort. 15: 83-89.
- Márquez S. F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. Métodos, Teoría, Resultados. AGT Editor. México. p. 665.
- Méndez N. J.; Rondon M. A.; Merazo P. J. 1997. Heterobeltiosis en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) rendimientos de algodón en rama, sus componentes y calidad de fibra. Bioagro 9: 77-85.
- Mendoza de J. V.; Sahagún C. J.; Rodríguez P. J. E.; Legaria S. J. P.; Peña L. A.; Pérez G. M. 2010. heterosis intervarietal en jitomate de crecimiento indeterminado tipo saladette. Rev. Chapingo Ser. Hort. 16: 57-66.
- Menzel Y. M. 1951. The citotaxonomy and genetics of *Physalis*. Reprint. From. Proc. Amer. Phulos SOC. 95: 132-138.
- Moll R. H.; Lonnquist J. H.; Vélez J. F.; Johnson E. C. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. Genetics 52: 139-144.
- Moreira C.; Echandi M. A.; Mendez C. R. 2003. Heterosis y habilidad combinatoria en líneas de tomate para mesa, con adaptación a altas temperaturas. Revista Agrícola Tropical. 33:51-58.

- Moreno M. M.; Peña L. A.; Sahagun C. J.; Rodriguez P. J. E.; Mora A. R. 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-fitotecnia de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Revista Fitotecnia Mexicana. 25: 231-237.
- Ortuño O. L.; Manzo G. A.; Peña L. A. 1997. Cultivo de anteras en tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Revista Chapingo. 4: 39-43
- Pandey K. K. 1957. Genetics of self-incompatibility in *Physalis ixocarpa* Brot. A new system. American Journal of Botany. 44: 879- 887.
- Pech M. A. M.; Castañón N. G.; José M. S. J.; Mendoza E. M.; Mijangos C. J. O.; Pérez G. A.; Latournerie M. L. 2010. Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana. 33: 353-360.
- Peña L., A. 1994. Hibridación en Tomate de Cáscara. (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Memoria de la XL Reunión Anual. Interamerican Society for Tropical Horticulture. 13 al 19 de noviembre. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. p. 67.
- Peña L. A.; Márquez S. F. 1992. Mejoramiento Genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. Rev. Chapingo, Ser. Hort. Vol No.2.
- Peña L. A.; Márquez S. F. 1990. Mejoramiento genético en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo. 71-72: 84-88.

- Peña L. A.; Molina G. J. D.; Cervantes S. T.; Márquez S. F.; Sahagún C. J.; Ortiz C. J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort.4: 31-37.
- Peña L. A.; Molina G. J. D.; Ortiz C. J.; Cervantes S. T.; Marquez S. F.; Sahagun C. J. 1999. Heterosis intervarietal en tomate de cascara (*Physlis ixocarpa* Brot.) Revista Fitotecnia Mexicana. 22:199-213.
- Peña L. A.; Santiaguillo H. J. F.; Montalvo H. D.; Perez G. M. 1997. Intervalos de cosecha en la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara (*Physalisi xocarpa* Brot.). Rev. Chapingo Ser. Hort.3: 31-38.
- Perez G.; Marquez S. F.; Peña L. A. 1997. Mejoramiento genético de Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. p 232.
- Quemé de L. J. L.; Larios B. L.; Pérez R. C.; Soto L. N. 1991 Aptitud Combinatoria y Predicción de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) de Grano Amarillo a Partir de Cruzas Dialélicas, Evaluadas en Dos Localidades de la Zona Baja de Guatemala. Agronomía Mesoamericana. 2: 24-30.
- Ramírez J. L.; Sánchez J. J. R.; Carcía A.; Maya J. 1998. Aptitud combinatoria general y correlaciones fenotípicas entre líneas y mestizos de maíz 1. Agronomía Mesoamericana. 9: 69-76.
- Reyes L. D J.; Molina D.; Oropeza M. A.; Moreno E. del C. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. Rev. Fitotec. Mex. 27: 49 – 56.

- Robledo T. V.; Gonzales D J. R.; Nuñez B. A.; Benavides M. A.; Ramirez G. F.; 2002. Estudio de heterosis en frijol común en condiciones de temporal. Revista Fitotecnia Mexicana 25: 65-70.
- Robledo T. V.; Ramírez G. F.; Foroughbakhch P. R.; Benavides M. A.; Hernandez G. G. y Reyes V. H. 2011. Development of tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) autotetraploids and their chromosome and phenotypic characterization. Breeding Science. 61: 288-293.
- Robles S. R. 1986. Genetica elemental y fitomejoramiento practico. 1era. Edicion. Ed. Limusa. México D.F. P. 477.
- Rojas M.; Jimenez J. 1986. Prueba de aptitud combinatoria general en líneas de maíz de alta calidad proteica 10: 29-32.
- Ruelas H. P. G.; Caro V. F. de J.; Pérez G. R.; Valdivia B. R. 2008. Aptitud combinatoria y heterosis en un cruzamiento dialélico en Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) Rev. Chapingo Ser. Hort. 14: 325-330.
- Russell W. A. 1991. Genetic improvement of maize yields. Advances in Agronomy. 46: 245-398.
- Sahagún C. J.; Gómez R. F.; Peña L. A. 1999. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo, Ser. Hort. 5: 23-27.
- Sahagun C. J. 1992. El ambiente, el genotipo y su interacción. Revista Chapingo. 79: 5-12.

- Sánchez H. C.; Villanueva V. C.; Sahagún C. J.; Martínez S. J.; Legaria S. J. P.; Sánchez H. M. A. 2011. Efectos de aptitud combinatoria en híbridos de calabacita tipo grey. Rev. Chapingo Ser. Hort. 17: 89-103.
- Sánchez S. H.; González H. V. A.; Cruz P. A. B.; Pérez G. M.; Gutiérrez E. M. A.; Gardea B. A. A.; Gómez L. M. A. 2010. Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) Agrociencia. 44: 655-665.
- Santiaguillo H. J. F.; Cervantes S. T.; Peña L. A. 2004. Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta x planta entre variedades de Tomate de Cáscara. Rev. Fitotec. Mex. 27: 85-91.
- Santiaguillo H. J. F.; Cedillo P. E.; Cuevas S. J. A. 2010. Distribución geográfica de *Physalis* spp. en México. Publicación de la red de tomate de cascara, primera edición Octubre de 2010. México.
- Santiaguillo H. J. F.; Sahagun C. J. Peña L. A. Cuevas S. J. A. 1996. Estabilidad del rendimiento de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) criterios de medidas de dispersión. 2: 135-139.
- Saray M. Palacios A. A. Villanueva N. E. 1978. Rendidora nueva variedad de tomate de cascara. El campo 54: 17-21.
- Serrano C. L.; Mendoza O. L. 1990. Formación de híbridos de sorgo para grano III. Proposición de un modelo de selección de progenitores con base en sus parámetros genéticos. Revista Fitotecnia Mexicana 13: 44-55.

Shull G. H.; 1952. Beginning to the heterosis concepts in heterosis. College press. Pp. 419-428.

SIAP 2012 (servicio de información agroalimentaria y pesquera)
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350

Soto D. G. 1996. Evaluacion de Resistencia a fusarium sp. De 95 colectas de tomate de cascara en Cuautla Morelos. Tesis de licenciatura. Fitotecnia. Universidad Autonoma Chapingo. México.

Torrecillas M. G.; Bertoia L. M. 2000. Aptitud combinatoria para caracteres forrajeros en poblaciones nativas y compuestos raciales de maíz de Argentina Invest. Agr., Prod. Prot. Veg. 15: 79-90.

Weatherspoon, J. H. 1970. Comparative yield of single, three-way and double crosses of maize. Crop. Science. 10: 157-159.

Wong R.; Gutiérrez del R. E.; Rodríguez H. S. A.; Palomo G. A.; Córdova O.

H.; Espinoza B. A. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. Universidad y Ciencia. 22: 141-151.

Workie A.; Habtamu Z.; Yigzaw D. 2013. Genotype x environment interaction of maize (*Zea mays* L.) across North Western Ethiopia. J.of Plant. Breeding and Crop. Science. 5: 171-181.

Zhang, Y.; Kang S.; Lamkey R. 2005. DIALLEL–SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner–Eberhart analyses. *Agron. J.* 97: 1097–1106.

Zhang Y.; Kang S. 1997. diallel- SAS+: A SAS program for Griffings diallel analyses *Agron. J.* 89-176-182.