

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CHILES ANCHOS, PIMIENTOS Y SUS
HÍBRIDOS, CULTIVADOS EN INVERNADERO

Tesis

Que presenta TOMÁS MORALES VARGAS
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

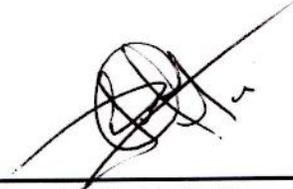
Saltillo, Coahuila.

Octubre 2016

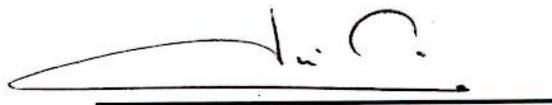
EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CHILES ANCHOS, PIMIENTOS Y SUS
HÍBRIDOS, CULTIVADOS EN INVERNADERO

Tesis

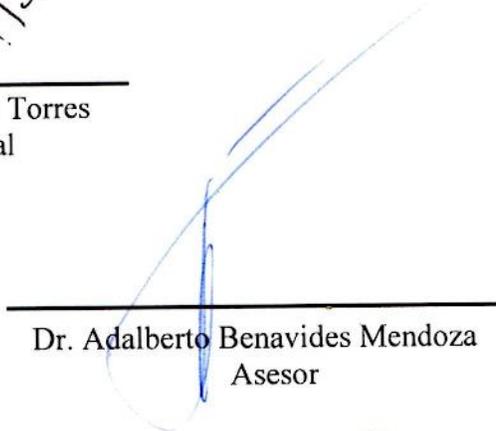
Elaborada por TOMÁS MORALES VARGAS como requisito parcial para obtener el
grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría.



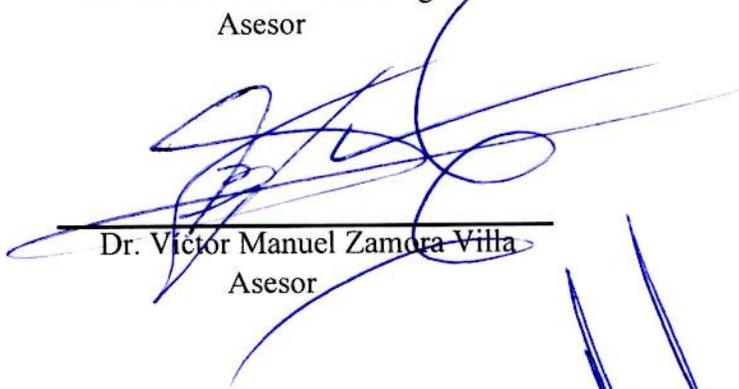
Dr. Valentín Robledo Torres
Asesor Principal



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor



Dr. Víctor Manuel Zamora Villa
Asesor



Dra. Francisca Ramírez Godina
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A mi Madre por apoyarme en cada etapa de mi vida y brindarme su comprensión, para realizar todas las metas que me he propuesto, aun cuando signifique estar lejos de casa. Gracias por criarme como un hombre de bien e inculcarme los valores que me hacen crecer como persona y profesionista.

A mi Padre por estar a mi lado siempre, educándome y mostrándome con su ejemplo y cariño, que la perseverancia y el trabajo son indispensables para alcanzar el éxito no solo profesional, sino también el personal. Gracias por tus consejos, enseñanzas y conocimientos brindados sin interés alguno.

A mi Hermana y familia que siempre están ahí cuando los necesito, gracias por todo el cariño y el apoyo.

A Claudia mi novia, por los momentos que compartimos a través del programa de maestría y por los que faltan. Por todo el cariño y apoyo que incondicionalmente me brinda día a día.

Al CONACYT por el apoyo económico que brinda a los estudiantes de posgrado del país, con el cual podemos culminar nuestros estudios y adquirir conocimientos que puedan ser empleados en la mejora del Campo Mexicano.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por alojarme en sus aulas durante dos años y brindarme la oportunidad de expandir mis conocimientos y áreas de estudio.

A mi asesor principal el Dr. Valentín Robledo Torres por los conocimientos brindados para mi crecimiento profesional, por el apoyo mostrado para la culminación y obtención de mi grado y sobre todo por los consejos brindados a lo largo de los cursos que nos hacen crecer como persona.

A todos mis asesores por su colaboración en la realización de esta investigación, sin sus conocimientos y su apoyo este trabajo no hubiera podido ser culminado, mis más sinceros agradecimientos; Dra. Francisca Ramírez Godina, Dr. Adalberto Benavides Mendoza, Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar y Dr. Víctor Zamora Villa.

ÍNDICE GENERAL

	Página.
HOJA DE FIRMAS.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	11
Objetivos.....	13
Objetivos específicos.....	13
Hipótesis.....	13
REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
Origen e historia de <i>Capsicum annum</i>	14
Importancia.....	15
Mejoramiento genético vegetal.....	16
Mejoramiento genético en <i>Capsicum annum</i>	17
Aptitud combinatoria y análisis de sendero.....	19
Heterosis.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
RESULTADOS.....	28
CONCLUSIONES.....	34
LITERATURA CITADA.....	35

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Material vegetativo estudiado en invernadero en Saltillo, Coahuila.	25
Cuadro 2. Heterosis promedio en cinco características agronómicas en híbridos interraciales de Chile.....	33

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Rendimiento de fruto de en progenitores del tipo pimiento y tipo ancho, e híbridos inter-raciales estudiados en invernadero.....	28
Figura 2. Producción de frutos en chiles de los progenitores tipo pimiento y tipo ancho e híbridos inter-raciales desarrollados en invernadero.....	29
Figura 3. Peso promedio de fruto de progenitores del tipo pimiento y tipo ancho y sus híbridos inter-raciales desarrollados en invernadero.....	30
Figura 4. Crecimiento de plantas del tipo pimiento y tipo ancho y sus híbridos desarrollados en invernadero.....	31
Figura 5. Grosor de tallo en plantas de pimiento, chile tipo ancho y sus progenies desarrollados en invernadero.....	32

RESUMEN

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CHILES ANCHOS, PIMIENTOS Y SUS
HIBRIDOS, CULTIVADOS EN INVERNADERO

POR

TOMAS MORALES VARGAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES.–ASESOR

Saltillo, Coahuila.

Octubre 2016

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento agronómico de híbridos interraciales entre chiles tipo ancho y pimiento y sus progenitores en invernadero, estimar la heterosis y la variable con mayor efecto directo al rendimiento de fruto. Para cumplir con el objetivo planteado se sembraron cuatro genotipos de chile pimiento y cuatro de chile ancho, en Saltillo, Coahuila, el 15 de septiembre de 2014 y 45 días después fueron trasplantadas en invernadero de mediana tecnología. El experimento fue establecido bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, de cada genotipo se tomaron cuatro plantas, para estimar; el peso de fruto por planta (PFPP), frutos por planta (NFPP), peso promedio de fruto, altura de planta, diámetro de tallo, ancho y largo de hoja. Los chiles tipo ancho presentaron mayor rendimiento ($2.91\text{Kg.parcela}^{-1}$) que los pimientos ($1.08\text{Kg.parcela}^{-1}$), pero el híbrido 5 x 2 superó en más del 300% al progenitor de chile ancho UANCp que fue el que presentó el mayor rendimiento de fruto. Al estudiar solo los progenitores se encontró que el NFPP presentó la mayor correlación con PFPP ($r= 0.99$) y ésta misma variable tuvo el mayor efecto directo y positivo sobre el PFPP, por lo tanto NFPP es importante a considerar en las estrategias de selección para desarrollar variedades de alto rendimiento en chile. Por lo tanto se concluye que de la cruce de chiles tipo ancho por pimiento es posible desarrollar híbridos con alto potencial de rendimiento para su uso en invernaderos o agricultura protegida.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, agricultura protegida, mejoramiento genético, análisis de sendero, rendimiento de fruto.

ABSTRACT

AGRONOMIC EVALUATION OF ANCHOS CHILLIS, BELL PEPPERS AND
THEIR HYBRIDS, CULTIVATED IN GREENHOUSE

BY

TOMAS MORALES VARGAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES –ADVISOR

Saltillo, Coahuila.

October 2016

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the agronomic performance of inter-racial hybrids between ancho chilies and bell pepper and their parents cultivated in greenhouse, estimate heterosis and the parameter with the highest direct effect on yield fruit. To meet the objective four genotypes of bell pepper and four ancho chilis, were sown in Saltillo, Coahuila, on September 15, 2014 and 45 days later were transplanted in medium-tech greenhouse. The experiment was established under a randomized block design with three replicates of each genotype four plants were sampled to estimate; the weight of fruit per plant (PFPP), fruits per plant (NFPP), average fruit weight, plant height, stem diameter, leaf width and length. Ancho chilis showed higher yield (2.91Kg.parcela-1) compared with bell peppers (1.08 Kg.parcela-1), but the hybrid 5 x 2 exceeded by more than 300% to the parent UANCp, who had the highest fruit yield. By studying only the parents, it was found that the NFPP had the highest correlation with PFPP ($r = 0.99$) and this same variable had the most direct and positive effect on PFPP, therefore NFPP is important to consider in the selection strategies to develop of high-yield varieties in chilies. Therefore it is concluded that, of the crosses of ancho with bell pepper chilis is possible to develop hybrids with high yield potential for use in greenhouses or protected agriculture.

Keywords: *Capsicum annuum*, protected agriculture, genetic improvement, path analysis, yield fruit.

INTRODUCCIÓN

Una de las hortalizas más importantes a nivel mundial es el chile, cuya producción en el mundo asciende a 13 millones de toneladas por año. Ocupando el primer lugar China, ya que produce el 54% de la producción mundial de chile fresco. El segundo lugar lo ocupa México con el 6.5%, le siguen Indonesia (4.2%), Turquía (4.2), España (4.1) y Estados Unidos (3.3).

En México se producen alrededor de 2 millones de toneladas, la cual se ha duplicado en la última década (FAOSTAT, 2016). Las especies que se cultivan en mayor cantidad son: *Capsicum annuum* L. (jalapeño, serrano, pasilla, guajillo, anchos, mulatos, pimientos, morrones y chile bell), *Capsicum frutescens* L. (chile manzano) y *Capsicum chinense* (chile habanero).

El chile ancho en particular, se ha posicionado como uno de los más consumidos en el país, sin embargo su producción se limita a zonas templadas y a condiciones de campo abierto, lo cual impacta de manera negativa el rendimiento a causa de factores climáticos variables. Por otro lado las regiones en el país donde puede producirse, representan una pequeña superficie de la total utilizada para la producción de hortalizas.

El uso de plásticos en la agricultura es una tecnología emergente que permite incrementos sustanciales en cantidad y calidad de productos hortícolas. La plasticultura en la agricultura tiene múltiples aplicaciones; entre las más preponderantes están su uso en invernaderos, túneles, microtúneles, acolchados, mallas para sombreo, control de plagas y enfermedades (Figuroa *et al.*, 2006), ya que las hortalizas producidas en invernadero tienen un alto valor comercial y son las que presentan la calidad que demanda el mercado, lo que se ve reflejado en mayores ganancias para los que producen de esta manera, lo cual es una desventaja para los productores tradicionales en campo abierto. Sin embargo, no existen variedades de chile tipo ancho específicos para producción en invernadero, el material utilizado por los productores a campo abierto del país proviene, en muchas ocasiones, de sus propias cosechas, en donde ellos extraen la semilla de sus mejores frutos. De tal manera que sus cultivos son muy vulnerables a cambios de temperaturas y pérdidas por patógenos.

El mejoramiento genético es una herramienta de suma importancia en cultivos como el chile, ya que ha permitido incorporar características deseables procedentes de materiales silvestres a variedades que carecen de estas, con la finalidad de incrementar su tolerancia a patógenos o resistencia a estreses generando nuevas variedades con características sobresalientes tanto en lo productivo y calidad de la cosecha y para conseguir resultados económico-productivos elevados y uniformes, es fue necesario el estudio genético y la selección de mejores cultivares, con características estables y muy uniformes en el ámbito de la población bajo cultivo (Morejón y Díaz, 2015).

Las cruza simples es el cruzamiento entre dos genotipos diferentes, generalmente dos líneas endocriadas y se utilizan para formar cruza dobles; también se denomina híbrido doble (Chávez, 2007) y son una buena alternativa de mejoramiento genético, esta herramienta permite obtener semillas con características agronómicas sobresalientes. Por otro lado la heterosis o vigor híbrido es la base del mejoramiento genético por hibridación. Este fenómeno fue observado por primera vez en 1871 por Darwin (Wallace y Brown, 1956) y se define como el exceso de vigor de la F1 de un híbrido en relación con el promedio de sus progenitores (Gowen, 1952). Por lo tanto éstas técnicas de mejoramiento genético pueden ser usadas en Chile ancho con alto potencial para su producción eficiente bajo condiciones de invernadero lo cual podrá representar una ventana de oportunidades para los productores del altiplano mexicano, logrando con ello una optimización en recurso económicos y sobre todo en los recursos más valiosos, que son el suelo y el agua.

Al implementar las tecnologías de semillas mejoradas y agricultura protegida se tiene como propósito, alargar los ciclos de cultivo, incrementar la seguridad de las cosechas en nuevas áreas, con altos rendimientos y alta calidad de los productos, haciendo un uso eficiente de los diferentes insumos necesarios para la producción de cultivos.

Objetivo General

- Estudiar el comportamiento agronómico de chiles tipo ancho y cinco pimientos bajo invernadero y formar híbridos interraciales entre los chiles tipo ancho y pimiento.

Objetivos Específicos

- Formación de híbridos interraciales entre chiles tipo ancho por tipo pimiento.
- Evaluación agronómica de los híbridos obtenidos y sus progenitores, en invernadero
- Estimación del vigor híbrido o heterosis de híbridos de chiles anchos por pimientos.
- Estimar las correlaciones entre variables agronómicas en el cultivo de chiles anchos y pimientos.
- Estimar cuales son las variables agronómicas que tienen un efecto directo positivo o negativo sobre el rendimiento de fruto.

Hipótesis

- 1.- Además de los componentes del rendimiento tradicionales hay otras variables correlacionadas positivamente con el rendimiento de fruto.
- 2.- Los componentes del rendimiento tienen efectos directos positivos sobre el rendimiento de fruto.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen e Historia de *Capsicum annuum*

El género *Capsicum* se considera que se originó en las Américas, mucho antes de la llegada de humanos. Un análisis molecular de muchas especies domesticadas y silvestres de *Capsicum*, fue llevado a cabo por Walsh y Hoot (2001), para desarrollar y entender las relaciones filogenéticas que existían dentro del género, concluyendo que el género *Capsicum* probablemente se originó en las regiones áridas de los Andes, en lo que ahora es Perú y Bolivia, después migró a zonas bajas tropicales de las Américas. Existen cinco diferentes especies domesticadas de *Capsicum*, cada una comenzó a domesticarse en diferentes regiones geográficas de América del Norte, Central y Sur. Por su parte Perry *et al* (2007) identificó morfotipos de almidones específicos en *Capsicum* que se encontraban en siete sitios arqueológicos separados, desde las Bahamas hasta el sur de Perú con una antigüedad de casi 6000 años.

Las asociaciones almidón-grano han demostrado que el maíz y los chiles surgieron juntos, como un complejo alimenticio ancestral. Aun cuando la superficie dedicada para el cultivo de chiles era muy pequeña, estos tenían un papel importante en la vida diaria de los primeros americanos. Pickersgill (1971) sugiere que la domesticación de *Capsicum annuum* puede ser previa al comienzo de la agricultura en las Américas. Este género comprende alrededor de 36 especies desde Brasil (Pozzobon *et al*, 2006) hasta nuevas especies de *Capsicum*, recientemente descritas en Bolivia (Nee *et al.*, 2006).

La especie *Capsicum annuum* L. incluye al jalapeño, poblano, anaheim, ancho, bell, cayenne y serrano, fueron originalmente descritas por Lineo en 1753 (*Species Plantarum*). Sin embargo algunos investigadores consideran a México como el centro de origen, domesticación y diversificación de *Capsicum annuum*, basándose en evidencias, como los restos arqueológicos encontrados en las cuevas de Ocampo de la Sierra de Tamaulipas (7000 a 5000 a.C.), Coxcatlán en el Valle de Tehuacán (6000 a 4000 a.C.), y Silvia y Guilá Naquitz en Oaxaca (600 a 1521 d.C.), considerando que esta es una evolución que continúa hasta nuestros días (Aguilar-Meléndez *et al.*, 2009). La riqueza

constituida por la diversidad genética del chile se encuentra distribuida a todo lo largo y ancho de México, tanto en formas cultivadas como silvestres (Rincón *et al.*, 2010).

En el país se distribuyen más de 100 morfotipos de chile silvestres y cultivados, que se consumen y demandan los mercados de las comunidades urbanas y rurales. Sin embargo, se ha determinado además una alta variabilidad genética entre y dentro de tipos (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010) Los tipos de chile más sembrados son los serranos, de árbol, jalapeños, guajillos pasilla, anchos, piquines, habanero y manzano (Hernández *et al.*, 1999). México como centro de domesticación, cuenta con las cinco especies cultivadas: *C. annuum* var. *annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. baccatum* var. *pendulum*, y la semidomesticada *C. frutescens*, y la silvestre *C. annuum* var. *glabriusculum* (Loaiza-Figueroa *et al.*, 1983; Morán *et al.*, 2004; Milla, 2006). En general la riqueza constituida por la diversidad genética del chile se encuentra distribuida a todo lo largo y ancho de México, tanto en formas cultivadas, pero además con un vasto grupo de especies silvestres (Aguilar *et al.*, 2010).

Los parientes silvestres de las plantas cultivadas son un recurso genético importante que constituye un acervo primario de genes, lo cual puede ayudar a resolver problemas de la agricultura actual, tales como tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades, y aumentar la calidad y cantidad de la producción (Hernández Verdugo *et al.*, 1998). Además el conocimiento de la variación morfológica y sus patrones de distribución geográfica es de considerable interés para entender la evolución de las especies vegetales y trabajar en su conservación (Solís-Neffa, 2010).

Varios estudios han mostrado que la precipitación y la temperatura influyen sobre la distribución geográfica y variación morfológica (Solís-Neffa, 2010; Nooryazdan *et al.*, 2010). Sin embargo, la producción de frutos y semillas puede depender de la cantidad de agua disponible y la temperatura durante la etapa reproductiva (Souza *et al.*, 2010). A su vez, las divergencias genéticas entre morfotipos de chile están también asociadas a diferencias en su composición química; por ejemplo, en contenido de capsaicinoides, flavonoides, carotenoides, polifenoles y otros compuestos (Vera-Guzmán *et al.*, 2011).

Importancia

La superficie mundial de chiles ascendía en el 2009 a 1.7 millones de hectáreas, con una producción de 25.1 millones de toneladas. Después de China, México se posiciona como segundo productor a nivel mundial y en base a la producción obtenida, les siguen Turquía, Estados Unidos, España e Indonesia, representando juntos el 25 % del volumen mundial de producción (FAOSTAT, 2009a; Aktas *et al.*, 2009).

El cultivo de chile (*Capsicum spp.*) en México tiene gran importancia social y económica debido a que es un producto de exportación (mayor de 600 mil toneladas de chile verde) y debido a que es ampliamente distribuido y a que su consumo es cada vez más generalizado (FAOSTAT, 2009b; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

México es centro de origen de diversas especies vegetales, entre estas plantas cultivadas de importancia mundial se encuentra el chile (*Capsicum spp.*) utilizado como uno de los saborizantes más importantes en la cocina a nivel mundial.

Los principales estados productores de México están en el norte, entre Zacatecas y Chihuahua, mientras que en menor medida están Durango y Coahuila, que incluyen la Comarca Lagunera (SIAP, 2010).

Mejoramiento Genético Vegetal

Al cual, también se le ha denominado como el arte y ciencia que permite cambiar y mejorar la herencia (genotipos) de las plantas. El fitomejoramiento es mejorar las caracteres heredables de las plantas por medio de técnicas genéticas, para hacerlas más eficientes para determinadas condiciones agroecológicas, es un sinónimo de mejoramiento genético de las plantas, genética vegetal aplicada, genotécnica y *plant breeding* (Chávez, 2007).

Además se habla de que el fitomejoramiento, también conocido como mejoramiento de las plantas, es la ciencia del desarrollo de plantas para producir nuevas variedades con características deseables. Durante la mejora de un cultivo, se realizan cruces entre individuos portadores de las características de interés; de las semillas resultantes se seleccionarán las que presenten la o las características que se quieren preservar. Estos individuos se someterán a otra ronda de cruces con la finalidad de obtener una nueva variedad con una característica deseada, tal variedad incluye una serie de pruebas adicionales antes de su liberación al mercado. La obtención de mejores cultivos ha sido

una de las principales aplicaciones de la biotecnología y su contribución a la agricultura es significativa pues se han logrado un gran número de cultivos con diversos beneficios (Miyazaki *et al.*, 1997).

El mejoramiento genético se inició cuando el hombre empezó a recolectar las mejores plantas y multiplicarlas, siendo la selección el primer método de mejoramiento. Aunque en la actualidad, el mejoramiento convencional o domesticación de cultivos sigue los principios básicos de selección y cruza entre individuos con características deseables (Acquaah, 2006). En este proceso de mejora de las plantas, se están tomando constantemente decisiones para llevar a cabo un proceso de selección, mediante el cual se va a identificar a los elementos de la población, que presentan el carácter establecido para la selección. (IICA-BID-PROCIANDINO, 1993). Lo antes citado apoyado en la genética vegetal, que ofrece al mejorador, los conocimientos para hacer más eficiente este trabajo; además permite calcular la contribución a la variación fenotípica por los componentes genético, ambiental y de la interacción entre ambos. Esto permite escoger las características con mayor aporte genético y velar cuidadosamente por el manejo varietal en el caso de los caracteres cuya expresión dependiera altamente de esta interacción (Cornide, 2001).

Mejoramiento Genético en *Capsicum annuum*

El chile (*Capsicum annuum* L.) es una especie diploide ($2n=24$) y un cultivo genéticamente auto-polinizado y chasmógamo cuyas flores se abren sólo después de la polinización (Lemma, 1998), con 2 a 96 % de cruzamiento bajo polinización libre (Tanksley, 1984; Pickers-gill, 1997; AVRDC, 2000).

La variación intraespecífica es común en este género, en las variedades silvestres, y la variación cariotípica intraespecífica puede ser mayor que la interespecífica (Chennaveeraiah y Habib, 1966; Datta, 1968; Pickersgill, 1971; Kuriachan, 1981).

En Chile se ha explotado la heterosis para incrementar el rendimiento y otros caracteres económicos (Seneviratne y Kannangara, 2004), y se considera que en *Capsicum* la heterosis es alta (De Souza y Maluf, 2003).

Cruzamientos interespecíficos en *Capsicum* han sido llevados a cabo experimentalmente con fines agronómicos y taxonómicos (Walsh y Hoot, 2001; Pickersgill, 1991, 1997; Onus y Pickersgill, 2004).

En Cuba se propone al control genético como la vía más eficiente para mitigar el daño en pimiento, por el virus del mosaico del tabaco. Para lograr la resistencia simultánea a virus y adaptación climática del pimiento, se realizó un estudio de correlaciones fenotípicas que optimizan la selección, lo que permitió obtener líneas multirresistentes y adaptadas al trópico, que permitieron obtener híbridos F1 tolerantes (Rodríguez y Depestre, 2005).

Se realizó una colecta en los estados de Puebla, Morelos y Querétaro observando los complementos cromosómicos, determinando el número somático, (básico, X), la longitud total (LT), el tamaño relativo (LR%), el tamaño del brazo largo (BL) y del corto (BC), posición del centrómero o relación de brazos (r) y la presencia y tamaño de satélite (s). El número cromosómico observado en las colectas fue de $2n=2x=24$. Lo cual sugirió la existencia de polimorfismo en las colectas de Chile estudiadas (Teodoro-Pardo *et al.*, 2007).

Se realizó un estudio para determinar la heterosis y aptitud combinatoria en Chile dulce midiendo las variables rendimiento de fruto, peso individual de frutos, número de frutos por planta, días a inicio de cosecha, altura de planta, longitud y diámetro de fruto. Determinando que el método de hibridación sería el correcto para aumentar el rendimiento en dicho cultivo. (May *et al.*, 2010).

En Chile tipo miahuateco se ha realizado cultivo de anteras y se ha logrado la embriogénesis y en las plantas regeneradas se encontró que fueron haploides con un número cromosómico $2n=x=12$, pudiendo realizar híbridos disminuyendo el tiempo de trabajo para la formación de dichos híbridos (Robledo *et al.*, 2010).

Con cruza provenientes de Chile jalapeños, tipo húngaro amarillo, tipo ancho y tipo mulato y utilizando el método cluster se realizó un análisis para determinar las diferencias genotípicas y/o fenotípicas de las quince cruza directas de Chile (Hernández-Pérez *et al.*, 2011). Por otro lado en el 2013 se demostró que en cruza de Chile pimentón con Chile cayene, donde se realizó un estimación de parámetros

genéticos para peso de fruto por planta, la dominancia y las interacciones epistáticas digénicas se mostraron significativas (Aguilar *et al.*, 2013).

En Bangladesh se estudió el comportamiento heterótico de seis diferentes padres divergentes homocigóticos pertenecientes al género *Capsicum*, y se observó una cantidad significativa de heterosis en el rendimiento y las características que contribuyeron a este (Shukor-Juraimi *et al.*, 2013).

En un trabajo realizado con chiles ornamentales se encontró amplia variabilidad genética en el peso de planta, ancho de pabellón, altura de la primera bifurcación, altura del vástago, largo de hoja, ancho de hoja, largo de corola, largo de antera, largo de estilo, y ancho de pétalo, concluyendo que es posible realizar un programa de fitomejoramiento utilizando como referencia estos parámetros morfológicos (Do Rêgo *et al.*, 2014).

En un trabajo de investigación con 66 líneas derivadas en el primer ciclo de selección masal visual estratificada, de chiles tipo chilaca, chile negro y mirasol para ser consumidos en seco en Chihuahua, con los cuales se formaron híbridos se observó una alta y significativa expresión de heterosis, siendo el más sobresaliente el híbrido Negro X Mirasol-8, que superó significativamente a sus dos progenitores en 178% a Negro (mejor progenitor) y 249% a Mirasol (Segovia-Lerma y Romero-Mozqueda, 2014).

La meta de este estudio fue evaluar la variabilidad genética para la síntesis de compuestos bioactivos en chile (*Capsicum annuum*, *Solanaceae*), tales como fenoles totales, anthiocianinas, carotenos y actividad antioxidante en 14 accesiones de *Capsicum annuum*, encontrando alta variabilidad genética para fenoles, antiocianinas, carotenos y actividad antioxidante, mostrando el potencial de éstos materiales para incluirlos en programas de mejoramiento genético (Barbieri *et al.*, 2015).

Si bien se ha realizado un sinnúmero de estudios en el género *Capsicum*, en México se cuenta con recursos genéticos de importancia cultural y económica, los cuales no cuentan con programas de mejoramiento genético que podrían arrojar resultados positivos para su adaptación a la agricultura protegida, aportando beneficios a los productores nacionales.

Aptitud Combinatoria y Análisis de Sendero

La aptitud combinatoria es la capacidad que tiene un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez, 1988). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar aquéllos que exhiban la más alta aptitud combinatoria.

El análisis de la habilidad combinatoria es una metodología utilizada para identificar progenitores con capacidad de transmitir sus caracteres deseables a su descendencia, identificar las mejores combinaciones híbridas y adquirir información sobre el tipo de acción génica que controla los diferentes caracteres agronómicos. Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), introducidos por Sprague y Tatum (1942), sirven para expresar el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas y para designar las combinaciones que resultan mejor o peor de lo que se esperaría en relación con el promedio de la ACG de las dos líneas progenitoras (Reyes *et al.*, 2004). Por su parte Sprague y Tatum (1942) mencionan que la aptitud combinatoria general (ACG) es el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, mientras que la aptitud combinatoria específica (ACE) puede identificar las combinaciones específicas que son mejores o peores que lo esperado con base en la ACG de sus padres.

Con relación al tipo de acción génica que determina la aptitud combinatoria de las líneas, se considera que la ACG indica la porción aditiva de los efectos genéticos, en tanto que la ACE, los efectos no aditivos, esto es, la acción génica de dominancia y epistasis (Poehlman y Allen, 2003).

Se indica que conocer la aptitud combinatoria de los progenitores, mejora la eficiencia de un programa de mejoramiento y esto permite seleccionar progenitores con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos, e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado (Gutiérrez *et al.*, 2004; Castañón *et al.*, 2005). Para la estimación de la aptitud combinatoria el modelo más utilizado es el de Griffing (1956) 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. Singh y Stoskopf (1971) describieron la técnica

estadística para el análisis combinado del diseño dialélico de Griffing. Estos cuatro métodos de diseños dialélicos para estimar la aptitud combinatoria general y específica de líneas, son adecuados cuando el número de progenitores es reducido, pero cuando este número se incrementa el procedimiento es más difícil.

La estimación de los parámetros genéticos se obtiene por medio del análisis de los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956a, 1956b) y Gardner y Heberhart (1966). Estos últimos autores propusieron un análisis alternativo de los datos de cruza dialélicas obtenidas de poblaciones o progenitores heterogéneos (variedades). El análisis del Método I de Gardner y Heberhart (GEAN I) requiere la evaluación de n progenitores, $n(n-1)/2$ cruza F1 y la progenie de los progenitores y las cruza, pero proporciona información de la acción génica aditiva, de dominancia, heterosis y depresión endogámica. El Método II (GEAN II) es útil en la evaluación de n poblaciones (variedades) y sus $n(n-1)/2$ cruza F1. La heterosis se particiona en heterosis promedio, varietal y específica. Sin embargo, no se pueden estimar los efectos aditivos y de dominancia porque están confundidos con la fuente de variación “variedad”.

Gardner y Eberhart (1966) propusieron varios métodos de análisis, de los cuales el más utilizado es el análisis tipo II. Esta metodología puede aplicarse desde grupos parentales totalmente homocigotos ($F = 1$) hasta aquellos sin ningún grado de endogamia ($F = 0$). Típicamente requiere de la evaluación de los padres y los cruzamientos F1 directos. Este método considera sólo modelos fijos y, por lo tanto, no tiene sentido aplicarlo para la estimación de componentes de varianza genética (modelos aleatorios).

En el caso del género *Capsicum* se han realizado diversas investigaciones en las cuales se ha determinado que la aptitud combinatoria general y específica, sería muy variante en cuanto a una y otra especie se refiere y que esto se verá influenciado por diversos factores (Pérez-Grajales *et al.*, 2010; Pech *et al.*, 2010; Shamsuddin *et al.*, 2013).

En cualquier cultivo en el cual se implementa un programa de mejoramiento, es importante que el fitomejorador conozca las relaciones entre el rendimiento y los caracteres relacionados con la producción de un nuevo genotipo, siguiendo un método de selección en el que intervengan, simultáneamente, dos o más factores de importancia agronómica (Martínez y Torregroza, 1988).

En el fitomejoramiento al conocer la aptitud combinatoria del cultivo de interés, la asociación entre caracteres de interés se puede evaluar mediante correlaciones fenotípicas, genotípicas y ambientales. La correlación fenotípica se estima directamente de los valores medios fenotípicos de campo, siendo el resultado, por tanto, de causas genéticas y ambientales. La correlación genotípica, en cambio, corresponde a la porción genética de la correlación fenotípica causada por la pleiotropía principalmente, aunque el ligamiento puede ser una causa temporal (Ceballos, 2003).

Los coeficientes de correlación, son de gran utilidad en la cuantificación de la magnitud y dirección de las influencias de factores en la determinación de caracteres complejos, pero solo ofrecen una importancia relativa de los efectos directos e indirectos de esos factores. Por lo que como solución se realiza un análisis de sendero que permite acabar con esta limitación, ya que por medio de él se desdoblan las correlaciones estimadas en efectos directos e indirectos (Falconer y Mackay, 1996; Cruz y Regazzi, 1997).

El método de análisis de sendero asume que las variables se asocian entre sí, mediante relaciones lineales (Roehrig, 1996) y que sus coeficientes son estandarizados, ya que son estimados a partir de los coeficientes de correlación, el análisis permite descomponer las correlaciones entre dos variables en efectos directos e indirectos (Mitchell, 1992) y facilita la identificación de las posibles soluciones causales de las correlaciones observadas entre una variable de respuesta dependiente (endógena) y una variable independiente (exógena). Dentro de este tipo de análisis el estimador utiliza el coeficiente de sendero (path coefficient) para medir la influencia directa de una variable sobre otra, independientemente de las demás y de esta manera desdobla los coeficientes de correlación (genético, fenotípico o ambiental) en sus efectos directos e indirectos (Li., 1997). Por su parte Gómez (2011), señala que los coeficientes de regresión estandarizados son los coeficientes de senderos. En cada modelo de regresión, los estimadores de los coeficientes de sendero se obtienen de manera usual por mínimos cuadrados en cada una de las regresiones, que genera ecuaciones normales del modelo, equivale a una descomposición de los coeficientes de correlación. Una correlación se descompone en la suma de productos de coeficientes de cada sendero que conecta a las variables analizadas.

El análisis de senderos es actualmente el método más utilizado para probar conjuntos de variables causales entre variables observadas, estudiando además los efectos directos e indirectos de una variable sobre otra (Levy y Oubiña, 2006).

Como resultado si las relaciones causa-efecto están bien definidas es posible representar todo el sistema de variables mediante un diagrama de sendero (Prakash y Lal., 2007).

Heterosis

La heterosis o vigor híbrido resulta en la superioridad fenotípica de un híbrido sobre sus padres con respecto a rasgos específicos, como la tasa de crecimiento, reproducción y rendimiento. Este vigor híbrido es determinado por mecanismos que no se excluyen mutuamente, incluida la complementación de dominancia, la codominante y la epistasia. Los genes heteróticos responsables de elevar los rendimientos en los cultivos se están estudiando usando la genómica, particularmente la transcriptómica. (Lippman y Zamir 2007).

La heterosis es la expresión de un carácter en la progenie más allá de los límites de expresión manifiestos en sus progenitores y tiene su origen en los efectos principalmente de dominancia de los genes y en la diferencia de sus frecuencias génicas (Falconer, 1981).

La heterosis se refiere al fenómeno en el que las variedades de la progenie de cruza de especies exhiben una mayor biomasa, rapidez de desarrollo y mayor fertilidad que la presentada por ambos padres y este fenómeno se ha reconocido de diversas maneras en muchas civilizaciones (Chen, 2010).

Según Melchinger (1999), empezar con poblaciones genéticamente divergentes como grupos heteróticos es una ventaja para la explotación máxima de la heterosis y rendimiento del híbrido. Una mayor eficiencia en el mejoramiento interpoblacional conduce a híbridos superiores usando grupos divergentes en lugar de grupos heteróticos genéticamente similares (Melchinger y Gumber 1998; Reif *et al.*, 2007).

Según Joshi y Brahma (1987) y Patel *et al.*, (1998), en Chile la información de los efectos génicos y de las aptitudes combinatorias orienta sobre el uso óptimo de los progenitores para aprovechar sus efectos de heterosis en cruzamientos específicos, o

bien para acumular los efectos de alelos favorables que pueden ser fijados en condición homocigótica.

La expresión de heterosis en los híbridos F1 de especies de *Capsicum* depende de los padres, que se pueden seleccionar con base en el vigor de la planta, tamaño y rendimiento del fruto (Greenleaf, 1947). Según Melchinger (1999), empezar con poblaciones genéticamente divergentes como grupos heteróticos es una ventaja para la explotación máxima de la heterosis y rendimiento del híbrido.

La hibridación es una estrategia genotécnica de uso común en el mejoramiento genético de chiles, tanto para mejorar rasgos agronómicos como aspectos de calidad de fruto, vida de anaquel y metabolitos secundarios como capsaicinoides, flavonoides y ácido ascórbico. Las variantes más utilizadas son los cruzamientos inter o intraespecíficos (Shifriss y Sacks, 1980; Zewdie y Bosland, 2000; Zewdie y Bosland, 2001; Martínez *et al.*, 2005; Geleta y Labuschagne, 2006; Garcés-Claver *et al.*, 2007; Cruz-Pérez *et al.*, 2007; Payakhapaab *et al.*, 2012; Patil *et al.*, 2012; Hasanuzzaman *et al.*, 2013; Butcher *et al.*, 2013). En todos los casos se busca explotar la divergencia genética parental para aprovechar la heterosis resultante (Krishnamurthy *et al.*, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

El cultivo se estableció en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado a 25°21'23" latitud N y 101°01'54" longitud W a una altitud de 1610 msnm, y una temperatura media anual oscilante entre 12 a 18 °C, con un clima semiseco BS (INEGI; 2016).

El material vegetal usado en este estudio fueron cuatro variedades de pimiento y cuatro de chile ancho y los híbridos resultantes de las cruces entre los progenitores antes mencionados (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Material vegetativo estudiado en invernadero en saltillo Coahuila.

Chiles Pimientos	Chiles anchos	Híbridos Chiles anchos x Pimientos
1.- UANRd	5.- Abedul	5 x 1
2.- UANYw	6.- UANCp	5 x 4
3.- UANOg	7.- UAN72	5 x 2
4.- UANPp	8.- Huizache	6 x 1
		6 x 2
		7 x 2,
		8 x 1

8 x 3

8 x 4

La siembra se realizó el 15 de septiembre del 2014 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando como sustrato de germinación peat moss y perlita en una proporción 8:2(v/v) el cual fue humedecido antes de la siembra, manualmente, se colocó una semilla por cavidad, a 0.5 cm de profundidad; posteriormente, las charolas se cubrieron con polietileno negro para promover uniformidad en la germinación. Cuando las plantas tuvieron cuatro hojas verdaderas y una altura aproximada a 15 centímetros, lo cual ocurrió 50 días después de la siembra, se trasplantaron 10 plántulas por variedad, en camas de 1.60 m de ancho, con acolchado plástico, en la parte central de la cama a doble hilera con una separación entre 30 cm entre hileras y 30 cm entre plantas. Se aplicaron riegos diariamente, según las necesidades del cultivo, en función las temperaturas registradas en el invernadero. Para el suministro de la nutrición se utilizó la solución nutritiva de Steiner (1961) que fue aplicada vía riego por goteo cada tercer día y 30 días después del trasplante las plantas fueron tutoradas con rafia que fue atada a la parte superior del invernadero, posteriormente se podó para dejar únicamente dos ramas por planta a partir de la primera bifurcación.

Variables Agronómicas

La cosecha en los genotipos más precoces se inició a los 90 días después del trasplante y el peso total de fruto (kg) por parcela útil (PTF) se estimó sumando el peso de fruto obtenido de cuatro plantas tomadas al azar de cada variedad en seis cortes realizados con intervalos de 15 días. Los frutos cosechados de las mismas plantas fueron contados para estimar el número total de frutos por parcela (NF), al dividir el PTF entre las cuatro plantas cosechadas, se midió el peso de fruto por planta (PFP), a su vez se determinó el peso promedio de fruto (PPF) al dividir el peso total de fruto entre el número total de frutos.

Variables Morfológicas

El diámetro de tallo (DT) fue medido (mm) mediante un vernier en y altura de planta (AP) mediante el uso de una cinta métrica (cm) solamente se presentan datos de las mediciones realizadas a los 160 días después del trasplante, pero el ancho (AH) y largo de la hoja (LH) fueron medidas (cm) en el mismo momento de la cosecha en tres hojas completamente desarrolladas, de la parte media de la planta, al momento de realizar cada una de las cosechas.

Análisis Estadístico

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones, y se utilizaron 4 plantas con competencia completa como parcela útil. Se utilizó el programa R para el análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (0.05). Para el análisis de correlación se utilizó el programa SigmaPlot versión 12.0, para realizar el análisis de sendero se utilizó el software MATLAB versión R2015.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variables Agronómicas

El análisis de varianza realizado para progenitores e híbridos inter- raciales de Chile, exhibió diferencias altamente significativas entre los genotipos estudiados. La Figura 1, muestra que los híbridos 6x1, 8x1, 5x2, 6 x 2 y 7x2 fueron estadísticamente iguales, pero estadísticamente superiores a sus progenitores. Lo cual indica, que al realizar cruza interracial en el género *Capsicum*, es posible lograr altos valores de heterosis, ya que todos los híbridos presentaron rendimientos de fruto superiores a sus progenitores, aunque los pimientos utilizados en éste trabajo de investigación son para invernaderos preferentemente de mediana a alta tecnología, su cultivo en suelo no presentaron altos rendimientos. La media de 1.08 kg por parcela, mientras que el mejor híbrido superó en más del 300% al progenitor con el mejor rendimiento que fue el UANCp que presento un rendimiento de 3.23 Kg por parcela.

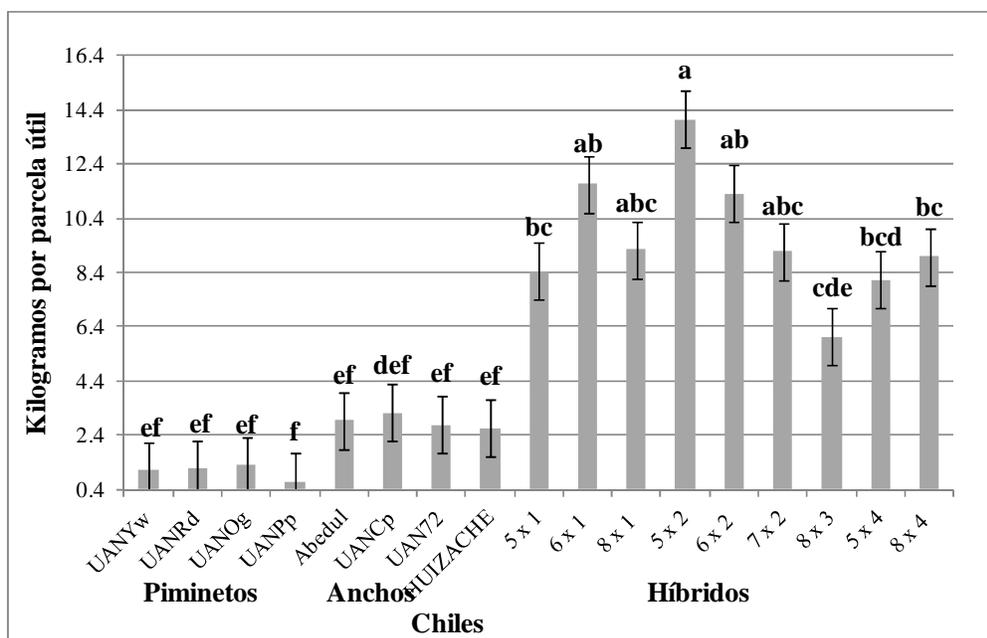


Figura 1. Rendimiento de fruto Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; 0.05).

La Figura 2, muestra que los chiles tipo ancho produjeron más frutos que los del tipo pimienta, pero dentro del grupo de los chiles tipo ancho todos fueron estadísticamente iguales en relación a la variable número de frutos, sin embargo fueron estadísticamente superiores a los pimientos, el genotipo UANCp tuvo 89.27% más frutos que el genotipo UANRd que fue el más rendidor dentro del grupo de pimientos y todos los pimientos fueron estadísticamente iguales. Además se observa que los híbridos presentaron una cantidad de frutos intermedia entre los dos tipos raciales.

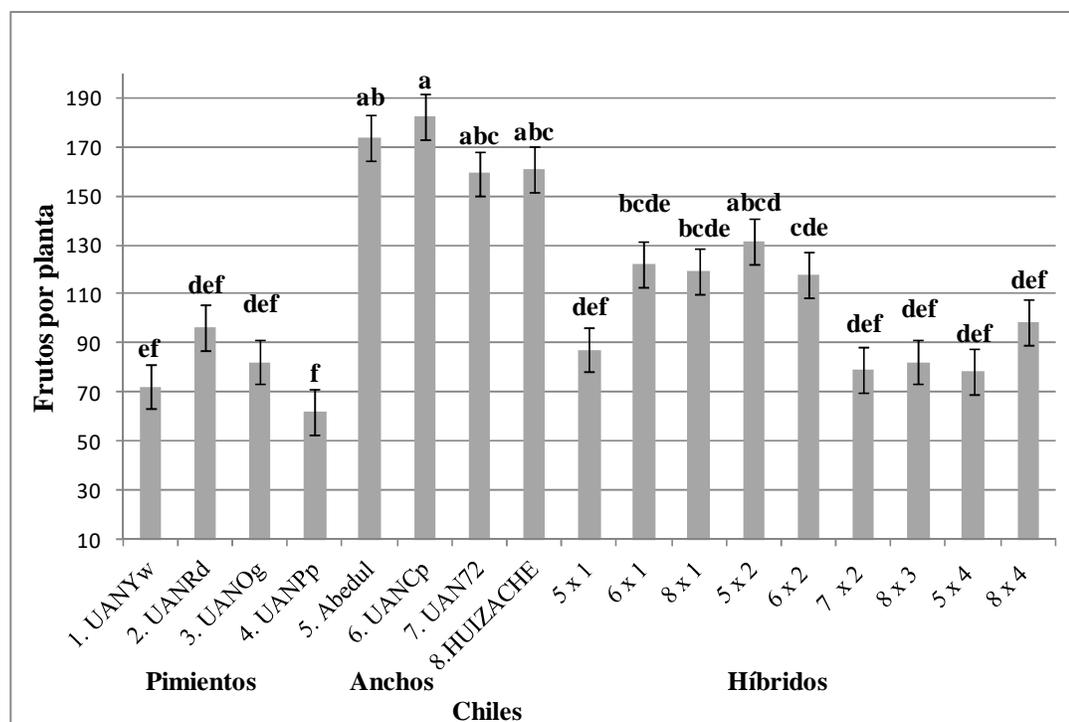


Figura 2. Producción de frutos. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; 0.05).

La Figura 3 muestra que el híbrido 7 x 2 fue el que presentó el mayor peso promedio de frutos, aunque fue estadísticamente igual a otros 7 híbridos y a tres progenitores del tipo ancho. También se muestra que los chiles tipo pimienta fueron los que presentaron los frutos de menor peso promedio, donde el pimienta UANRd fue el que presentó el menor peso promedio con 65.83 gr, y fue superado en un 77.36 por el híbrido 7 x 2.

El peso promedio del fruto de los progenitores fue de 81.15 gr, mientras que el de los híbridos fue de 95.31gr, y solo dos híbridos presentaron un peso promedio inferior a la

media de los progenitores, en ambos híbridos estuvo involucrado el progenitor Huizache.

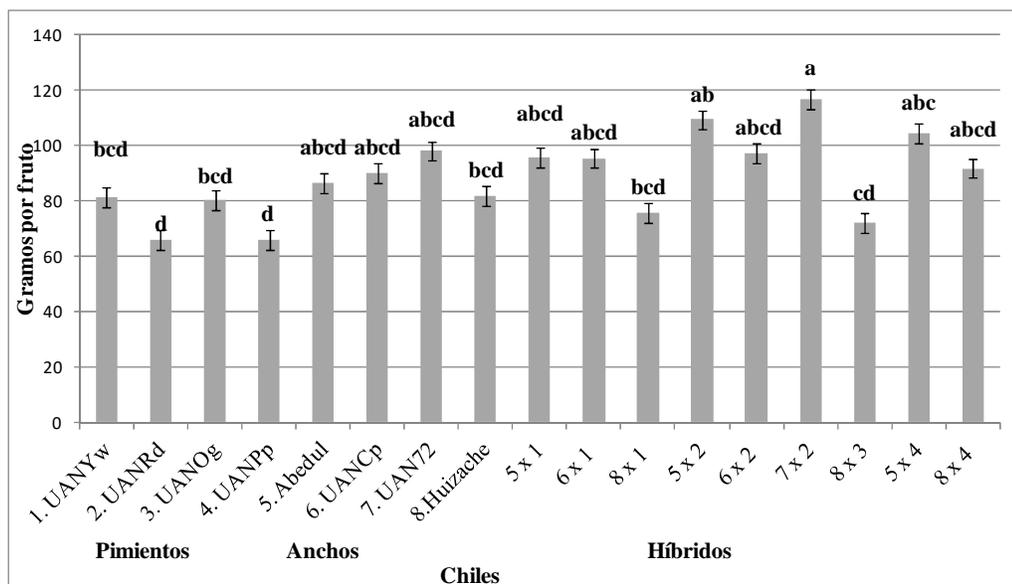


Figura 3. Peso promedio de fruto. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; 0.05)

Variables Morfológicas

En la variable Altura de planta se encontró que el híbrido 8 x 4 fue el que presentó la mayor altura de planta, sin embargo fue estadísticamente igual a los híbridos 8 x 3, 5 x 2 y 5 x 1, superando estadísticamente a todos los progenitores, por lo tanto manifestando también heterosis en la variable antes citada, ésta variable es importante sobre todo si la mayor altura está determinada por un mayor número de entrenudos, ya que en el género *Capsicum* es común observar que en cada ramificación se presenta una hoja y una flor, que normalmente da origen a un fruto.

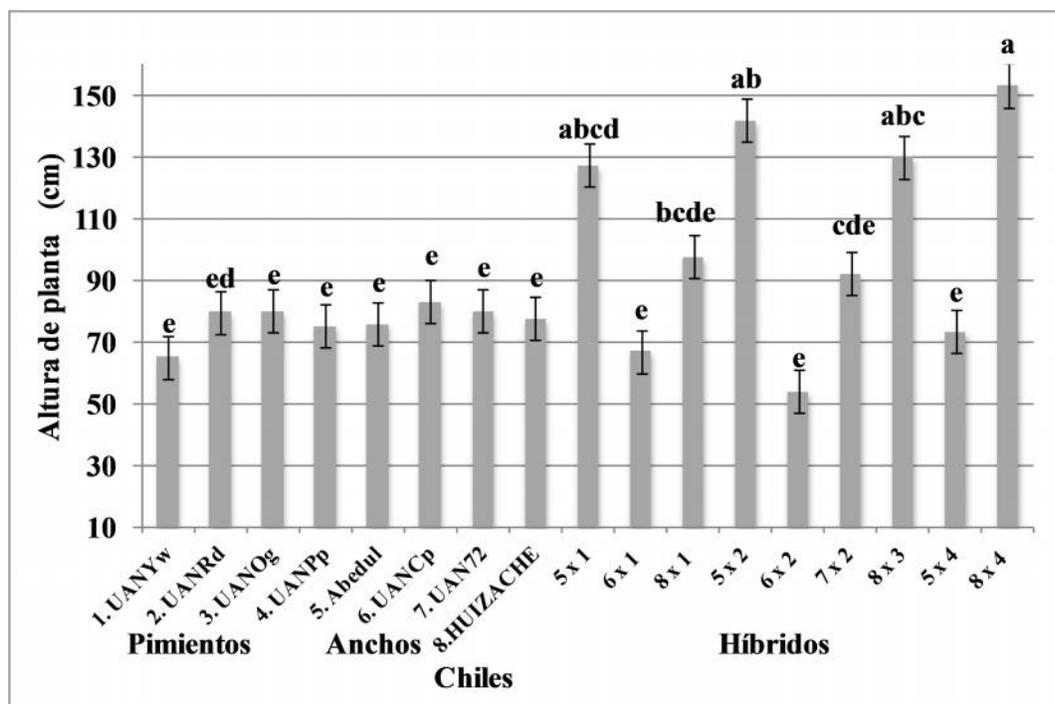


Figura 4. Crecimiento de plantas. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; 0.05).

El diámetro de tallo es una variable de importancia a considerar, ya que es el que deberá de soportar la carga de fruto, en chiles con altas cargas hay el riesgo de ruptura de tallos, y en el presente caso los híbridos de mayor diámetro de tallo fueron estadísticamente iguales a los diámetros de tallo de todos los progenitores. También fue posible observar que el híbrido 5 x2 fue el que presentó el mayor rendimiento de fruto y también el mayor diámetro de tallo. Lo antes indicado es importante ya que Bahena-Delgado *et al.* (2012) indican que el mayor diámetro de tallo permite a la planta tener mejor desarrollado su sistema vascular, mediante el cual conduce el agua y los nutrimentos, con lo que se mejoran los procesos fisiológicos. Por lo tanto es posible que éste híbrido haya presentado los mayores rendimientos de fruto.

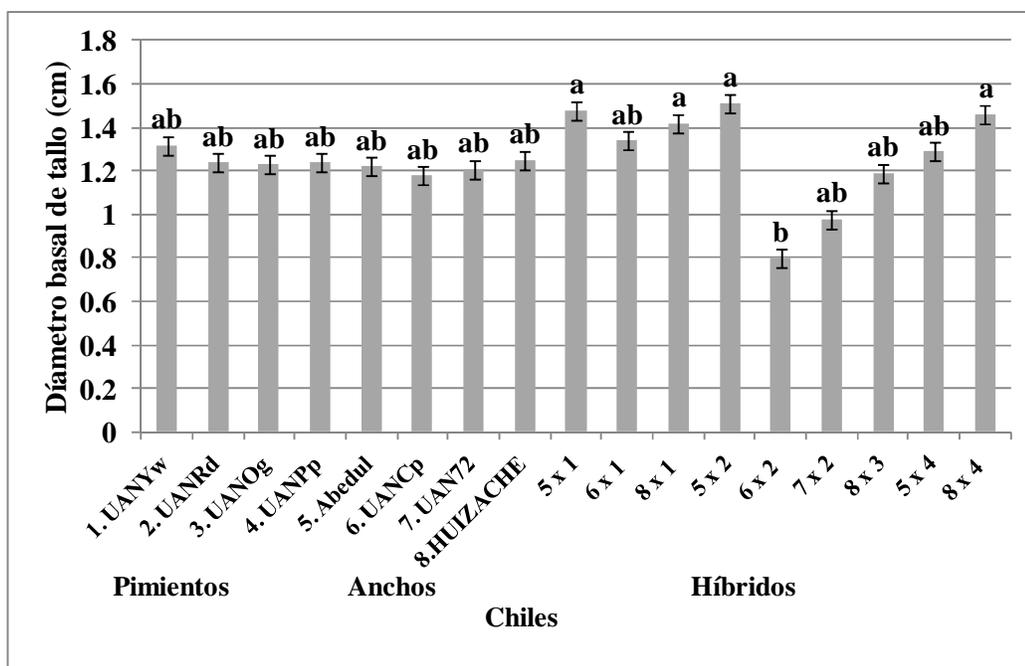


Figura 5. Diámetro de tallo en plantas. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; 0.05).

Heterosis en Híbridos Inter-raciales de Chile

En la variable más importante para los productores, el rendimiento o peso total de fruto se encontró que el híbrido 5 x 2 presentó una heterosis de 145.10%, como resultado del alto vigor híbrido manifestado por ésta cruce (Cuadro 2). Siendo también el híbrido que presentó el mayor peso de fruto. Hasanuzzaman, *et al.* (2013) estudiando variedades nativas de Chile de Bangladesh también encontró una cantidad significativa de heterosis en el rendimiento y las características que contribuyeron al rendimiento. Resultados similares fueron observados por Kamble *et al.* (2009) para rendimiento de fruto y componentes del rendimiento en Chile.

Cuadro 2. Heterosis promedio en cinco características agronómicas en híbridos interraciales de Chile.

Híbrido	PTF	NF	PPF	AP	DT
5 x 1	78.94	-7.25	3.49	20.14	4.13
6 x 1	109.33	-0.98	2.85	-2.37	1.80
8 x 1	97.41	0.61	-1.77	9.29	2.63
5 x 2	145.10	-0.62	10.84	20.61	5.69
6 x 2	103.23	-3.89	6.23	-8.42	-8.47
7 x 2	90.33	-9.47	10.65	3.83	-5.00
8 x 3	51.14	-8.06	-2.74	16.29	-1.01
5 x 4	86.07	-8.38	9.17	-0.70	1.22
8 x 4	108.38	-2.92	6.04	25.13	4.32

CONCLUSIONES

Los chiles tipo ancho presentaron mayor rendimiento promedio ($2.91\text{Kg.parcela}^{-1}$) que los de tipo pimiento ($1.08\text{ Kg.parcela}^{-1}$) cultivados en suelo y con conducción vertical en invernadero de mediana tecnología.

Es posible la formación de híbridos interraciales entre chiles tipo ancho por tipo pimiento.

El híbrido 5 x 2 supero en más del 300% al progenitor tipo ancho UANCp, que fue el que presento el mayor rendimiento de fruto.

Se encontró que el número de frutos por planta fue la variable que presentó la mayor correlación con el rendimiento de fruto ($r= 0.99$).

El análisis de sendero muestra que número de frutos por planta es la variable que tiene un mayor efecto directo positivo sobre el rendimiento de fruto, por lo tanto es la variable más importante a considerar en las estrategias de selección para desarrollar variedades de alto rendimiento.

El rendimiento observado en los híbridos resultantes de la cruce chiles tipo ancho por pimiento es alto por lo que se infiere que es posible desarrollar híbridos con alto potencial de rendimiento para su uso en invernaderos o agricultura protegida.

LITERATURA CITADA

- Acquaah L. 2006. Principles of plant genetics and breeding. Wiley-Blackwell. Malden, MA, USA: 1-584.
- Cornide M. T. 2001. La genética vegetal, el mejoramiento y la sociedad. Cultivos Tropicales: 73-82.
- Aguilar M. A.; Morrel P. L.; Roose M. L.; Kim S C. 2009. Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chile (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. American Journal of Botany 96. p. 1190-1202.
- Aguilar S. B.; García M. A.; Aguilar S. F. 2013. Análisis de medias generacionales para estimar parámetros genéticos de rendimiento en una cruce de pimentón y ají Cayenne (*Capsicum annuum*). Acta Agronómica. Enero-Marzo: 73-78.
- Aguilar R. V. H.; Corona T. T.; López L. P.; Latournerie M. L.; Ramírez M. M.; Villalón M. H.; Aguilar C. J. A. 2010. Los Chiles de México y su Distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UNAL y UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. p .114.
- AVRDC (Asian Vegetable Research and Development Centre). 2000. Multiplying seed of pepper lines. International cooperators' guide. Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan. p.11.
- Bahena-Delgado G., A. J. Bustos-Rangel, E. Broa-Rojas, M. A. Jaime-Hernández. 2012. Comportamiento agronómico del chile criollo (*Capsicum annuum* L.) en fertirrigación con acolchado plástico y cubierta flotante en Xalostoc, Morelos. Ingeniería Agrícola y Biosistemas 4(1): 19-24.
- Barbieri R. L.; Padilha M. E.; Munhoz C.; Pereira E.; Vizzotto M.; Valgas R. A. 2015. Genetic variability for synthesis of bioactive compounds in peppers (*Capsicum annuum*) from Brazil. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Julio-Septiembre: 516-523.
- Bohs, L.; Giovannoni J.; Olmstead R. G.; Shibata D. (eds) Solanaceae VI: Genomics Meets Biodiversity, Proceedings of the VIth International Solanaceae Conference. Acta Horticulturae 745: 137-169.
- 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.
- Ceballos H. 2003. Genética cuantitativa y fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. p 524. Centro-Sur del Estado Chihuahua, México 2014.

Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan .3: 414-427.ISSN: 2007-6940.

- Chennaveeraiah M. S.; Habib A. F. 1966. Recent advances in the cytogenetics of Capsicums. Proc. Autumn School in Botany. Mahabaleswhar: 69-90.
- Datta P. C. 1968. Karyology of Indian varieties of *Capsicum annuum* Linn. (Solanaceae). Caryologia 21: 121-126
- Cruz C.; Regazzi C. 1997. Modelos biométricos aplicados al mejoramento genético. Ediciones Universidad Federal de Vicosa. Vicosa, MG, Brasil. p.390.
- De Souza J. A.; Maluf W. R. 2003. Diallel analysis and estimation of genetic parameters of hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). Sci. Agric.60: 105-113.
- Falconer D. S. 1981. Introducción a la genética cuantitativa. Compañía Editorial Continental, México. p. 457
- Falconer D.; Mackay T. 1996. Introduction to quantitative genetics.4th edition. Prentice Hall, New Jersey, EE.UU. p. 464.
- Gardner C. O.; Eberhart S. A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22: 439-452.
- Greenleaf W. H. 1947. Line breeding as a method of improving the pimento peppers. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 49. p. 224.
- Gómez C. M. E. Estimación de los modelos de ecuaciones estructurales, del índice mexicano de la satisfacción del usuario de programas sociales mexicanos, con la metodología de mínimos cuadrados parciales. Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana. México. 2011. p. 166.
- Griffing B. 1956a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity 10: 31-50.
- Griffing B. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. Austr. J. Biol. Sci. 9: 463-493.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9: 463-493.
- Gutiérrez del R. E.; Espinoza B. A.; Palomo G. A.; Lozano G. J.; Antuna G. O. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. Rev. Fitotec. Méx. 27: 7-11.
- Hasanuzzaman M., M. A. Hakim, M. M. Hanafi, A. Shukor-Juraimi, M. M. Islam, A. K. M. Shamsuddin.2013. Study of heterosis in bangladeshi chilli (*Capsicum annuum* L.) Landraces. Agrociencia 47: 683-690.

- Hernández P. M.; López B. A.; Rodríguez H. S. A.; Borrego E. F.; Ramírez M. M.; López B. S. R. 2011. Análisis conglomerado de 15 cruzas de chile para variables fenológicas y de rendimiento. *Agronomía mesoamericana*. 22: 45-50.
- Hernández V. S.; Dávila P.; Oyama K. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 64: 65- 84.
- Hernández V. S.; Guevara G.R.G.; Rivera-B. R. F.; Vázquez Y. C.; Oyama K. 1998. Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) como recursos genéticos. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 62: 171-181.
- Joshi S.; Brahma N. 1987. Results of the combined ability studies in sweet pepper (*Capsicum annuum* L). *Capsicum and Eggplant Newsletter* 6: 49-50.
- Kamble Ch., R. Mulge, M. B. Madalageri, R. C. Jadeesha.2009. Studies on heterosis in capsicum (*Capsicum annuum* L.) for yield and yield traits. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 22(1):155-157.
- Kuriachan P. 1981. A cytogenetic study of the wild and cultivated varieties of *Capsicum baccatum* L. *Indian J. Bot.* 4: 27-32.
- Lévy J. P.; Oubiña J. 2006. Análisis path y modelización con variables observadas. En J. P. Lévy & J. Varela (Ed.), *Modelización con estructuras de covarianzas en ciencias sociales*. La Coruña, España: Netbiblo: 175-191.
- Lemma, D. 1998. Seed production guideline for tomatoes, onion and hot pepper. IAR, Addis Abeba: 11-27.
- Li C. 1997. Path analysis. Pacific Grove, CA, USA. p .346.
- Martínez O.; Torregroza M. 1988. Análisis de sendero de componentes de rendimiento en ciclos de selección masal divergente por prolificidad en maíz. *Revista ICA Colombia* 23: 200-208.
- May P.; Anastácio M.; Castañón N.G.; Tun S. J. M.; Mendoza E. M.; Mijangos C. J. O.; Latournerie M. L. 2010. Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Revista fitotecnia mexicana*. 33: 353-360.
- Márquez S. F. 1988. *Genotecnia Vegetal*, Tomo II. AGTESA. México. p. 563
- Melchinger A. E. 1999. Genetic diversity and heterosis. In: Coors, J. G., and S. Pandey. *The genetics and exploitation of heterosis in crops*. Proc. Int. Symp. CIMMYT, Mexico City, Mexico, 17-22 August 1997. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA: 99-118.

- Melchinger A. E.; Gumber R. K. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. In: Lamkey, K. R., and J. E. Staub. Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants. CSSA Special Publication No. 25. Crop Science Society of America, Madison, WI: 29-44
- Milla A. 2006. *Capsicum* de capsas, cápsulas y el pimiento. Pimientos, Compendios de Horticultura. Capítulo 2: 21-31.
- Mitchell R. 1992. Testing evolutionary and ecological hypotheses using path analysis and structural equation modeling. *Funct. Ecol.* 6: 123-129.
- Miyazaki J. H.; Yang S. F. 1997. The methionine salvage pathway in relation to ethylene and polyamine biosynthesis. *Physiologia Plantarum.* 69: 366-370.
- Moscone E.A.; Scaldaferrro M. A.; Grabielle M.; Cecchini N.M.; Sanchez G. Y.; Jarret, R.; Ducasse D. A.; Barboza G. E.; Ehrendorfer F. 2007. The evolution of chili peppers (*Capsicum* - Solanaceae): a cytogenetic perspective.
- Nee M.; Bohs L.; Knapp S. 2006. New species of *Solanum* and *Capsicum* (Solanaceae) from Bolivia with clarification of nomenclature in some Bolivian *Solanum*. *Brittonia* 58: 322-356.
- Nooryazdan H.; Serieys H.; Bacilieri R.; David J. 2010. Structure of wild annual sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions based on agromorphological traits. *Gen. Res. Crop Evol.* 57: 27-39.
- Onus A. N.; Pickersgill B. 2004. Unilateral incompatibility in *Capsicum* (Solanaceae): Occurrence and taxonomic distribution. *Annals of Botany* 94: 289-295.
- Patel J A.; Shukla M. R.; Doshi K. M.; Patel B. R.; Patel S. A. 1998. Combining analysis for green fruit yield & yield components in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Capsicum and Eggplant Newsletter* 17: 34-37.
- Pech M. A. M.; Castañón N. G.; Mijangos C. J. O.; Latournerie M.; Tun S. J.; M.; Pérez G. A.; Mendoza E. M. 2010. Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce. (*Capsicum annuum* L.). *Revista fitotecnia mexicana.* Octubre-Diciembre: 353-360.
- Pérez G. M.; Cruz P. A. B.; Gutiérrez E. M. A.; González-Hernández, Víctor A.; Gómez L. M. Á.; Gardea B. A. A.; Sánchez S. H.; 2010. Herencia de capsanoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia.* Agosto-Septiembre: 655-665.
- Perry L.; Dickau R.; Zarrillo S.; Hoist I.; Pearsall D. M.; Piperno H. R.; Berman M. J.; Cooke R. G.; Rademaker K.; Ranere A. J.; Raymond J. S.; Sandweiss D. H.; Scaramelli F.; Tarble K.; Zeidler J. A. 2007. Starch fossils and the domestication

- and dispersal of Chili Peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. *Science* 135: 966-998.
- Pickersgill B. 1971. Relationships between weedy and cultivated forms in some species of chili peppers (Genus *Capsicum*). *Evolution* 25: 683-691.
- Pickersgill B. 1991. Cytogenetics and evolution of *Capsicum* L: 139-160.
- Pickersgill B. 1997. Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica* 96: 129-133.
- Poehlman J. M.; Allen D. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa. México. p. 506.
- Pozzobon M.T.; Schifino W. M. T.; Bianchetti L. 2006. Chromosome numbers in wild and semi-domesticated Brazilian *Capsicum* L. (Solanaceae) species: do $x = 12$ and $x = 13$ represent two evolutionary lines. *Botanical Journal of the Linnean Society* 151: 259-269.
- Prakash A. T.; Lal P. 2007. Correlation and path coefficient analysis in sugarcane. *South Pacific J. Natural Sci.* 1: 1-10.
- Ramalho do R.; Elizanilda; da S. N.; João J.; Ferreira N. M.; Lucena S. F.; Vital A. A. N.; Monteiro do R. M. 2014. Variabilidade em população base de pimenteiras ornamentais (*Capsicum annuum* L.). *Revista Ceres*. Enero-Febrero: 84-89.
- Reif, J. C.; Gumpert F. .; Fischer S.; Melchinger A. E. 2007. Impact of inter population divergence on additive and dominance variance in hybrid populations. *Genetics* 176: 1931-1934.
- Reyes L. D.; Molina G. J. D.; Oropeza R. M. A.; Moreno P. E. C. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 49-56.
- Rincón V. H. A.; Torres T. C.; López P. L.; Moreno L. L.; Meraz M. R.; Mendoza H. V.; Castillo J. A. A. 2010. Los chiles de México y su distribución.
- Roherig S. 1996. Probabilistic inference and path analysis. *Decision support system* 16: 55-66.
- Robledo P. A.; Corona T. T.; Ramírez V. P.; Suárez E. J.; Vélez T. M.; Aguilar R. V. H.; 2010. Obtención de plantas haploides en chile miahuateco (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Abril-Junio: 187-199.
- Rodríguez Y.; Depestre, T. L. 2005. Selección de líneas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) para ser utilizadas como progenitoras en los programas de obtención de híbridos. *Cultivos Tropicales*: 51-56.

- Segovia L. A.; Romero M. A. Y. Mejoramiento genético para rendimiento en chile (*Capsicum annuum* L) para consumo en seco en la región centro del país.
- Shukor J. A.; Hakim M. A.; Hanafi M. M.; Shamsuddin A. K. M.; Islam M. M.; Hasanuzzaman, M.; 2013. Study of heterosis in Bangladeshi chilli (*Capsicum annuum* L.) landacres. *Agrociencia*: 683-690.
- Solís N. V. G. 2010. Geographic patterns of morphological variation in *Turnera sidoides* subsp. *pinnatifida* (Turneraceae). *Plant Syst. Evol.* 284: 231-253.
- Souza A.F.; de Matos, D. U.; Martínez F. J. 2010. Seed crop size variation in the dominant South American conifer *Araucaria agustifolia*. *Acta oecologica.* 36: 126-134.
- Tanksley S. D. 1984. High rates of cross-pollination in chile pepper. *Hort Sci.* 19: 580-582.
- Teodoro P. C. V.; Corona T. T.; García V. A. 2007. Polimorfismo cromosómico en *Capsicum annuum* L. (Solanaceae) en recolectas de Puebla, Morelos y Querétaro, México. *Agrociencia*: 873-881.
- Vera G. A. M.; Chávez S. J. L.; Carrillo-R. J. C.; López M. G. 2011. Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71: 578-585.
- Walsh B. M.; Hoot S. B. 2001. Phylogenetic relationships of *Capsicum* (Solanaceae) using DNA sequences from two noncoding regions: The chloroplast *atpB-rbcL* spacer region and nuclear waxy introns. *International Journal of Plant Sciences* 162: 1409-1418.