

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Determinación de ACG y ACE en nueve genotipos de chile piquín  
(*Capsicum annuum* var. *aviculare*).

Por:

**MARÍA DEL PILAR GARCÍA BUSTAMANTE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Determinación de ACG y ACE en nueve genotipos de chile piquín (*Capsicum  
annuum* var. *aviculare*).

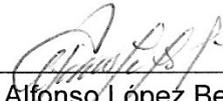
Por:

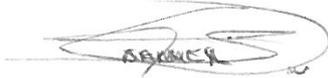
**MARÍA DEL PILAR GARCÍA BUSTAMANTE**

**TESIS**

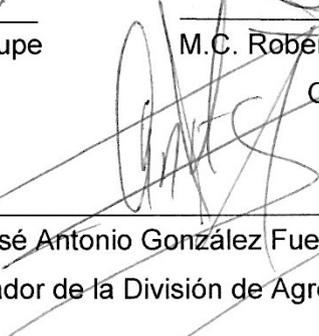
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:  
**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría

  
Dr. Alfonso López Benítez  
Asesor principal

  
Dr. Juan Samuel Guadalupe  
Jesús Alcalá Rico  
Coasesor

  
M.C. Roberto Espinoza Zapata  
Coasesor

  
Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**TESIS**

Presentada por:

**MARÍA DEL PILAR GARCÍA BUSTAMANTE**

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

El trabajo presentado ha sido dirigido por el siguiente comité de asesoría de  
acuerdo con su función como:



Dr. Alfonso López Benítez

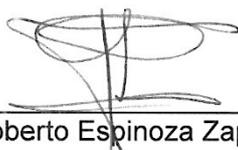
**Director**



Dr. Juan Samuel Guadalupe

Jesús Alcalá Rico

**Codirector**



M.C. Roberto Espinoza Zapata

**Asesor**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2020

## AGRADECIMIENTOS

A mí **Alma Terra Mater** la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme las puertas como un segundo hogar y permitirme realizar mis estudios profesionales en ella.

A mis asesores **Dr. Alfonso López Benítez** y al **Dr. Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico** por permitirme trabajar con ustedes, además del tiempo, dedicación para orientarme con sus conocimientos y así poder culminar este trabajo de investigación.

A mis amigos **Polet Rosales Frutos, Marco Antonio Velasco Guillen** y **Bruce Tyson Ariza Pineda**, por esas risas, esos momentos, regaños, consejos, trabajos, exámenes, desde en un principio que comencé esta aventura y demostrarme lo que es un amigo de verdad.

A todos **mis maestros** que sin duda alguna forman parte de lo que soy ahora.

A todo el equipo de **fútbol rápido**, especialmente a **Dr. Esparza** y al **Coach Emmanuel** por las enseñanzas, los consejos y momentos inigualables.

A **Javier, Miriam, Eliú, Lizbeth, Los Colines, Juan, Blanca** y **Frida**, por esas aventuras, risas y enojos simplemente gracias por ser parte de esta gran aventura.

## DEDICATORIA

A **Dios** por haber dado la dicha de vivir y tener una gran familia que nunca me ha dejado sola a pesar de todas las adversidades, que constantemente me brindaron su amor y apoyo incondicionalmente.

A mis padres **Guillermo García Verduzco** y **Blandina Bustamante Muñiz**, que yo sin ustedes no hubiese podido llegar a donde me encuentro ahora este logro no solo es mío si también de ustedes, por el esfuerzo que realizaron y siguen trabajando por darnos a mi hermano y a mí, un futuro por el cual debemos de luchar, a pesar de los consejos, los regaños, esto que hoy logro culminar no me alcanzaría para agradecerles todo lo que han hecho por mí y estaré en deuda con ustedes toda mi vida.

A mi abuelo **Leopoldo Bustamante Verduzco**, tú que jamás me dejaste de dar consejos y que siempre me decías échale ganas para que me cuides mis arbolitos, pero te fuiste antes de tiempo y esto igual va para ti hasta el cielo.

A mi **familia** en general por estar presentes y brindarme apoyo con sus sabios consejos.

## INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA.....	II
INDICE DE CONTENIDO .....	III
ÍNDICE DE CUADROS .....	V
RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos .....	4
Hipótesis .....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Origen del chile piquín .....	5
Clasificación taxonómica .....	5
Descripción botánica del chile .....	5
Distribución .....	6
IMPORTANCIA.....	7
Económica .....	7
Gastronómica.....	7
Diversidad genética del chile .....	7
MEJORAMIENTO GENÉTICO .....	8
Mejoramiento en autógamias .....	9
MÉTODOS DE MEJORAMIENTO .....	9
Selección masal.....	9
Teoría de la línea pura.....	10
Hibridación en especies autógamias .....	10
Método genealógico o pedigrí.....	11
Método poblacional.....	11
Método del retrocruzamiento .....	12
Variedades multilineales .....	13
Método de la descendencia de semilla única o S.S.D.....	13
Selección recurrente .....	14

Aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE).	15
.....	15
DISEÑOS GENÉTICOS .....	15
Métodos de Griffing.....	15
Método de Hayman.....	16
Diseños Carolina del Norte .....	18
Diseño Carolina del Norte I .....	18
Diseño Carolina del Norte II .....	18
MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
Descripción del sitio .....	20
Material genético.....	20
METODOLOGÍA .....	21
Siembra.....	21
Montura de estructuras .....	21
Trasplante .....	21
Fertilización.....	22
Plaguicidas.....	22
Riegos.....	22
Diseño experimental .....	22
Días a floración .....	23
Diámetro polar .....	23
Diámetro ecuatorial.....	23
Rendimiento.....	23
Análisis.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
CONCLUSIONES .....	29
BIBLIOGRAFÍA .....	30

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Identificación de progenitores de chile piquín de diferentes orígenes geográficos.....	20
<b>Cuadro 2.</b> Cuadrados medios de análisis de varianza de cruzamiento dialélico bajo el método 2 de Griffing. ....	24
<b>Cuadro 3.</b> Aptitud Combinatoria General y Específica para días a floración en chile piquín. ....	25
<b>Cuadro 4.</b> Aptitud Combinatoria General y Específica para diámetro ecuatorial en chile piquín. ....	26
<b>Cuadro 5.</b> Aptitud Combinatoria General y Específica para diámetro polar en chile piquín. ....	27
<b>Cuadro 6.</b> Aptitud Combinatoria General y Específica para rendimiento en chile piquín. ....	28

## RESUMEN

El chile piquín es considerado el ancestro del género *Capsicum annuum* siendo de gran importancia para los fitomejoradores por su riqueza como recurso fitogenético. La variabilidad genética es de vital importancia para el mejoramiento genético de plantas siendo una alternativa para iniciar un proceso de mejoramiento la exploración de ACG y ACE. Por ende, el objetivo general de la investigación fue determinar los parámetros genéticos (ACG y ACE) para caracteres agronómicos en las cruzas de chile piquín. El experimento se llevó a cabo en el vivero de forestal de la UAAAN, bajo maya sombra donde se utilizaron nueve genotipos, establecidos en monturas de metal a una altura de 70 cm en bolsas negras de 32x14.5 cm, cuyo sustrato fue 100% tierra de lombricomposta, con una distancia entre plantas de 50 cm, entre hileras de 90 cm y distancia entre calles de 1 m. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron días a floración, diámetro polar, diámetro ecuatorial y rendimiento. Los resultados indicaron que tanto los genotipos como los efectos aditivos y de dominancia presentaron significancia ( $p \leq 0.01$ ) en todas las variables. En días a floración para ACG sobresalieron los genotipos G3, G5 y G7, con una disminución de 1, 2 y 6 días respectivamente, por ende, la mejor combinación fue G3xG5 quienes contribuyeron a la precocidad considerablemente. Para la variable diámetro ecuatorial del fruto los genotipos que destacaron son los genotipos G4, G5 y G9 incrementando el ancho del fruto en combinación con cualquier otro genotipo en 0.22, 0.22 y 0.23 cm, la mejor combinación para esta variable fue G5xG9. En el diámetro polar para ACG los genotipos G6 y G7 presentaron valores muy altos, incrementando la variable en 2 y 2.4 cm respectivamente, así mismo la combinación que más destaco en este parámetro fue la de G6xG7. En rendimiento los genotipos que más resaltaron fueron el G1, G6 y G7, aportando 81, 144 y 67 kg ha<sup>-1</sup>sobre la media. Cabe destacar que la mejor cruza que se obtuvo en la investigación fue la del G6xG7 contribuyendo con 427 kg ha<sup>-1</sup>. En conclusión, Particularmente hubo genotipos que se comportaron, bien en la ACG y ACE de acuerdo con cada variable estudiada.

## INTRODUCCIÓN

El chile piquín o chile de monte *Capsicum annum* var. *Aviculare*, es propio de algunas regiones de México, en el noreste se encuentran en Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Es un tipo de chile silvestre, la cual se denomina ancestro de todas las variedades y tipos de chiles que se tienen registrados hasta el momento, en la especie *annuum* (D'Arcy y Eshbaugh, 1978; Medina *et al.*, 2002).

En México, además de los tipos de chiles que se cultivan, en todo el territorio nacional, se encuentran los chiles silvestres que tienen un crecimiento espontáneo y con tendencias a comportamientos perennes, existe una gran diversidad de formas de fruto, que pueden variar desde redondos, ovalados, cónicos, y alargados, pero todos ellos se caracterizan por su diminuto tamaño, con diferentes tonalidades que van desde el verde en estado inmaduro, hasta un rojo intenso y muy brillante al ser maduro. Se encuentra ampliamente distribuido en forma silvestre en México, principalmente en las zonas costeras, intercalándose hasta altitudes próximas a los 1,300 msnm. Su utilización data de tiempos remotos, principalmente como condimento, aunque también buena fuente de vitamina C, además de diversos usos por parte de las diferentes culturas americanas (Long-Solís, 1986).

El fruto de chile piquín, comúnmente es consumido por las comunidades aledañas a las áreas de producción (Bañuelos *et al.*, 2008), sin haber puesto en riesgo su sobrevivencia; claramente el consumo se ha incrementado estos últimos años, por la exhibición que se ha presentado en los supermercados y la promoción en territorio estadounidense como chiles exóticos (Arias, 2005; Dávila, 2007). Dado este proceso de mercadotecnia más el consumo tradicional y la demanda por otra parte, hay muy pocas evidencias de su producción comercial, manteniéndose como cultivo de traspatio para autoconsumo (Medina *et al.*, 2002; Rodríguez-del Bosque, 2005; Pedraza *et al.*, 2008). Por lo que se cree este mercado se abastece en su totalidad de la colecta de frutos silvestres (Medina *et al.*, 2002; Bran *et al.*, 2007). Así que la situación ha hecho más intensa y agresiva la colecta, ya que los colectores en

su afán de cosechar una mayor cantidad, no solo los frutos son colectados, sino que los colectan ramas productivas, y si esto no es suficiente hasta la planta completa, limitando claramente las posibilidades de regeneración. Por consecuencia ha estado causando la desaparición de las especies en algunas regiones, sobre todo aquellas cercanas a los núcleos de población. De seguir con esta situación, se pone en un posible riesgo a la especie, si no a importantes ecotipos (Medina *et al.*, 2002).

En este aspecto, una de las alternativas más viables es la domesticación u el mejoramiento genético de la especie. Sin embargo, *Capsicum annuum* se ha explotado la heterosis para incrementar el rendimiento y otros caracteres de importancia económica (Seneviratne y Kannangara, 2004), y se considera que en el chile la heterosis es alta (De Souza y Maluf, 2003). Por lo tanto, la existencia de una extensa diversidad de esta especie en México, como en el ámbito de variantes cultivadas como semicultivadas y silvestres, puede ser aprovechada para la formación de híbridos locales y nacionales, ya que la semilla híbrida que se usa proviene generalmente de empresas trasnacionales.

La teoría y la forma de analizar las cruzas dialélicas fue propuesta por Jinks (1954) y Hayman (1953). Uno de los métodos más usados para el estudio de estos efectos genéticos es el análisis de cruzas dialélicas; refiriéndose a todas las cruzas simples posibles que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de progenitores. Las cruzas dialélicas nos permite estimar la magnitud de los componentes genéticos de la variación entre las propias cruzas (Martínez, 1983), han sido utilizadas para investigar la herencia de importantes características. Esencialmente, las cruzas dialélicas se diseñaron para investigar la aptitud combinatoria general (ACG) de los progenitores y para identificar los progenitores superiores a ser usados en el desarrollo de híbridos y cultivares (Yan y Hunt, 2002). Se han desarrollado varios métodos para el análisis de un dialélico, pero los más usados son los propuestos por (Griffing, 1956). La aptitud combinatoria general (ACG) corresponde al comportamiento promedio de una línea en diversas combinaciones híbridas y

la aptitud combinatoria específica (ACE) a las combinaciones específicas con respecto a la ACG de sus padres.

### **Objetivo general**

Determinar los parámetros genéticos (ACG, AGE) para caracteres agronómicos de importancia para el rendimiento en las cruzas de chile piquín.

### **Objetivos específicos**

Identificar los genotipos con buena aptitud combinatoria general

Determinar las mejores combinaciones híbridas

### **Hipótesis**

Por lo menos un genotipo presentará buena aptitud combinatoria general

Al menos se detectará una craza sobresaliente.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del chile piquín

El chile piquín o de monte, se denomina el ancestro de todas las variedades y tipos de chiles comúnmente conocidos (Pozo *et al.*, 1991; Rodríguez *et al.*, 2003). México es considerado como el centro de origen y domesticación del chile, el cual estima comúnmente a los frutos del género *Capsicum*, en particular de la especie *annuum* (Laborde y Pozo, 1984). La variedad *aviculare* siendo la más aceptada, es un tema de controversia entre los taxónomos, quienes les han dado diferentes nombres, como: *glabriusculum* (Long, 1998), *minus*, *baccatum*, *mininum* (Heiser y Pickersgill, 1975), *aviculare* (D'Arcy y Eshbaugh, 1978). De la misma manera existe una gran infinidad de nombres comunes, (Sorbazo, 1991). Los subtipos raciales de chile piquín reconocidos en México son *C. annum var. aviculare*, *C. frutescens* y en menor grado *C. baccatum* (Pozo y Ramírez, 2003).

### Clasificación taxonómica

De acuerdo con Ramírez (1989), la clasificación botánica del género *Capsicum* es la siguiente:

- División Angiospermae
  - Clase Dicotiledónea
    - ❖ Subclase Metachlamydeae
      - Orden Mubiflorae
      - Familia Solanáceae
        - Genero *Capsicum*
          - Especie ssp
          - Var.bot. *aviculare* dierb

### Descripción botánica del chile

La planta de chile silvestre presenta en formar característica abundante de ramificaciones dicotómicas y horizontales, con entre nudos largos y posición erecta cuando se desarrolla en su hábitat natural bajo semisombra del bosque o matorral denso, y se modifica a entrenudos cortos, cuando crece en

ambientes soleados (semierecta a postrada). Teniendo presencia antocianinas en los nudos y en bandas longitudinales a lo largo del tallo. Las hojas son de color verde claro, de forma deltoide, de alrededor de 5 cm de largo y 3 cm de ancho, delgadas y de nervaduras no muy marcadas. No presentan pubescencias definidas en hojas y tallos. Los frutos son redondos u ovalados de 6 a 9 mm de longitud polar y 5 a 7mm de diámetro, de color verde esmeralda obscuro, tornándose rojo intenso al madurar. Una característica peculiar del fruto además del sabor característico es que no presenta antocianinas, las que provocan un color obscuro del fruto que demerita su calidad visual (Pozo y Ramírez, 2003).

### **Distribución**

Se encuentra principalmente distribuido en forma silvestre en zonas bajas, desde el sur de los E.U.A. hasta Perú. En México, por su buena adaptación al trópico y zonas semiáridas se encuentra en los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Colima, Sinaloa, Sonora, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo y Tamaulipas (Nee, 1986).

Se encuentra ampliamente difundida en toda la zona costera de México, desde Sonora a Chiapas por el Pacífico, y de Tamaulipas a Yucatán y Quintana Roo por el Golfo de México, en donde recibe un sinnúmero de nombres locales, entre los que sobresalen los de "chile piquín", "de monte", "chiltepin", "silvestre", entre otros (Laborde y Pozo, 1982).

Normalmente se le encuentra después de las épocas de lluvias bajo el matorral submontano, aunque también está presente en zonas más elevadas de encinos y bosques caducifolios (Medina *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2003). Las poblaciones naturales de chile piquín se sitúan comúnmente en altitudes menores a los 1,300 msnm, con una precipitación anual de más de 500 mm y temperatura media anual entre 21 y 24 °C con poca probabilidad de heladas (Medina-Martínez *et al.*, 2010).

## IMPORTANCIA

### **Económica**

No hay a ciencia cierta un rendimiento esperado de esta especie, por lo tanto, se basa en la demanda que se satisface mediante la colecta de plantas silvestres, en las familias esta actividad representa un ingreso importante durante el periodo de cosecha (Medina *et al.*, 2002; Rodríguez-del Bosque, 2005; Pedraza *et al.*, 2008; Bañuelos *et al.*, 2008).

Un ejemplo es en el noreste de México (Tamaulipas y Nuevo León), se realiza la colecta de chile silvestre en los meses de septiembre y noviembre, que representa el 25 a 45 % del ingreso total para los colectores, de igual manera algunos años se colecta en primavera teniendo de un 15 a 20 % (Villalón *et al.*, 2007). Se comercializa el 97% en verde y el resto en seco durante la colecta, este último es colectado al finalizar la temporada.

### **Gastronómica**

El fruto de chile piquín se utiliza comúnmente de dos maneras: verde o seco (rojo deshidratado), estando en verde se consume directamente el fruto, o bien en salsas, también se puede conservar en escabeches, salmueras, mientras que seco, de igual manera se consume directamente en fruto entero o triturado y en salsas.

En el norte de México, se tiene una preferencia semejante por el chile piquín y el chile jalapeño, siendo mayor que en otros chiles, como el serrano, de árbol, chilacas entre otros (Rodríguez-del Bosque *et al.*, 2003). Estos frutos son una buena manera de obtener antioxidantes como flavonoides, compuestos fenólicos, carotenoides, ácido ascórbico y vitamina A, y los propios capsaicinoides (Lee *et al.*, 1995; Howard *et al.*, 2000).

### **Diversidad genética del chile**

En México se cultivan cuatro especies: *Capsicum annum*, *C. frutescens*, *C. chinensis* y *C. pubescens*, siendo de la primera especie el centro de domesticación y diversificación (Pickersgill, 1971). Debido a que también es

un territorio de culturas indígenas en donde siguen utilizando sus recursos nativos, existe una innumerable cantidad de morfotipos y variedades criollas de esta especie y se espera, por ende, una alta diversidad genética subyacente (Aguilar-Meléndez *et al.*, 2018).

La exploración de la diversidad genética en los cultivos ofrece un gran reto, ya que estamos ante objetos de estudio que son producto de la selección natural y artificial.

Los individuos en una misma especie no son idénticos: tienden a tener muchas diferencias en su forma, función y comportamiento. Una parte importante de la variación entre los individuos es heredable y proviene de los genes, es decir, es variabilidad genética (Aguilar-Meléndez *al.*, 2018).

Distintos morfotipos, genotipos y/o especies se han sembrado en un estado, localidad, ranchería o, incluso, en la misma parcela; en uni-cultivo o asociado con otras especies como maíz o calabaza. La aparición de nuevas formas, nuevos genotipos o híbridos se debe principalmente al intercambio de germoplasma entre agricultores, así como a las cruza intra o interespecíficas que ocurren (Castañón-Nájera *et al.*, 2014).

## **MEJORAMIENTO GENÉTICO**

El control genético es muy utilizado por los fitomejoradores, por constituir una de las vías más eficientes utilizadas para lograr el desarrollo de este cultivo, obteniéndose líneas de pimiento multi-resistentes a las principales enfermedades, de frutos grandes y de buena adaptación para ser utilizados como progenitores de híbridos F<sub>1</sub> más competitivos (Rodríguez *et al.*, 2014).

A través del mejoramiento genético se logra un ahorro en la sustitución de importaciones por concepto de compra de semillas, al disponer de híbridos y variedades de procedencia nacional con buenos rendimientos y adaptación climática. Así mismo se reduce el uso de productos químicos ya que los

nuevos cultivares poseen genes de resistencia que pueden ser incorporados a un Programa de Mejoramiento Genético (Rodríguez *et al.*, 2014).

En los últimos años se han obtenido variedades de *C. annuum* con caracteres de interés agronómico tales como resistencia a factores adversos, mayor contenido de compuestos de interés y/o rendimiento y calidad del fruto (Castañón *et al.*, 2011a, 2011b). Además, se han desarrollado mapas genéticos de *Capsicum* para determinar con detalle su arquitectura y contenido genético (Mimura *et al.*, 2012); así como la secuenciación del genoma y el análisis con microarreglos (Góngora-Castillo *et al.*, 2012; Hill *et al.*, 2013).

### **Mejoramiento en autógamias**

Las poblaciones de las especies autógamias pueden ser homogéneas y homocigotas constituidas por una sola línea pura o heterogéneas y homocigotas por mezclas de líneas puras, por lo tanto, se caracterizan por presentar un alto porcentaje de autofecundación y un menor porcentaje de polinización cruzada de manera natural. En los métodos de mejoramiento se selecciona dentro de una población de plantas, los materiales con atributos deseables para el fitomejorador, ya que en este proceso de selección lo que se busca es una reducción de la variabilidad genética, por la presión ejercida en la población (Vallejo y Estrada, 2002).

## **MÉTODOS DE MEJORAMIENTO**

### **Selección masal**

Es considerado uno de los métodos más primitivos, siendo implementado por los primeros agricultores de manera indirecta, basándose solo en características visuales, tomando en cuenta preferencias para el cultivo como para ellos mismos en las que se encontraban el vigor, tamaño, forma, color, etc. Siendo descritos como caracteres cualitativos, ya que en dicha época solo se tenía en cuenta los rangos fenológicos de la planta desconociendo por completo el material genético de la misma (Gandarillas, 1979).

Este método posee como objetivo principal mejorar la población a nivel general, seleccionando fenotipos que presenten las mejores características, de igual manera agrupar los diferentes genotipos que se encuentran existentes dentro de una población y se muestran niveles superiores en relación con las características deseadas.

### **Teoría de la línea pura**

Esta teoría fue desarrollada a inicios del siglo XX por el científico W.L. Johannsen quien determinó el término de línea pura como la descendencia de un individuo homocigoto y autofecundado además de haber definido los parámetros para llegar a obtener una línea pura. Este científico lo logró implementando semillas de frijol de una variedad heterocigota, las cuales fueron clasificadas por tamaño y peso, sembrándolas en puntos diferentes, con los resultados obtenidos en la progenie de cada semilla, concluyó que la progenie conservaba las mismas características en tamaño y peso, por ende se trataba de la descendencia de un individuo homocigoto y autógeno, definiéndolo como línea pura; dado a que esta descendencia no presenta segregación genética y las variaciones que pueda llegar a obtener son de origen ambiental. El papel de la selección fue aclarado por Johannsen, al resolver el presente componente genético dentro de la variación de la población inicial está sería efectiva al aclarar la discrepancia principal entre fenotipo y genotipo (Poehlman y Sleper, 1995).

### **Hibridación en especies autógenas**

Mediante este método es posible obtener una progenie que cumpla características deseadas obteniendo lo mejor de sus dos progenitores, en la hibridación se cruzan dos materiales con la característica que deben presentar constitución genética homocigota y contrastantes, teniendo de objetivo combinar en un solo genotipo los caracteres deseables presentes en los dos o más progenitores. Este método es la principal estrategia de los fitomejoradores para obtener materiales superiores a los ya presentes. El éxito de este método se basa en la correcta selección de los progenitores los cuales deben tener y manifestar los caracteres deseables que se deseen combinar para la progenie, es importante saber distinguir entre caracteres cualitativos

(oligogénicos) en donde la selección es más fácil en comparación de los caracteres cuantitativos (poligénicos) que tienen baja heredabilidad como lo es rendimiento y calidad (Bonifacio, 1995).

El fitomejorador debe tener una premisa sobre la capacidad de los parentales y el potencial de los híbridos, con el fin de obtener una excelente producción de líneas homocigotas en avanzadas generaciones, claro está, siguiendo la siguiente secuencia:

1. Valorar dadas las características que se desee los parentales
2. Valorar mediante cruzamientos dialélicos la  $F_1$
3. Valorar bajo distintos tiempos, lugares y con anáforas la  $F_2$ .

### **Método genealógico o pedigrí**

A partir de la generación  $F_2$  y generaciones segregantes sucesivas se seleccionan plantas superiores, conservando así el vínculo parentales - progenie, lo que permite seleccionar las familias que deben ser descartadas. Dicho método se compone de dos etapas primordiales: cruzamiento y selección de parentales y empleo de poblaciones segregantes, siendo esta última la más retrasada del método (Gandarillas, 1979).

### **Método poblacional**

Los híbridos cultivados son mezclados en una sola población, por lo que las anotaciones respecto a la genealogía de los individuos, no se necesita para este tipo de métodos. La selección natural puede ocasionar cambios en la frecuencia génica de la población, situación que suele presentarse durante el periodo de propagación masal, el cual tiende a finalizar en las generaciones  $F_6$  o  $F_8$ , con la selección de las respectivas plantas individuales deseables. El objetivo principal del método poblacional es bajo un mínimo costo y esfuerzo obtener líneas homocigotas. Claro está, que es importante tener en cuenta que el porcentaje de homocigosis bajo autofecundación es considerablemente alto para la generación  $F_6$ , aproximándose a un 100% en la generación  $F_{10}$ ,

aun cuando se presenten casos con segregación de un número considerable de genes (Gandarillas,1979).

El método población consta de 3 etapas:

1. Elección y cruzamiento de los parentales
2. Cuando una alta densidad de la población de plantas presenta homocigosis en la mayoría de sus caracteres observables, se presenta el fin del periodo propagativo.
3. Elección de forma deseable de las plantas de manera individual dentro de la población.

### **Método del retrocruzamiento**

Consiste en cruzamientos repetitivos de la progenie híbrida y el padre recurrente y en donde aquella característica que se desea mejorar es mantenida gracias a selección. Dentro de los objetivos de las retrocruzas se encuentran su uso para la obtención de variedades resistentes a cualquier patógeno o enfermedad, así como también su uso para modificar características cualitativas y cuantitativas, dicho método me permite la modificación de cualquier carácter, siempre y cuando esté presente una alta heredabilidad (Gandarillas,1979).

Para ejecutar un retrocruzamiento se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Se debe contar con un padre recurrente el cual presente características eficientes en cuanto a calidad y rendimiento, así como también debe carecer de algún/(os) caracteres, los cuales puedan ser transferidos por el padre donante, quien debe poseer los caracteres requeridos por el padre recurrente.
2. Los genes transferidos por el padre donante deben ser de máxima expresión, de lo contrario el retrocruzamiento será poco eficiente.
3. El genotipo del padre recurrente debe ser recuperado con un número máximo de 6 retrocruzamientos.
4. La manifestación del carácter debe presentarse fenotípicamente, de tal manera que en cada retrocruzamiento pueda seleccionarse fácilmente.

### **Variedades multilineales**

Son el resultado de la mezcla de líneas genéticamente iguales, las cuales resultan de los retrocruzamientos independientes, a partir de variedades que presentan diversidad genética en cuanto a resistencia a enfermedades, pero que deben ser completamente uniformes en cuanto a sus características agronómicas, lo que permita la compatibilidad en la mezcla (Gandarillas,1979). Para la producción de variedades multilineales, se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Para la selección del padre recurrente teniendo en cuenta que es muy importante el rendimiento promedio, siendo seleccionada la mejor variedad comercial que se esté utilizando.
2. En cuanto a la selección del padre donante está debe basarse en la resistencia que las líneas presenten a las diversas razas conocidas del patógeno, siendo las especies silvestres, los genotipos mayormente utilizados en este caso.
3. Para la prueba de resistencia durante el retrocruzamiento se realiza una prueba que permita comprobar si la transferencia de genes de resistencia ha sido exitosa, esta se puede realizar de 2 formas, mediante inoculaciones artificiales o mediante el uso de una raza probadora simple, la cual consiste en aquella raza para la cual el padre recurrente es susceptible pero el padre donante es resistente.

### **Método de la descendencia de semilla única o S.S.D**

Este “método consiste en utilizar una semilla de cada planta  $F_2$  para obtener la generación  $F_3$  y así de manera sucesiva” (Cabrera, 1994). Dicho método es uno de los más utilizados en plantas autógamas, básicamente y como su nombre lo indica consiste en seleccionar de manera aleatoria una única semilla en cada generación, a partir de la generación  $F_5$  o  $F_6$  no se toma una semilla por planta, sino que por el contrario se realiza una cosecha de plantas individuales, estas serán sembradas en surcos individuales (planta x surco) y se evalúan los caracteres agronómicos que se elijan. Los materiales seleccionados serán evaluados posteriormente en ensayos de producción y

rendimiento. El método S.S.D presentado por Goulden, se basa en el avance que se realiza de cada planta  $F_2$ , gracias a una semilla única, con el fin de lograr un particular grado de homocigosis y posteriormente seleccionar entre líneas (Poehlman y Sleper, 1995).

1. Se realiza una cosecha de semillas, cosechando una sola semilla por planta de todas las plantas pertenecientes a la  $F_2$ . Dicha generación, puede partir a raíz de un cruzamiento bien sea múltiple, simple, doble o triple. Se debe tener en cuenta conservar una moderada cantidad de semilla, que cumplirá la función de material de reserva.
2. Se realiza una cosecha de una sola semilla de todas las plantas de la generación  $F_3$ .
3. Se efectúa una cosecha de una sola semilla de todas las plantas que se encuentren dentro de la generación  $F_4$ .
4. Se prosigue a la respectiva apertura de las progenies y se realiza la cosecha individual de plantas que producirán la semilla  $F_6$ .
5. Se realiza la siembra de plantas, de acuerdo con el método planta por surco, donde se eligen las mejores líneas  $F_6$ , tomando una muestra de cada una de las líneas para continuar con la siguiente generación.
6. Finalmente, se llevan a cabo diferentes ensayos de rendimiento, se efectúa el respectivo registro y posteriormente se realiza la entrega de un nuevo cultivar.

### **Selección recurrente**

Al inter cruzar diferentes individuos seleccionados de acuerdo alguna característica, se obtiene una nueva población la cual podrá ser utilizada en un nuevo ciclo de recombinación, siendo esta la definición de un método de selección recurrente. Su objetivo principal radica en la eficiencia que presenta a la hora de realizar un cambio paulatino en las frecuencias génicas de la población, lo que genera un aumento de las frecuencias de los genes que favorecen la expresión de cierto carácter, lo que impide el acercamiento rápido a la homocigosis. El primer paso para este método consiste en seleccionar los progenitores los cuales deben presentar características deseables, como

pueden resistencia a enfermedades, adaptación a distintos tipos de suelo o ambientes (Gandarillas, 1979).

### **Aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE).**

El término de aptitud combinatoria significa la capacidad que presenta un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por su progenie. Asimismo, la aptitud combinatoria se debe decidir no solo por un individuo de la población sino de varios, a fin de poder seleccionar aquéllos que presenten la más alta aptitud combinatoria (Márquez, 1988). Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), interpretan el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, y para designar las combinaciones híbridas que resultan mejor o peor de lo que se esperaría en relación con el promedio de la ACG de las dos líneas progenitoras, los cuales integran las herramientas de uso ordinario para estimar efectos y varianzas de ACG y ACE (Sprague y Tatum, 1942). En una población los efectos de aptitud combinatoria general son más importantes que los efectos específicos, es recomendable mejorar a la población por selección recurrente; por el contrario, si los efectos de aptitud combinatoria específica son los más importantes, la población deberá mejorarse por hibridación (Reyes *et al.*, 2004).

## **DISEÑOS GENÉTICOS**

### **Métodos de Griffing**

Según (Vallejo *et al.* 2005), el desarrollo de esta metodología de (Griffing, 1953, 1954, 1956) consiste en evaluar la Aptitud Combinatoria General (ACG) y la Aptitud combinatoria específica (ACE) de los genotipos que intervienen en el cruzamiento dialélico.

El método experimental que utiliza cruzamientos dialélicos puede variar si las líneas y/o recíprocos son incluidos, donde los cuatro métodos requieren una forma diferente de análisis como se describen a continuación:

Método Experimental I: Aquí son incluidos los padres, cruzas directas y recíprocas (todos los  $p^2$  tratamientos).

Método Experimental II: Incluye padres y cruzas directas, pero sin incluir recíprocos ( $[P(P+1)]/2$ ) tratamientos.

Método Experimental III: Considera cruzas directas y recíprocas, sin incluir padres ( $P(P-1)$ ) tratamientos.

Método Experimental IV: Incluye sólo las cruzas directas, sin incluir recíprocos ni parentales ( $[P(P-1)]/2$  combinaciones).

Con relación a la manera de obtener la muestra de progenitores, (Griffing, 1956) distingue dos modelos:

Modelo 1 (fijo): Los progenitores son deliberadamente escogidos, y constituyen la totalidad de la población. Los objetivos son la comparación de las habilidades combinatorias de los padres, cuando los mismos padres son usados como probadores. Así, el mayor interés es estimar los efectos de habilidad combinatoria y obtener desviaciones estándares para probar las diferencias entre los efectos.

Modelo 2 (aleatorio): Los progenitores son considerados como una muestra al azar de una población, y las conclusiones no son hechas sobre los progenitores individuales de la muestra, sino que se usan para hacer inferencias sobre los parámetros de la población de referencia. El mayor interés es estimar los componentes genéticos y ambientales de la varianza de la población.

### **Método de Hayman**

El método de análisis dialélico propuesto por Hayman (1954, 1958), quien menciona que fue desarrollado para ser utilizado en cruzamientos dialélicos que incluyen líneas homocigotas únicamente, siendo, por lo tanto, usado

ampliamente en plantas autógamas. Las varianzas y covarianzas estimadas en la tabla dialélica son utilizadas para obtener los componentes y los parámetros genéticos y también para efectuar el análisis gráfico a través de la regresión lineal. Este análisis permite estudiar el control genético de los caracteres y clasifica los progenitores, teniendo en cuenta el grado de dominancia y el límite teórico de selección.

El método de Hayman (1954, 1958), fue desarrollado inicialmente para el modelo fijo, en donde los progenitores y sus híbridos correspondientes, constituyen la población referencia sobre las cuales se hacen las inferencias. La metodología fue ampliada por Hayman (1960), para el caso donde las líneas puras constituyen una muestra (modelo genético aleatorio). Según Mather y Jinks (1971), el análisis más satisfactorio para un conjunto completo de cruzamientos dialélicos, es el presentado por Hayman. El análisis permite conocer el tipo de acción génica predominante y obtener un panorama general del control genético de algunos caracteres cuantitativos, mediante varianzas y covarianzas. Impone diversas restricciones para su validez (Hayman, 1954):

- 1) Los progenitores deben ser homocigotos.
- 2) Deben presentar segregación diploide.
- 3) No deben existir diferencias entre híbridos  $F_1$  y sus recíprocos.
- 4) No presentar ligamiento.
- 5) No presentar alelismo múltiple.
- 6) Ausencia de interacción alélica (herencia simple en cada locus).
- 7) Distribución independiente de genes.

El método dialélico de Hayman posibilita analizar los datos, en tres formas básicas:

- 1) Análisis de varianza a través de las medias de los tratamientos (interacción genotipo x bloque).
- 2) Estimación de componentes genéticos de variación y de parámetros genéticos a partir de: a) grado medio de dominancia, b) frecuencia de alelos dominantes y recesivos, c) relación de alelos dominantes y recesivos, d)

número de genes o bloques génicos que exhiben dominancia en las líneas parentales, e) heredabilidad en sentido amplio y estrecho.

3). Determinación de las constituciones genéticas relativas de los cultivares, por medio de análisis gráfico y límites de selección de genotipos dominantes y recesivos.

### **Diseños Carolina del Norte**

Comstock y Robinson (1948, 1952), desarrollaron tres diseños conocidos como Diseños Carolina del Norte I, II Y III, respectivamente. Cada uno de estos provee estimados para dos de los más importantes parámetros genéticos denominados varianza genética aditiva y varianza de dominancia. En todos estos casos se producen progenies de hermanos completos y medios hermanos por cruzamientos biparentales, provenientes de la generación  $F_2$  de un cruzamiento entre dos líneas puras.

### **Diseño Carolina del Norte I**

En este caso, la  $F_2$  o cualquier generación avanzada mantenida bajo apareamiento aleatorio, producidas por un cruzamiento entre dos líneas puras, se toman como la población referencia. De esta población se toma un individuo en forma aleatoria y se usa como macho. Un grupo de cuatro plantas, igualmente tomadas al azar, se usan como hembras y se cruzan con el macho antes mencionado. De esta forma se produce un grupo de familias de hermanos completos. Este se denota como grupo macho. De esta manera se produce un gran número de grupos macho. Ninguna de las hembras es usada en un segundo cruzamiento. Cuatro grupos macho (16 grupos hembra) forman un set. Este sistema es de clasificación jerárquica o anidada.

### **Diseño Carolina del Norte II**

Este método es el más usado en plantas y se conoce también como factorial. Se debe utilizar en una población palmítica en equilibrio Hardy-Weinberg, como por ejemplo la población de una  $F_2$  o de una variedad de polinización abierta.

A diferencia del diseño 1, en este método se producen medios hermanos paternos y maternos. De una población  $F_2$ ,  $n_1$  machos y  $n_2$  hembras son tomados aleatoriamente y cada macho es cruzado con cada una de las hembras, de tal forma que se producen  $n_1 \times n_2$  progenies. De esta manera, la variación se divide en dos partes, entre y dentro de familias de hermanos completos.

La variación entre familias se divide en componentes debido a diferencias entre machos, diferencias entre hembras y aquella debida a la interacción macho por hembra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio

El experimento se llevó a cabo en el vivero de plantas forestales del departamento forestal ubicado con las coordenadas 25° 21' 8" latitud Norte y 101° 1' 14" longitud Oeste, a una altitud de 1740 msnm de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, México. Durante el periodo de primavera, verano y otoño, a una temperatura máxima de 36° y mínima de -3°, el experimento se realizó bajo condiciones de malla sombra.

### Material genético

Se utilizaron 45 genotipos correspondientes a 9 progenitores y 36 cruzas F1 de chile piquín *Capsicum annum var aviculare*. En el cuadro 1 se muestran los progenitores que dieron origen a las cruzas.

**Cuadro 1.** Identificación de progenitores de chile piquín de diferentes orígenes geográficos.

ID	Localidad	Municipio	Estado	Grupo
1x1	Estación el álamo	Villa Aldama	N. L	Piquín
2x2	Ej. potrero de Zamora	Aramberri	N. L	Piquín
3x3	Ej. Lázaro cárdenas	Burgos	Tamaulipas	Piquín
4x4	Barranco azul	San Carlos	Tamaulipas	Piquín
5x5	Palo blanco	Castaños	Coahuila	Piquín
6x6	Colatlán	Ixhuatlán de Madero	Veracruz	Piquín huasteco
7x7	Tiopanhualt	Ixhuatlán de Madero	Veracruz	Piquín huasteco
8x8	Los rincones	Linares	N. L	Piquín
9x9	La labor	Rioverde	San Luis Potosí	Piquín

## METODOLOGÍA

### Siembra

Se llevó a cabo en el invernadero No. - 7 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, utilizando 19 charolas de poliestireno con 200 cavidades, las cuales se cubrieron con sustrato compuesto de peet most el cual se humedeció previamente, después se realizó un orificio a cada cavidad para depositar la semilla, colocándola de manera horizontal de una en una. Cabe mencionar que antes de la siembra la semilla fue desinfectada con hipoclorito de sodio al 1% por 30 segundos, enjuagada con agua corriente para terminar con agua destilada y secada con papel secante, tratada con 5000 ppm de ácido giberelico por 24 horas (Alcalá-Rico *et al.*,2019), debido a la problemática que se tiene con el porcentaje de germinación menor al 5%.

Teniéndolos listos para la siembra se depositaron los genotipos y sus respectivas cruzas directas en orden, una vez ya depositada la semilla se agregó una leve capa de peet most para cubrir, posteriormente se aplicó un riego con la solución de *Bacillus subtilis* como fungicida natural empleado como agente de control biológico preventivo y enraizador, se agregó una identificación en la charola, después se procedió a poner una charola sobre otra y finalmente se cubrió con un platico negro para acelerar la germinación.

### Montura de estructuras

El trasplante se hizo en el departamento de Forestal. Se colocaron estructuras de metal a una altura de 70 cm, su ancho de 150cm y largo 7 m, estas se colocaron a 50 cm para después realizar limpieza de basura, eliminación de malezas, se continuo a instalar la malla sombra con medidas de 24 x 12 con cubierta superior de 70% de trasmisión de luz.

### Trasplante

Una vez montada la estructura, se llenaron bolsas negras de 32 x 14.5 cm utilizando como sustrato una mezcla de 100 % tierra de lombricomposta, se distribuyeron las bolsas señalando con un abatelenguas el genotipo que iría en cada una y se regaron para que estuvieran a capacidad de campo para el

momento del trasplante. Se efectuó el trasplante a los dos meses después de la siembra. La distancia entre plantas fue de 50 cm, distancia entre hileras de 90 cm y distancia entre calles de 1 m. Posteriormente se sujetaron las bolsas con rafia para evitar que se movieran debido al viento.

### **Fertilización**

En un inicio se le aplicó fertidrip inicio 20-30-10 junto con *Bacillus subtilis* para la proliferación de raíces en forma de fertirriego, conforme las plantas fueron desarrollándose necesitaban más nutrientes así que se cambió a una solución nutritiva 196N-232P-174K-113Ca impartida por el INIFAP campus Saltillo, esta solución se complementó con aplicaciones foliares de (Maxi-Grow).

### **Plaguicidas**

Conforme se desarrollaban las plantas se presentaron algunas plagas como minadores y mosca blanca, los cuales se controlaron aplicando (Muralla delta) y (dimetoato). Todos los productos que se aplicaron, cada semana se rotaron y en días solo tocaba riego dependiendo de la incidencia de plagas.

### **Riegos**

La aplicación de riegos tanto en el invernadero como en mallasombra se hizo manual. Las aplicaciones dependieron de las necesidades hídricas del cultivo y de las condiciones ambientales.

### **Diseño experimental**

Las cruza dialélicas por el método 2 de Griffing se establecieron en un diseño de bloques completos al azar.

## **PARÁMETROS EVALUADOS**

### **Días a floración**

Número de días promedio en que tarda en aparecer los primeros botones florales en el 50% de la población.

### **Diámetro polar**

Consiste en medir verticalmente el fruto con ayuda de un vernier.

### **Diámetro ecuatorial**

Consta en medir horizontalmente el fruto con ayuda de un vernier.

### **Rendimiento**

Se hicieron siete cosechas de cada plata separándolas en bolsas pequeñas de papel, pesando los frutos para después realizar una conversión a kilogramos por hectárea.

### **Análisis**

Se realizó un análisis de varianza para determinar la ACG y ACE, con el software R versión 4.0 para el diseño 2 de Griffing.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los efectos de aptitud combinatoria para las cuatro variables se muestran en el cuadro 2. Se apreció que tanto los genotipos como los efectos aditivos y de dominancia presentaron significancia ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables. Esto pudiera deberse a la divergente constitución genética que tiene particularmente cada genotipo. Además de poseer una capacidad distinta de transmitir sus características a la descendencia y de tener un desempeño diferente en combinaciones híbridas. Martínez (1983) menciona que estudios de aptitud combinatoria, tienen suma importancia para la identificación de los progenitores sumamente potenciales que pueden ser útiles para producción de híbridos o para el desarrollo de poblaciones compuestas o sintéticas, lo que hace posible, detectar genotipos prometedores para el desarrollo de variedades e híbridos.

**Cuadro 2.** Cuadrados medios de análisis de varianza de cruzamiento dialélico bajo el método 2 de Griffing.

FV	GL	DAF		DEF		DPF		Rend	
Rep	2	20.99		0.48	**	0.31		12726.00	
Gen	44	152.41	**	0.63	**	10.95	**	79693.00	**
ACG	8	88.16	**	0.95	**	19.21	**	53119.00	**
ACE	36	42.50	**	0.04	**	0.19	**	20663.00	**
Error	88	2.27		0.02		0.05		4752.00	

FV: Fuentes de Variación, GL: Grados de Libertad, REP: Repeticiones, GEN: Genotipos, ACG: Aptitud Combinatoria General, ACE: Aptitud Combinatoria Especifica, DAF: Días a Floración, DEF: Diámetro Ecuatorial de Fruto, DPF: Diámetro Polar de Fruto, Rend: Rendimiento.

De acuerdo con la aptitud combinatoria general para los días a floración presentada en el Cuadro 3, se pudo observar que sobresalió el genotipo G7 originario de Tiopanhualt, Mpio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz, seguido del G5 originario de Palo Blanco, Mpio de castaños, Coahuila y G3 originario de Ej. Lázaro cárdenas, Mpio de Burgos, Tamaulipas, quienes en cualquier combinación lograron disminuir los días a floración sobre la media en 6, 2 y 1 días respetivamente. Esto se reflejó en la mayoría de las cruza donde participaron estos genotipos. Por otro lado, el genotipo G8 originario de Los

Rincones, Mpio de Linares, N.L y G1originario de Estación el Álamo Mpio de Villa Aldama, N.L, destacan por hacer más tardíos a las progenies en cualquier cruce en 4 y 3 días respectivamente.

Por otra parte, 25 cruces específicas lograron que su progenie F1 disminuyera los días a floración de las cuales ocho (G1xG4, G1xG9, G2xG9, G3xG5, G3xG6, G6xG9, G7xG8 y G7xG9), contribuyeron a la precocidad considerablemente en menos de seis días, donde tuvo mayor participación como progenitor el G9 originario de Labor, Rioverde, San Luis Potosí. Cabe destacar que la mayoría de las cruces que presentaron esta condición uno de los progenitores poseía ACG positiva y el otro negativa lo que pudiera influir en la heterosis de la cruce (Cuadro 3). De acuerdo con Tejaswini y Sarma, (1995), los efectos de ACE están relacionados con las manifestaciones de heterosis (dominancia y sobredominancia) y éstos se reflejan en cada uno de los cruzamientos realizados.

**Cuadro 3.** Aptitud Combinatoria General y Específica para días a floración en chile piquín.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
G1	2.78	2.85	4.76	-8.78	-5.18	3.07	-0.60	2.52	-6.90
G2		0.39	-1.51	-0.72	0.88	-4.87	-4.87	-1.75	-6.51
G3			-1.19	-2.81	-8.21	-6.96	-3.30	0.16	5.07
G4				-0.97	2.25	-1.51	-4.18	-3.72	0.19
G5					-1.58	-4.90	-4.24	-0.12	-0.87
G6						1.51	4.34	-5.21	-6.63
G7							-5.82	-6.21	-6.96
G8								3.72	-0.84
G9									1.15

ACG (Diagonal); ACE: (parte superior de la diagonal)

En lo que respecta, a la Aptitud Combinatoria General en diámetro ecuatorial de fruto de chile piquín, destacaron los genotipos G9 originario de Labor, Rioverde, San Luis Potosí, G4 originario de Barranco Azul, Mpio de San Carlos, Tamaulipas y G5 originario de Palo Blanco, Mpio de castaños,

Coahuila, incrementando esta variable en 0.23, 0.22 y 0.22 cm respectivamente en promedio en combinación con cualquier otro genotipo. El G6 originario de Coatlán, Mpio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz y G7 originario de Tiopanhualt, Mpio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz, influyeron para que disminuyera en gran medida la variable, esto pudo deberse a que el fruto de estos dos genotipos es angosto en el diámetro.

Hubo ocho cruzas específicas (G1xG8, G3xG4, G3xG5, G3xG6, G4xG5, G4xG8, G5xG9 y G6xG7) donde su progenie presentó un incremento en el diámetro ecuatorial igual o mayor a 0.2 cm. Para este caso, la mayoría de los progenitores tanto macho como hembra presentaron una ACG positivo (Cuadro 4). Al respecto Hoegenmeyer y Hallauer, (1976) mencionan que la aptitud combinatoria específica ACE es más importante que la aptitud combinatoria general ACG en un programa de mejoramiento con la única finalidad de obtener híbridos al no ser heredable.

**Cuadro 4.** Aptitud Combinatoria General y Específica para diámetro ecuatorial en chile piquín.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
G1	0.08	-0.03	0.05	0.13	0.14	0.02	0.01	0.23	0.12
G2		-0.13	-0.20	-0.13	0.03	0.00	0.07	0.17	0.00
G3			0.21	0.31	0.20	0.25	0.02	-0.03	0.10
G4				0.22	0.23	-0.24	-0.23	0.30	0.11
G5					0.22	-0.14	-0.16	-0.04	0.44
G6						-0.43	0.20	-0.13	-0.14
G7							-0.52	-0.11	-0.07
G8								0.12	0.06
G9									0.23

ACG (Diagonal); ACE: (parte superior de la diagonal)

En cuanto a la Aptitud Combinatoria General para el diámetro polar, los genotipos, G6 originario de Coatlán, Mpio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz y G7 originario de Tiopanhualt, Mpio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz, presentaron los valores más altos indicando que en cualquier combinación híbrida pueden incrementar esta variable en promedio 2 y 2.4 cm respectivamente. Esto pudo deberse a que sus frutos de estos dos genotipos

son alargados. Por otra parte, la mayoría de los demás genotipos reducen esta variable de 0.5 a 1.2 cm en combinación con otros genotipos (Cuadro 5). Hubo 21 cruzas que tuvieron valores positivos de las cuales siete fueron casi nulos, y el resto presento valores negativos. La mayoría de los progenitores que presentaron esta condición tuvieron ACG negativa. Las tres combinaciones híbridas que demostraron mejores valores en cuanto a su Aptitud Combinatoria Especifica fueron G6xG7 con 0.8 cm, G1xG5 con 0.7 cm y G3xG4 con 0.6 cm (Cuadro 5). Al respecto menciona Vargas *et al.*, (1999), que la variación en las dimensiones de los frutos es consecuencia de factores genéticos.

**Cuadro 5.** Aptitud Combinatoria General y Específica para diámetro polar en chile piquín.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
G1	-1.01	0.01	0.02	0.36	0.70	-0.26	-0.59	0.45	0.49
G2		-1.21	-0.05	0.01	0.06	-0.03	0.03	-0.09	0.10
G3			-0.48	0.60	0.36	0.30	0.20	0.05	0.30
G4				0.06	0.48	-0.50	0.07	0.21	-0.01
G5					-0.28	-0.03	-0.36	-0.02	0.49
G6						2.04	0.80	-0.15	-0.48
G7							2.41	-0.06	-0.58
G8								-0.63	0.32
G9									-0.89

ACG (Diagonal); ACE: (parte superior de la diagonal)

Los efectos de ACG para la variable Rendimiento se presentan en el cuadro 6. En donde se pudo observar que los genotipos G6 originario de Coatlán, Mpio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz, G1 originario de Estación el Álamo Mpio de Villa Aldama, N.L y G7 originario de Tiopanhualt, Mpio de Ixhuatlán de Madero, Veracruz, sobresalen ya que aportan 144, 81 y 67 kg ha<sup>-1</sup> sobre la media respectivamente (Cuadro 6).

Hubo 21 combinaciones específicas que mostraron un incremento en el rendimiento. Observándose que en la mayoría de las combinaciones que presentaron esta condición al menos uno de los progenitores presentaba ACG positiva. Cabe destacar que la crusa G6xG7 presentó el mayor valor contribuyendo con 427 kg ha<sup>-1</sup>, seguido por la combinación G8xG9 con 191

kg ha<sup>-1</sup> y G5xG9 quienes incrementaron su producción con 167 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 6). Esto concuerda con León (2011) quien manifiesta que entre más amplia es la diversidad de especies mayor es la posibilidad de tener plantas con potencial genético que permita tener individuos superiores. Por otro lado, también Seneviratne y Kannangara (2004) mencionan que el uso de la heterosis incrementa el rendimiento y otros caracteres económicos del género *Capsicum annum*.

**Cuadro 6.** Aptitud Combinatoria General y Específica para rendimiento en chile piquín.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
G1	81.00	-8.26	81.34	115.08	6.24	-132.00	-25.60	125.70	73.39
G2		-39.76	28.82	120.65	108.90	-168.79	-87.00	7.13	76.37
G3			8.87	146.76	35.33	-91.39	18.84	28.80	103.03
G4				17.13	59.64	-74.91	-157.95	129.70	-22.51
G5					-43.86	-69.04	-71.06	61.89	167.42
G6						143.96	427.10	-117.57	-148.05
G7							66.97	-145.48	-159.68
G8								-22.54	190.50
G9									-49.78

ACG (Diagonal); ACE: (parte superior de la diagonal)

## CONCLUSIONES

Existe una gran variabilidad entre los genotipos. Se identificaron los genotipos con buena aptitud combinatoria general, los cuales contribuyen de manera específica a las variables agronómicas de días a floración, diámetro ecuatorial, diámetro polar y rendimiento.

Se determinó que la combinación híbrida 6x7 correspondiente a los parentales originarios de Veracruz, fue la que presentó mejores resultados en la mayoría de las variables estudiadas. Así mismo el potencial de cada genotipo y sus cruces puede ser usado en un programa de mejoramiento genético para el desarrollo de híbridos y variedades.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Meléndez, A., Vásquez-Dávila, E. K., y Hernández-Colorado, M. R. (2018). Los chiles que dan sabor al mundo. Contribuciones multidisciplinares, 1ª edición, pp 52-59.
- Alcalá-Rico, J. S. G. J., López-Benítez, A., Vázquez-Badillo, M. E., Sánchez-Aspeytía, D., Rodríguez-Herrera, S. A., Pérez-Rodríguez, M. Á., & Ramírez-Godina, F. (2019). Seed Physiological Potential of *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* Genotypes and Their Answers to Pre-Germination Treatments. *Agronomy*, 9(6), 325.
- Arias, G. J. J. (2005). Estudio de mercado para identificar la potencialidad de la exportación de chile piquín en escabeche en el mercado hispano del medio oeste de los Estados Unidos de Norte América. APROCEDE A.C. Secretaria de Economía.
- Bañuelos, N., Salido, P. L. y Gardea, A. (2008). Etnobotánica del Chiltepín. Pequeño gran señor de la cultura de los sonorenses. Estudio social. Vol. 16, número 32.
- Bonifacio, A. (1995). Interspecific and Intergeneric hybridization in Chenopod species. Tesis M.Sc. Brigham Young University. Provo, Utah, USA. 150 p.
- Bran, R. A. A., Moya, C., Ponce, P., Álvarez, M., y Varela, M. (2007). Diagnóstico participativo de las condiciones socioculturales asociadas a la conservación de los chiles silvestres (*Capsicum* spp), en la depresión central de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales* 2007. Vol. 28, No. 1, pp 69-73.
- Cabrera, Á.L., (1994). Regiones fitogeográficas argentinas. En Kugler WF (Ed.) Enciclopedia argentina de agricultura y fitotecnia. Tomo 2. 2a edición. 1a reimpresión. Acme. Buenos Aires. Argentina. Fascículo 1. pp. 1-85.
- Castañón-Nájera, G., Ramírez-Meraz, M., Ruiz-Salazar, R., Mayek-Pérez, N. (2011a). Aplicación de marcadores AFLP para explorar heterosis en *Capsicum* spp. *phyton, International Journal of Experimental Botany* 80: 53-58.

- Castañón-Nájera, G., Ruiz-Salazar, R., Mayek-Pérez, N., García, A.C. (2011b). Molecular study of a diallel chilli with amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *African Journal of Agricultural Research* 6: 6126-6131.
- Castañón-Nájera, G., Ramírez-Meraaz, M., Mayek-Pérez, N., C. García, A., Ruiz-Salazar, R. (2014). Molecular comparison of wild and comercial chillies from Tamaulipas and tabasco, México. *Pakistan journal of botany* 46:2101-6.
- Comstock, R. E., & Robinson, H. F. (1952). Estimation of average dominance of genes. In: *Heterosis*. Gowen, J. W. Ed. Iowa State Univ. Press. Ames, 10. pp. 494 - 516.
- Dávila, F. H. (2007). Exportador de Hortalizas. Agromex de vegetales SA de CV. Calle 5 No. 245. Col. Vista hermosa, Saltillo, Coahuila México.
- D' Arcy, W. G., & Eshbaugh, W.H. (1978). The taxonomy of the genus *Capsicum*: Solanaceae. *Phytologia* 47(3):153-166.
- 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
- Gandarillas, H. (1979). Genética y origen. In: *Quinua y Kanihua, Cultivos Andinos*. M.E. Tapia et al. (Ed.). IICA, Bogotá, Colombia. pp. 45-64
- Gandarillas, H. (1979). Mejoramiento genético. In: *Quinua y Kanihua, Cultivos Andinos*. M.E. Tapia et al. (Ed.). IICA, Bogotá, Colombia. pp. 65-82. Citado el 10 de noviembre del 2020
- Gandarillas, H. (1979). *Investigaciones Agrícolas*, Universo. La Paz, Bolivia. Boletín Experimental No.34.35 p.
- Góngora-Castillo, E., Fajardo-Jaime, R., Fernández-Cortés, A., Jofre-Garas, A. E., Lozoya-Gloria, E., Martínez, O., Ochoa-Alejo, N., Rivera-Bustamante, R. (2012). The *Capsicum* transcriptome DB: a hot tool for genome research. *Bioinformatics* 8: 43-47.
- Griffing, B. (1953). Analysis of tomato yield components in terms of genotypic and environmental effects. Iowa State College, Ames, 10. En: *Research Bulletin* N° 397 p. 327-379.

- Griffing. B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:436–493.
- Hayman, B.I. (1954)., The theory and analysis of variance of diallel crosses. *Genetics*. N° 39 p. 789-809.
- Hayman, (1958). The theory and analysis of diallel crosses: II. *Genetics*, 43: 63-85.
- Hayman, B.I. (1960). The theory and analysis of diallel crosses: II 1. *Genetics*. 45 p. 155-172.
- Heiser, C.B., Pickersgill, B. (1975). Names for the bird peppers. *Capsicum*; *Solanacea Bailey* 19:151-156.
- Hill, B., Smythe, B., Lindsay, D. and Shep-Herd, J. (2013). Microbiology of raw milk in New Zealand. *International Journal of Food Microbiology*, 157, (2), p. 305–308.
- Hoegenmeyer, T. C., Hallauer, A.R. (1976). Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Sci.*16:76-80.
- Howard, R., Talcott, S.T., Brenes, C. H., Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum species*) as influenced by maturity. *J Agric Food Chem* 48: 1713-1720.
- Jinks, J. L., B I Hayman. (1953). The analysis of diallel crosses. *Maize Genet. Coop.*
- Jinks, J. L. (1954). The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. *Genetics* 39:767.
- Laborde, C. J. A. & O. Pozo C. (Comp.) (1982). Presente y pasado del Chile en México. Publicación especial No. 85. México: INIA.
- Laborde, C., J. A., Pozo, C., O. (1984). Presente y Pasado del Chile en México. Publicación Especial No. 85. SARH, INIA. México, D. F. 80 p.
- Lee, Y., Howard, L. R., Villalon B. (1995). Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annum*) cultivars. *J Food Sci* 60: 473-476.
- Long, J. (1998). *Capsicum* y cultura: la historia del chilli. México, D.F., Fondo de Cultura Económica.

- Long-Solís, J. (1986). *Capsicum* y cultura: La historia del chile. Fondo de cultura Económica. Mex. Pp. 204.
- Márquez, S. F. (1988). Geotecnia Vegetal, Tomo II. AGTESA. México. 563 p.
- Martínez, G.A. (1983). Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas. Colegio de Posgraduados, México. 251 p.
- Mather, K., & Jinks, J. 1. (1971). *Biometrical Genetics*. 2a. London. Chapman & Hall. 382 p.
- Martínez, G. A. (1983). *Diseño y Análisis de Experimentos de Cruzas Dialélicas*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 252 p.
- Medina-Martínez, T., Villalón-Mendoza, H., Hernández, J.M.P., Sánchez-Ramos, G., & Salinas-Hernández, s. (2010). Avances y perspectivas de investigación del chile piquín en Tamaulipas, México. *Ciencia UAT* 4, pp 16-21.
- Medina, T., Rodríguez del B. L. A., Villalón H., Pozo O., Ramírez M., López R., Lara M., Gaona G., Cardona A., Mora A. (2002). El Chile piquín. (*Capsicum annuum* L. var. *Aviculare*) en el Noreste de México. Aspectos ecológicos y socioeconómicos. *Biotam* 13: 1-14.
- Mimura, Y., Inoue, T., Minamiyama, Y., Kubo, N. (2012). An SSR-based genetic map of pepper (*Capsicum annuum* L.) serves as an anchor for the alignment of major pepper maps. *Breeding Science* 62: 93-98.
- Nee, M. (1986). Solanaceae I. En: Sosa, V. (ed.). *Flora de Veracruz*. Fascículo 49. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México.
- Pedraza, R. L. C., y Gómez, G. A. A. (2008). Análisis exploratorio del mercado y la comercialización de chile piquín (*C. annuum*, var. *aviculare* Dierb.) en México. *Tecsisistecatl*, vol. 1 número 5, diciembre 2008.
- Pickersgill, B. (1971). Relationships between weedy and cultivated forms in some species of chili peppers (Genus *Capsicum*). *Evolution*. 25: 683-691
- Poehlman, J.M., & Slepper, D. A. (1995). *Breeding field crops*. 4ª De., Iowa State University, Ames, USA. 494 p.

- Pozo, O., Montes, S., & Redondo, E. (1991). "Chile (*Capsicum* spp.)", en Ortega, R., Palomino, G., Castillo, E, González, V. Uvera, M. (eds.). Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos en México. Chapingo, México. Sociedad Mexicana de Fitogenética.
- Pozo, C., O. & Ramírez M.M. (2003). Diversidad e importancia de los chiles silvestres. I.er Simposio Regional sobre Chile Piquín: Avances de Investigación en Tecnología de Producción y Uso Racional del Recurso Silvestre. Río Bravo, Tam., México.
- Reyes, D.L., Molina, J.D.G., Oropeza, M.A.R., Moreno, E.C.P. (2004). Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:49-56.
- Rodríguez del B. L. A., Ramírez M. y Pozo C. (2003). El cultivo del chile piquín bajo diferentes sistemas de producción en el noreste de México. In: Memoria del 1er. Simposio regional sobre chile piquín: Avances de investigación en tecnología de producción y uso racional del recurso silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo experimental Río Bravo Tamaulipas. Publicación especial núm. 26. México. pp: 1-16 p.
- Rodríguez-Llanes, Y., Depestre-Manso, T. L., & Palloix, A. (2014). Comportamiento en campo abierto de nuevos híbridos f1 y variedades de pimiento (*Capsicum annum* L.) Multi-resistentes a virus. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 51-59.
- Seneviratne, K. G. S., Kannangara, K. N. (2004). Heterosis, heterobeltiosis and commercial heterosis for agronomic traits and yield of Chilli (*Capsicum annum* L.). *Ann. Sri Lanka Depar. Agric.* 6:195.
- Sobarzo, H. (1991). Vocabulario sonoreense. Hermosillo, Sonora, Gobierno del Estado de Sonora, Instituto Sonorense de Cultura, pp. 80.
- Sprague, G. F., Tatum, L. A. (1942). General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923.
- Tejaswini, R. A. S. y Sarma, M. S. (1995). Heterosis, potence ratio and inbreeding depression in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Var. Altissima. Indian. J. Genetics and Plant Breeding* 55(4): 359–361.

- Vallejo, C. F., Estrada, S. E., (2002). Mejoramiento de plantas. Mejoramiento de especies autógamas., 1ed., Colombia., Feriva S.A. Pg. 203-205.
- Vallejo, F.A., Espitia, M., checa, O. Largos, T.C., Salazar, F., Restrepo, E., (2005). Análisis estadístico para los diseños genéticos en fitomejoramiento. 1ª edición, Cali, Colombia, Pp. 13-93 y 171-234.
- Villalón, M. H., Garza, O. F., Sánchez, H. O., Soto, R. J. M., López de L. R., Medina, M. T., Ramírez, M. M., Montes, H.S., (2007). Chile silvestre “piquín” (*Capsicum annuum* L. var. *Aviculare* Dierb.) y su impacto socioeconómico en la región de Linares, N, L., México. In: <http://nl.mht>. Consulta. 23 dic 2009.
- Yan, W., Hunt L. A., (2002). Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 42:21.