

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN



Estimación de parámetros genéticos en poblaciones F2 de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) para características morfológicas y de rendimiento.

Por:

ANA KAREN GARCIA HUERTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Marzo 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Estimación de parámetros genéticos en poblaciones F2 de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) para características morfológicas y de rendimiento.

Por:

ANA KAREN GARCIA HUERTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité Asesor:



DR. FRANCISCO ALFONSO GORDILLO
MELGOZA
Asesor Principal



DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO
Coasesor



DR. FERNANDO BORREGO ESCALANTE
Coasesor



DR. ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Marzo 2026

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2026

Declaración de no plagio

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Ana Karen Garcia Huerta

Agradecimientos

A **Dios** principalmente por darme la sabiduría, salud y fortaleza en las diferentes etapas de mi vida, por guiarme, por los buenos amigos que me permitió rodearme durante mi estancia profesional y por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por todo el conocimiento adquirido, herramientas y experiencias necesarias para mi desarrollo académico y profesional, por ser como mi segunda casa, por darme la oportunidad de formar parte de esta gran institución.

Al **Departamento de Fitomejoramiento** por el apoyo brindado de parte de todo el personal que lo conforma, por los conocimientos y enseñanzas compartidas a lo largo de estos años, los cuales fueron fundamentales para fortalecer mi preparación académica.

Al **Dr. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza**, mi asesor, por brindarme sus conocimientos y apoyo durante el trabajo de tesis, por ser un buen profesionista, maestro, buen amigo y consejero.

Al **Dr. Fernando Borrego Escalante** por su apoyo y tiempo brindado en la aportación y revisión del presente trabajo.

Al **Dr. Neymar Camposeco Montejo** por su aportación en la revisión del presente trabajo y por su tiempo dedicado.

A la **M. C. Cristina Patricia Aguilar Aranda**, por su valiosa colaboración en la toma de datos del presente trabajo, por su apoyo y sus buenos consejos.

A la **ING. María de Lourdes Hernández Hernández**, por su valiosa colaboración en la toma de datos del presente trabajo, por su apoyo y sus buenos consejos.

A **mis amigos** de la universidad, en especial Guillermo Caballero por su cariño y apoyo, Jazmín Rodríguez, Albania Reyes, Sandra Escalera, Kimberly y Liliana por los momentos que pasamos juntos de alegrías y tristezas.

Dedicatorias

A la memoria de mis padres **Paula Huerta** y **Juan Manuel García** les agradezco por ser los pilares de mi vida, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia. Su amor, enseñanzas y sacrificio fueron la base para alcanzar este logro, aunque físicamente ya no están conmigo honro su memoria y el amor incondicional que siempre me brindaron.

Con todo mi cariño, respeto y gratitud eterna, dedico este trabajo a ustedes.

A mí, por lo resiliente que fui durante este largo camino, por tener la valentía de seguir adelante a pesar de todas aquellas adversidades que se me presentaron y por demostrar que los sueños se construyen con trabajo, fe y perseverancia.

A mis hermanos **Aaron García** y **Sergio García** quienes han sido mi motivación de cada día para dar lo mejor de mí, por sus consejos, apoyo y cariño. Por ser los mejores compañeros de vida.

A mis tías **Dulce García** y **Patricia García** por ser mi fuente de inspiración, por cada palabra de aliento que me brindaron, por su cariño, gracias por motivarme a seguir adelante en los momentos más difíciles, les dedico este trabajo como muestra de agradecimiento.

A la memoria de mi abuelo **Abram Huerta** quien fue mi guía, mi inspiración para elegir esta profesión tan noble, por todo su amor y enseñanzas que me compartió en vida.

A sobrino **Irving García** por ser mi alegría, motivación y por su cariño.

Índice de contenido

Agradecimientos	iv
Dedicatorias	v
Resumen.....	x
Abstract	xi
I. Introducción	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis	3
II. Revisión de literatura	4
2.1 Origen	4
2.2 Descripción botánica.....	4
2.3 Clasificación Taxonómica	5
2.4 Importancia de la producción de chile	6
2.5 Producción mundial.....	6
2.6 Producción nacional.....	8
2.7 Importancia de F₂ en chile.....	9
2.8 Correlaciones genotípicas	11
III. Materiales y métodos	13
3.1 Localización del sitio experimental	13
3.2 Siembra	13
3.3 Trasplante	13
3.4 Descripción de las entradas.....	14
3.5 Variables evaluadas	14
3.6 Diseño experimental	15
3.7 Parámetros genéticos	16
3.8 Correlaciones genotípicas	16

IV. Resultados y Discusión.	18
4.1 Altura de la planta.	18
4.2 Ancho de Planta	18
4.3 Longitud de tallo	19
4.4 Diámetro de tallo	19
4.5 Longitud de hoja	20
4.6 Ancho de hoja madura	20
4.7 Numero de frutos	21
4.8 Rendimiento	21
4.9 Peso promedio de fruto	22
4.10 Estimación de parámetros genéticos	24
4.11 Correlaciones genotípicas	25
V. Conclusión	27
VI. Literatura citada	28

Índice de cuadros.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables morfológicas de chile jalapeño.	20
Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables de longitud de hoja, ancho de hoja madura, número de frutos, rendimiento y peso promedio del fruto de chile jalapeño.	23
Cuadro 3. Comparación de medias de las variables morfológicas en chile jalapeño.	23
Cuadro 4. Comparación de medias de las variables morfológicas y de rendimiento en genotipos de chile jalapeño.	24
Cuadro 5. Estimaciones de parámetros genéticos y fenotípicos para nueve variables cuantitativas en nueve genotipos F ₂ de chile jalapeño.	25
Cuadro 6. Matriz de correlación genotípica entre características morfológicas y rendimiento de nueve poblaciones de F ₂ de chile jalapeño (<i>Capsicum annuum</i> L.).	26

Índice de figuras.

Figura 1. Principales países productores de chile. Fuente: Elaboración propia con datos del FAOSTAT 2024.....	8
Figura 2. Principales Estados productores de México de chile jalapeño.	9

Resumen

En la presente investigación se evaluaron nueve poblaciones F_2 de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con el objetivo estimar los parámetros genéticos en poblaciones F_2 de chile jalapeño para características morfológicas y de rendimiento. El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se analizaron nueve variables: altura de planta, ancho de planta, longitud y diámetro de tallo, longitud y ancho de hoja, número de frutos por planta, rendimiento por planta y peso promedio de fruto. Los datos se utilizaron para los análisis estadísticos de varianza y prueba de medias mediante Tukey ($P \leq 0.05$), además de la estimación de parámetros genéticos como varianza genotípica, fenotípica, coeficientes de variación y heredabilidad. Los resultados presentan diferencias significativas entre genotipos en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en altura de planta. Las variables número de frutos, rendimiento y peso promedio de fruto presentaron altos valores de heredabilidad (92.71%, 83.09% y 88.12%, respectivamente), lo que indica una fuerte influencia genética y un alto potencial de mejora mediante selección. El genotipo UA2 destacó por presentar el mayor número de frutos por planta, mientras que UA6 presentó el mayor rendimiento y UA5 el mayor peso promedio de fruto. En cuanto a las correlaciones genéticas, se observaron asociaciones positivas entre longitud de hoja y peso promedio de fruto, así como entre ancho de planta y rendimiento. Además, se identificó una correlación negativa entre número de frutos y peso promedio de fruto. Los resultados obtenidos presentan variabilidad genética en las poblaciones F_2 evaluadas, lo cual constituye una base importante para la selección de genotipos en programas de mejoramiento genético de chile jalapeño.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., Parámetros genéticos, Mejoramiento genético, heredabilidad.

Abstract

In the present study, nine F_2 populations of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) were evaluated in order to estimate genetic parameters for morphological and yield traits. The experiment was conducted at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, in Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico, under a randomized complete block design with four replications. Nine variables were analyzed: plant height, plant width, stem length and diameter, leaf length and width, number of fruits per plant, yield per plant, and average fruit weight. Data were subjected to analysis of variance and mean comparison by Tukey's test ($P \leq 0.05$), in addition to the estimation of genetic parameters such as genotypic variance, phenotypic variance, coefficients of variation, and heritability.

The results showed significant differences among genotypes for most of the evaluated variables, except for plant height. The traits number of fruits, yield, and average fruit weight showed high heritability values (92.71%, 83.09%, and 88.12%, respectively), indicating a strong genetic influence and high potential for improvement through selection. Genotype UA2 stood out for presenting the highest number of fruits per plant, whereas UA6 showed the highest yield and UA5 the highest average fruit weight. Regarding genetic correlations, positive associations were observed between leaf length and average fruit weight, as well as between plant width and yield. In addition, a negative correlation was identified between number of fruits and average fruit weight. The obtained results revealed genetic variability in the evaluated F_2 populations, which represents an important basis for genotype selection in jalapeño pepper breeding programs.

Keywords: *Capsicum annuum* L., genetic parameters, genetic improvement, heritability.

I. Introducción

El chile es un cultivo de alta producción y gran importancia a nivel mundial, caracterizado por su amplia diversidad genética. El género *Capsicum*, perteneciente a la familia Solanaceae, incluye diversas variantes que se distinguen por características del fruto como tamaño, forma, color y grado de pungencia (Leyva-Ovalle *et al.*, 2018; Bosland & Votava, 2012). Con base en este último atributo, los chiles pueden clasificarse en picantes, generalmente asociados a frutos de menor tamaño, y dulces, que suelen presentar frutos de mayor tamaño (Pérez-Castañeda, 2015).

México es reconocido como uno de los principales centros de origen y domesticación de *Capsicum annuum* L., lo que ha contribuido significativamente a la diversidad genética presente en este cultivo (Moscone *et al.*, 2003; Salinas *et al.*, 2021). Además, el chile destaca por su alto valor nutricional, ya que contiene vitaminas A, C y B6, así como compuestos bioactivos, antioxidantes y capsaicinoides responsables de la pungencia, lo que favorece su consumo tanto en fresco como en seco (Olatunji *et al.*, 2018; Guzmán y Bosland, 2018; Pérez-Castañeda, 2015). En este sentido, su consumo ha ido en incremento debido a sus múltiples beneficios para la salud y su importancia en la alimentación a nivel nacional e internacional (Tripodi y Kumar, 2019).

En los programas de mejoramiento genético, una de las estrategias más utilizadas para la selección de genotipos de chile es la evaluación en la generación F_2 , ya que en esta etapa se presenta la máxima segregación genética, lo que permite identificar combinaciones favorables de caracteres. Por ello, resulta fundamental el aprovechamiento de la variabilidad genética disponible, así como la adecuada selección de líneas parentales para el desarrollo de híbridos con alto rendimiento y estabilidad (Acquaah, 2012; Karim *et al.*, 2021). Asimismo, estudios en generaciones F_2 han demostrado que la segregación de características cualitativas y cuantitativas es clave para la selección de genotipos con mayor calidad y productividad (Htwe *et al.*, 2017).

En México, la producción de chile jalapeño alcanza 783,332.53 toneladas, siendo los estados de Chihuahua, Sinaloa, Michoacán y Jalisco los principales productores, ya que en conjunto representan el 79.36% de la producción nacional (SIAP, 2024). En este contexto, el desarrollo de nuevos genotipos de chile jalapeño permite reducir la dependencia de semillas importadas, disminuir la fuga de divisas y aumentar el rendimiento y la calidad del cultivo, beneficiando tanto a productores como a consumidores (Hernández-Hernández *et al.*, 2019).

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General

Estimar los parámetros genéticos en poblaciones F2 de chile jalapeño para características morfológicas y de rendimiento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la variabilidad de las características morfológicas en las poblaciones F2 de chile jalapeño.
- Estimar los componentes de varianza genética y fenotípica, así como la heredabilidad de las características morfológicas y de rendimiento.
- Identificar características de interés para la selección en programas de mejoramiento genético.
- Analizar la asociación entre características morfológicas y de rendimiento mediante correlaciones genéticas.

1.3 Hipótesis

- H_0 : No existe variabilidad genética significativa entre las poblaciones F2 de chile jalapeño para las características morfológicas y de rendimiento evaluados; por lo tanto, los componentes de varianza genética y la heredabilidad no permiten identificar características útiles para la selección.
- H_1 : Existe variabilidad genética significativa entre las poblaciones F2 de chile jalapeño para las características morfológicas y de rendimiento evaluados; por lo tanto, los componentes de varianza genética y la heredabilidad permiten identificar características útiles para la selección.

II. Revisión de literatura

2.1 Origen

El centro de origen de *Capsicum* se encuentra en América del Sur, que abarca desde Bolivia hasta el sur de Brasil, las especies de *Capsicum* pasaron por distintas culturas y domesticado en México (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012). México se considera como centro de diversidad de *C. annuum*, las especies más comunes que han sido domesticadas son serranos, jalapeños y anchos señala (Aguilar-Meléndez *et al.*, 2022). Los vestigios arqueológicos indican que fueron encontradas semillas de *Capsicum* en el valle de Tehuacán, con un aproximado de 8500 años de antigüedad (Cázares-Sánchez *et al.*, 2005).

El género *Capsicum* es considerada una de las plantas primordiales domesticadas en Mesoamérica, teniendo aproximadamente 30 especies de este género como *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens* de las cuales son domesticadas, en México son cultivadas estas anteriores, a excepción de *C. baccatum*, de las cuales no es utilizada por el hombre (López, P. L., y García., 2006).

(Corona-Torres *et al.*, 2000). Menciona que desde el punto de vista agrícola una de las especies más importante es *C. annuum*, la cual es originaria de México, que se caracteriza por tener chiles de frutos grandes, como también chiles de frutos pequeños y picosos, lo cual la ha posicionado la especie con mayor importancia mundial.

2.2 Descripción botánica

El chile es una planta dicotiledónea, herbácea, en ocasiones sub-arbustiva, es considerada perenne, de vida corta pero cultivada como anual. (Fornaris, G.J 2007).

Un punto importante que diferencia los materiales silvestres de los materiales domesticados es la posición del fruto, si el fruto está erecto es silvestre, sin embargo, si la posición del fruto es colgante es domesticado. (Martín, N. C., y González, W. G, 1991). El fruto, donde son encontradas las semillas, es una baya hueca carnosa semicartilaginosa, varía en tamaños puede tener tamaños de 1 cm hasta 30 cm de largo, su forma puede ser redondo o alargado, respecto a los colores oscilan de distintos tonos de amarillo y verde en estado inmaduro, a rojo y en estado maduro de un color café (Hernández, S. A. M., & Fernández, G. D, 2007).

2.3 Clasificación Taxonómica

Categoría clasificación (ITS, 2026).

Reino: Plantae

Subreino: Viridiplantae

Superdivisión: embriofita

División: Traqueófitas

Subdivisión: Spermatophytina

Clase: Magnoliopsida

Superorden: Asteranas

Orden: solanales

Familia: Solanáceas

Género: *Capsicum* L.

Especies: *Capsicum annuum* L.

2.4 Importancia de la producción de chile

Los principales aspectos de importancia del cultivo del chile son: su participación elevada en el valor de la producción agrícola, es una de las opciones que genera mayores ingresos para los productores y es uno de los principales generadores de empleo (Hernández, R. A., & Frausto, G. E., 2010).

El chile es uno de los cultivos agrícolas más importantes en México y en el mundo, por su consumo en fresco y seco, es de importancia porque proporciona color, sabor y aroma a una infinidad de platillos, es por eso que se considera una de las principales especies (Aguilar Rincón, 2012).

En México la principal especie que se cultiva es *C. annuum*, ya que está presenta una gran diversidad morfológica, de las más importantes económicamente y cultivada en todas las regiones agrícolas de México, algunos de los pertenecientes a esta especie son: los chiles serranos, jalapeños, pasilla, morrón, entre otros (Hernández-Verdugo *et al.*, 1998).

2.5 Producción mundial

El chile es una especie de gran importancia comercial debido a su alta producción, China se posiciona como el principal productor mundial (FAOSTAT 2024). Representa casi la mitad de producción, lo cual demuestra una gran capacidad de producción y participación en el mercado, teniendo una producción de aproximadamente 17,330,858.32 toneladas que representa el 38.74% del total de producción.

El país que se posiciona como segundo productor mundial encontramos a India con una producción de 5,317,989.29 toneladas, un equivalente del 11.88% del total, su producción es significativa, sin embargo, se encuentra muy por debajo de China.

Turquía se encuentra en el tercer productor mundial con un equivalente de producción de 3,428,038 toneladas, representando el 7.66% de producción. En seguida se encuentra México con 3,220,428.46 toneladas, lo que representa el 7.20% posicionándolo como el cuarto productor mundial y finalmente encontramos a Indonesia teniendo una producción de 3,038,082 toneladas representando el 6.79%, su participación es menor a comparación de China, sin embargo, es significativa para el abastecimiento y la comercialización mundial. Como resultado de estos cinco principales productores suma el 71.27% del total de la producción mundial, más de la mitad de todo lo que se produce mundialmente

(FAOSTAT 2024).

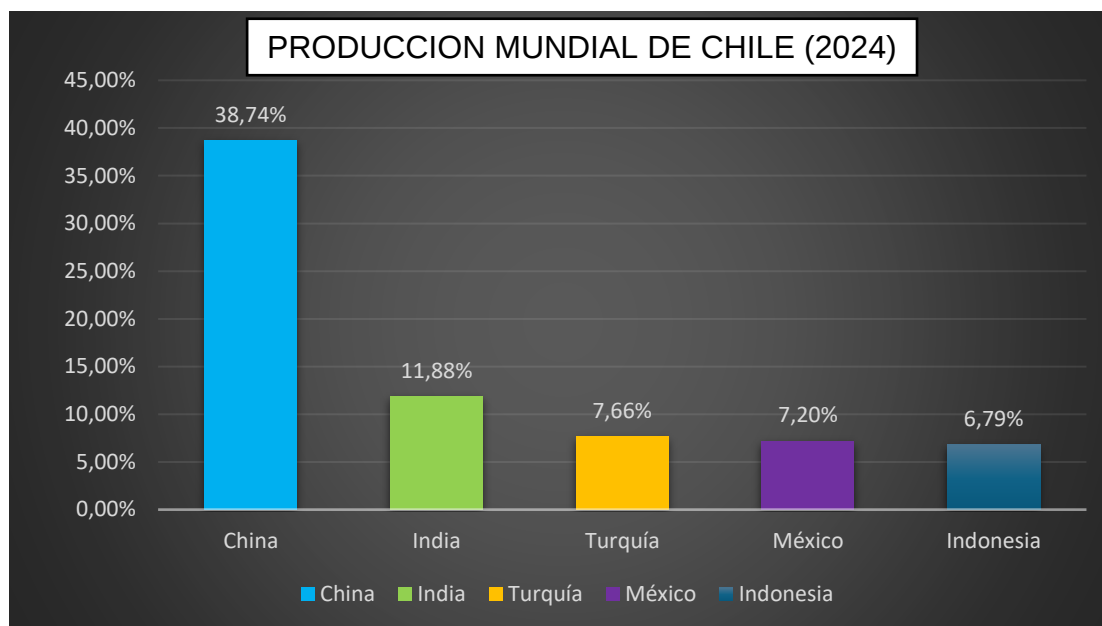


Figura 1. Principales países productores de chile. Fuente: Elaboración propia con datos del FAOSTAT 2024.

2.6 Producción nacional

La producción de chile jalapeño tiene gran importancia económica como también gastronómica, ya que en México se consume y produce grandes cantidades de chile jalapeño, en fresco, en seco y en conservas.

El principal productor nacional de chile jalapeño es Chihuahua, con una producción de 309,438.50 toneladas, siendo el 39.50% equivalente a el total de producción nacional.

El segundo principal productor es Sinaloa, con una producción de 184,025.28 toneladas, lo que equivale al 23.49%.

Como tercer lugar tenemos a Michoacán con un total de producción de 77,754.50 toneladas con un porcentaje del 9.93%, por último, tenemos a Jalisco posicionado como el cuarto principal productor de chile jalapeño teniendo una producción de 50,435.16 toneladas siendo el 6.44% equivalente al total de la producción nacional, los porcentajes son por debajo de Chihuahua y Sinaloa, pero su producción es significativa para las regiones correspondientes y para posibles exportaciones de chile jalapeño.

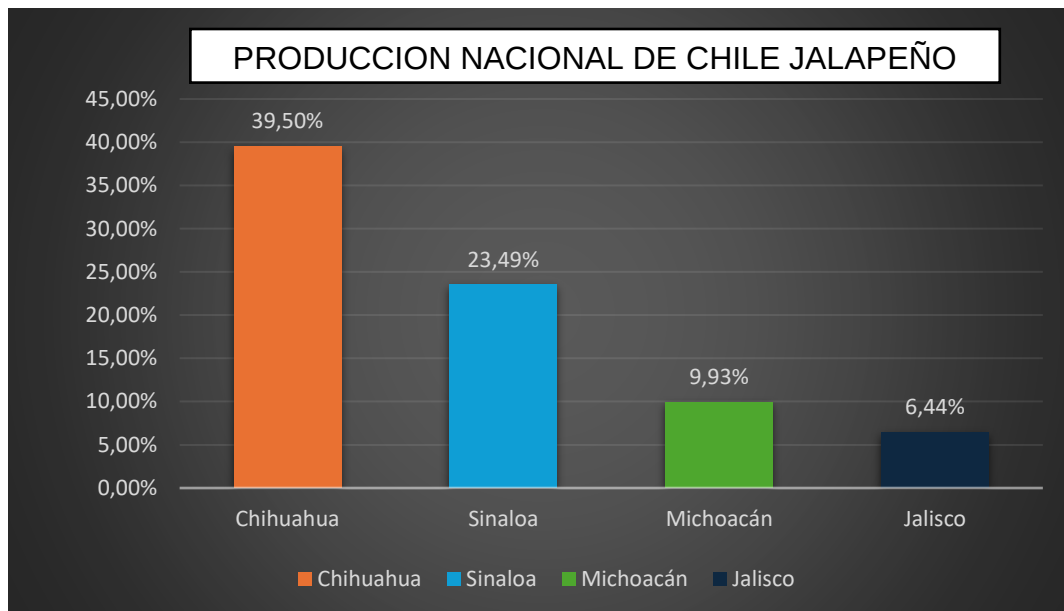


Figura 2. Principales Estados productores de México de chile jalapeño.

Fuente: Elaboración propia con datos del FAOSTAT 2024.

2.7 Importancia de F₂ en chile

El fitomejoramiento es una herramienta de máxima importancia ya que nos ayuda a la obtención de semillas con características específicas, que permitan al productor tener semillas a un costo menor y propiedades agronómicas adaptadas a la región. Zúñiga-Orozco *et al.*, (2021) analizaron líneas de F₂ de chile lamuyo y blocky de las cuales tuvo como resultado que en todas sus variables cuantitativas presentaron diferencias significativas en cuanto al cruce y genotipo

que da resultado a la heterogeneidad en la F_2 , en cuanto al estudio de la F_2 se confirmó la presencia de dominancia incompleta para el carácter forma de fruto observado en la F_1 .

Nascimento *et al.*, (2025) argumenta la importancia que tiene anticipar los valores de las plantas en este caso del pimiento que es crucial para los programas de mejoramiento genético ayuda a la mejora de selección de nuevos genotipos, los mejoradores buscan las características favorables como lo es: atractivo estético, color, tamaño, peso entre otras, que sean favorables para obtener un fruto deseado y que sea un genotipo de alto potencial.

El mejoramiento genético es un eslabón primordial para la cadena agroindustrial en las plantas ornamentales, poniendo como prioridad seleccionar cultivos que sean resistentes a plagas, enfermedades y estreses abióticos y bióticos, con algunas de las características que requiera el productor para su mercado como tamaño de fruto, precocidad, calidad de fruto, capacidad y longevidad (Lerma y Mozqueda, 2014). El programa de mejoramiento de pimientos ornamentales ha hecho posible seleccionar líneas con mayor vida útil postproducción, de la mano también han llevado trabajos donde tienen líneas con mayor resistencia al etileno, así como también desarrollar 30 híbridos intraespecíficos, con ello generaron algunas familias F_2 las cuales se encuentran en evaluación (Silvia Neto *et al.*, 2014).

La metodología más utilizada para estimar la herencia de características de rendimiento y junto con esto también identificar los progenitores superiores son las cruas dialélicas, los efectos aditivos y dominantes se han estimado que tienen un efecto en las características del rendimiento y estas son influyentes en la expresión fenotípica, sin embargo, si los efectos dominantes son mayores que los aditivos, esto significa que la dominancia contribuye más en la herencia del

número y peso de frutos. Es de gran importancia del conocimiento de la estructura genética y de los mecanismos de herencia, es primordial para tener una implementación de un programa de mejoramiento genético inducido para incrementar los rendimientos por hectárea (Aguilar y Garcia, 2013).

2.8 Correlaciones genotípicas

Las correlaciones genotípicas constituyen una herramienta importante en el mejoramiento genético vegetal, ya que permiten conocer la magnitud y dirección de la asociación entre caracteres de interés y, con ello, apoyar la selección indirecta de rasgos complejos como el rendimiento. Por lo tanto, los modelos mixtos ajustados por REML (Restricted Maximum Likelihood; máxima verosimilitud restringida) y la obtención de valores BLUPs (Best Linear Unbiased Predictions; mejores predicciones lineales insesgadas) permiten predecir valores genotípicos con mayor precisión, al considerar simultáneamente diferentes fuentes de variación presentes en el experimento (Henderson, 1975; Resende, 2016; Bates *et al.*, 2015). A partir de estos valores predichos, es posible estimar asociaciones entre caracteres útiles para identificar rasgos morfológicos o agronómicos relacionados con el desempeño productivo y, por lo tanto, con potencial de aprovechamiento en programas de selección. De esta manera, el análisis de correlaciones basado en BLUPs aporta información relevante para interpretar la respuesta conjunta de los caracteres y fortalecer la toma de decisiones en fitomejoramiento (Hernández-Ibáñez *et al.*, 2017; Al-Ashkar *et al.*, 2021).

En los programas de fitomejoramiento, la selección generalmente se realiza con base en múltiples caracteres, por lo que el progreso genético puede volverse complejo y depender en gran medida de las correlaciones genéticas entre rasgos. Cuando dos caracteres presentan correlación positiva, la selección puede

favorecer simultáneamente la mejora de ambos mediante selección directa, indirecta o mediante índices de selección; en cambio, las correlaciones negativas pueden limitar el avance conjunto de caracteres deseables y representar un reto para el fitomejorador (Bernardo, 2010; Al-Ashkar *et al.*, 2020). Sin embargo, la heredabilidad, la ganancia genética y la correlación genética entre caracteres son parámetros fundamentales para predecir la respuesta a la selección (Falconer & Mackay, 1996). Asimismo, la selección puede ser más eficiente dentro de genotipos establecidos, y la ganancia genética para múltiples caracteres puede incrementarse mediante estrategias de selección intencional orientadas a combinar medias superiores, mayor ganancia genética y asociaciones favorables entre caracteres (Neyhart *et al.*, 2019).

Los BLUPs son predicciones del efecto genotípico obtenidas a partir de modelos mixtos, que permiten estimar el comportamiento relativo de cada genotipo para una característica, ajustando por otras fuentes de variación presentes en el experimento (Henderson, 1975; Resende, 2016).

III. Materiales y métodos

3.1 Localización del sitio experimental

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicadas en Buenavista, Saltillo, Coahuila. El sitio experimental se localiza en las coordenadas geográficas 25° 22' de latitud norte y 101° 00' de longitud oeste, a una altitud de 1754 metros sobre el nivel del mar. Teniendo un clima principalmente semiseco templado, caracterizado por veranos largos y cálidos e inviernos cortos, secos y fríos. La temperatura media anual ronda los 17°C, con mañanas frescas y días agradables, variando generalmente entre 5°C y 29°C durante el año, teniendo una clave de BS1 Fuente INEGI, 2010.

3.2 Siembra

La semilla utilizada en el ensayo se desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 3% durante un período de 20 minutos. Posteriormente, la siembra se realizó de forma manual en charolas con 200 cavidades de poliestireno, utilizando como sustrato en proporción 70:15:15 se compone de un 70% de peat moss, un 15% de perlita y un 15% de humus de lombriz. En cada cavidad se colocó una semilla.

3.3 Trasplante

El establecimiento en campo se llevó a cabo mediante trasplante a los 55 días posteriores a la siembra, en mayo de 2024, utilizando una densidad de 33,000 plantas por hectárea.

Los lotes experimentales se integraron por 50 plantas cada una, dispuestas a 20 cm de distancia entre plantas, bajo un arreglo en doble hilera con separación de 1.6 m entre hileras.

3.4 Descripción de las entradas.

La población de F₂ de chile jalapeño fueron obtenidos de nueve híbridos de una colecta realizada en diferentes localidades de Chihuahua: a partir de estos materiales: Godzilla (UA1), Baluarte (UA2), Baluarte Lux (UA3), Bravo (UA4), Mixteco (UA5), Orizaba (UA6), Odiseo (UA7), Marajá (UA8) y HEB (UA9)

3.5 Variables evaluadas

Se registraron 9 variables morfológicas y de rendimiento:

1. Altura de la planta (ALT, cm): Se midió cuando comenzó a madurar el primer fruto en el 50% de las plantas.
2. Ancho de la planta (AP, cm): Se midió después de la primera cosecha, desde el punto más ancho.
3. Longitud de tallo (LT, cm): Se midió desde la base del tallo (a nivel del suelo o cuello de la planta) hasta el punto donde inicia la primera bifurcación o ramificación principal.
4. Diámetro tallo (DT, cm): Se midió en la parte del medio hasta la primera bifurcación, inmediatamente después de la primera cosecha.
5. Longitud de la hoja (LH, cm): Se determinó midiendo la distancia desde la base de la lámina foliar, en la unión con el pecíolo, hasta el ápice de la hoja.
6. Ancho de la hoja madura (AHM, cm): Se midió en la parte más ancha de la hoja.
7. Número de frutos por planta (NFP): Se realizó un conteo de todos los frutos cosechados.
8. Rendimiento (REND, t ha⁻¹): El rendimiento se estimó con base en el peso total de frutos por planta y se transformó a toneladas por hectárea considerando una densidad de plantación de 33,000 plantas ha⁻¹. La

cosecha inició a los 80 días después del trasplante, realizándose cuatro cortes con intervalos de 15 días.

9. Peso promedio de fruto (PPF, g): Se pesaron el total de los frutos cosechados por planta, se dividió dicho valor entre el número total de frutos, expresando el resultado en gramos.

3.6 Diseño experimental

El diseño experimental se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición consistió en 50 plantas, totalizando 200 plantas por entrada. Para la evaluación, se seleccionaron 20 plantas por entrada a lo largo de las cuatro repeticiones.

$$\gamma_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

γ_{ijk} = Observación en la unidad experimental k , tratamiento i , bloque(repetición) j .

μ = Efecto de la media general

α_i = Efecto del tratamiento i .

β_j = Efecto del bloque j

ε_{ij} = Error experimental

Se llevó a cabo una comparación de medias donde se utilizó la prueba Tukey (HSD) con un nivel de significancia del ($P \leq 0.05$).

$$HSD = q_{\alpha, k, glerror} \cdot \sqrt{\frac{CM_{error}}{n}}$$

donde $q \propto k, glerror$ corresponde al valor crítico de la distribución del rango studentizado para un nivel de significancia α, k tratamientos y $glerror$ grados de libertad del error; $CM error$ es el cuadrado medio del error obtenido del análisis de varianza; y n es el número de observaciones por tratamiento.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R Statistical (R Core Team, 2024).

3.7 Parámetros genéticos

Los parámetros genéticos se estimaron a partir de una medida simple, considerando la varianza fenotípica (σ^2p), varianza genotípica (σ^2g), los coeficientes de variación fenotípica y genotípica (CVP y CVG), así como la heredabilidad en sentido amplio (H^2), de acuerdo con los métodos propuestos por Singh y Chaudhary (1985).

Para determinar las correlaciones genéticas entre caracteres cuantitativos, se ajustaron modelos mixtos lineales, considerando el bloque como efecto fijo y el genotipo como efecto aleatorio, siguiendo la estructura:

$$y_{ij} = \mu + B_i + G_j + \varepsilon_{ij}$$

donde y_{ij} representa la observación del genotipo j en el bloque i , B_i el efecto fijo del bloque, G_j el efecto aleatorio del genotipo y ε_{ij} el error residual.

3.8 Correlaciones genotípicas

Los modelos se ajustaron mediante el método REML (Restricted Maximum Likelihood; máxima verosimilitud restringida) usando el paquete lme4 (Bates et

et al., 2015). A partir de los efectos aleatorios de genotipo, se obtuvieron los valores BLUPs (Best Linear Unbiased Predictions o Mejor Predicción Lineal Insesgada) para cada rasgo (Resende, 2016).

Las correlaciones genéticas (r_g) se calcularon como el coeficiente de correlación de Pearson entre los BLUPs de cada par de características (Hernández-Ibáñez *et al.*, 2017; Figueiredo *et al.*, 2024).

IV. Resultados y Discusión.

4.1 Altura de la planta.

En el análisis de varianza (Cuadro 1), no se encontraron diferencias significativas entre genotipos ni entre repeticiones para la altura de planta en chile jalapeño. El coeficiente de variación fue de 12.91%. En la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), no se observaron diferencias entre los genotipos evaluados, por lo que se considera que esta variable presentó un comportamiento similar entre los materiales estudiados.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Beltrán-Morales *et al.* (2016), quienes encontraron rangos semejantes de altura de planta en genotipos de chile jalapeño como Don Julio y Euforia.

4.2 Ancho de Planta

En el análisis de varianza para ancho de planta (Cuadro 1), se encontraron diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.01$), mientras que en repeticiones no se detectaron diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 8.63%. En la prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), el genotipo UA2 presentó el mayor ancho de planta con 53.10 cm, mientras que UA3 registró el valor más bajo con 32.55 cm.

Por lo tanto, esta característica mostró variación entre los genotipos evaluados. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Duarte y Contreras (2012), quienes también observaron variabilidad entre genotipos de chile jalapeño en variables relacionadas con el comportamiento agronómico.

4.3 Longitud de tallo

Para la longitud de tallo, el análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias significativas entre genotipos y también entre repeticiones ($P \leq 0.05$). El coeficiente de variación fue de 20.63%, siendo el valor más alto entre las variables evaluadas en este cuadro. En la comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), el genotipo UA3 presentó la mayor longitud de tallo con 15.29 cm, mientras que UA9 registró la menor con 8.38 cm.

Sin embargo, aunque los valores obtenidos en este estudio fueron menores a los reportados por Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2016), sí se mantiene la misma tendencia de variación entre genotipos. Estos autores encontraron diferencias en la caracterización morfológica de genotipos de *Capsicum annuum* L., lo cual respalda lo observado en esta investigación.

4.4 Diámetro de tallo

En el diámetro de tallo, el análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.05$), mientras que en repeticiones no se encontraron diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 10.58%. De acuerdo con la prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), el genotipo UA5 presentó el mayor diámetro de tallo con 1.53 cm, mientras que UA7 mostró el menor valor con 1.03 cm.

Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Beltrán-Morales *et al.* (2016), quienes también reportaron diferencias significativas entre genotipos de chile jalapeño y encontraron que el genotipo Don Julio presentó el mayor diámetro de tallo de 1.00 cm.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables morfológicas de chile jalapeño.

FV	GL	ALT	AP	LT	DT
Genotipo	8	42.95ns	226.37**	17.54*	0.11**
Rep	3	18.53ns	15.41ns	5.05*	0.00ns
Error	24	31.18	12.51	6.95	0.02
CV (%)		12.91	8.63	20.63	10.58
Máximo		55.80	59.30	18.90	1.80
Promedio		43.27	40.94	12.77	1.23
Mínimo		30.10	30.40	5.80	0.90

FV: Fuentes de variación; GL: Grados de libertad; ALT: Altura de planta; AP: Ancho de planta; LT: Longitud de tallo; DT: Diámetro de tallo; ** = Significativo al 0.01, * = Significativo al 0.05, NS: No significativo, CV= Coeficiente de variación.

4.5 Longitud de hoja

El análisis de varianza para la longitud de hoja (Cuadro 2) presentó diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.01$), mientras que en repeticiones no se detectaron diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 6.74%. En la comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), el genotipo UA6 presentó la mayor longitud de hoja con 11.45 cm, mientras que UA9 mostró el valor más bajo con 8.85 cm.

Estos resultados son similares a los reportados por Hernández-Verdugo *et al.* (2015), quienes encontraron diferencias significativas en poblaciones de *Capsicum annuum* L. para esta característica.

4.6 Ancho de hoja madura

En el análisis de varianza (Cuadro 2), se observaron diferencias significativas para los genotipos de chile jalapeño ($P \leq 0.05$), mientras que para las repeticiones no se encontraron diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 8.09%, de acuerdo con las pruebas de medias se encontró que el genotipo UA5 fue el que sobresalió con 5.2 cm, el genotipo con menor diámetro de hoja con

AU9 3.8 cm. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Quevedo y Laurentin (2020), quienes reportaron un promedio de 5.3 cm en la variedad Rosita de *Capsicum chinense* Jacq., valor cercano al observado en la presente investigación.

4.7 Numero de frutos

El análisis de varianza Cuadro 2 para la variable de numero de frutos, presentó diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.01$), mientras que en repeticiones no se encontraron diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 11.28%. En la comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), el genotipo UA2 presentó el mayor número de frutos con 51.25 frutos por planta, mientras que UA8 registró el menor valor con 14.25 frutos por planta.

Sin embargo, estos resultados son diferentes de los reportados por Vázquez-Badillo *et al.* (2019), quienes encontraron valores menores en genotipos de chile jalapeño evaluados bajo condiciones de invernadero.

4.8 Rendimiento

Para la variable rendimiento, el análisis de varianza (Cuadro 2) indicó diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.01$), mientras que en repeticiones no se detectaron diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 9.92%. De acuerdo con la prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), el genotipo UA6 presentó el mayor rendimiento con 58.92 t ha^{-1} , mientras que UA8 mostró el menor rendimiento con 25.90 t ha^{-1} .

Por lo tanto, los resultados muestran que existió variación en el desempeño productivo de los genotipos evaluados. Esto concuerda con Sandoval *et al.*

(2006), quienes también reportaron diferencias significativas entre genotipos de chile jalapeño en variables relacionadas con el rendimiento.

4.9 Peso promedio de fruto

Para la variable rendimiento, el análisis de varianza (Cuadro 2) indicó diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.01$), mientras que en repeticiones no se detectaron diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 9.92%. De acuerdo con la prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), el genotipo UA6 presentó el mayor rendimiento con 58.92 g de fruto por planta, mientras que UA8 mostró el menor rendimiento con 25.90 g por planta.

Marcia y Portillo (2009) reportaron diferencias significativas en el peso promedio de fruto al evaluar siete híbridos de chile jalapeño. En su estudio, el híbrido Ixtapa presentó el mayor peso promedio con 25.51 g, mientras que Mitla registró el menor valor con 21.65 g por fruto. Estos resultados coinciden con lo observado en la presente investigación, donde también se encontraron diferencias entre genotipos para esta variable.

Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables de longitud de hoja, ancho de hoja madura, numero de frutos, rendimiento y peso promedio del fruto de chile jalapeño.

FV	GL	LH	AHM	NF	REND	PPF
Genotipo	8	3.18**	0.76**	657.30**	342.79**	655.12**
Rep	3	0.57ns	0.12ns	10.74ns	2.18ns	0.66ns
Error	24	0.49	0.15	12.68	16.59	21.36
CV (%)		6.74	8.09	11.28	9.92	10.05
Máximo		12.70	5.90	57.00	68.01	69.11
Promedio		10.40	4.78	31.56	41.05	45.96
Mínimo		8.00	3.60	12.00	23.15	22.13

FV: Fuentes de variación; GL: Grados de libertad; LH: Longitud de hoja; AHM: Ancho de hoja madura; NF: Numero de frutos; REND: Rendimiento; PPF: Peso promedio de fruto; **= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05, NS: No significativo, CV= Coeficiente de variación.

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables morfológicas en chile jalapeño.

Genotipo	Altura de planta	Ancho de planta	Longitud de tallo	Diámetro de tallo	Longitud de hoja
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
UA1	43.53a	52.93a	12.15ab	1.30abc	11.00ab
UA2	38.03a	53.10a	12.00ab	1.13bc	10.13abc
UA3	41.13a	32.55c	15.29a	1.43ab	9.65bc
UA4	48.30a	38.65bc	14.77a	1.10c	9.93abc
UA5	40.85a	35.90bc	11.85ab	1.53a	11.18ab
UA6	45.13a	41.30b	14.63ab	1.28abc	11.45a
UA7	47.35a	42.80b	13.18ab	1.03c	10.05abc
UA8	43.40a	35.27bc	12.73ab	1.13bc	11.35a
UA9	41.70a	36.00bc	8.38b	1.15bc	8.85c

UA1: Godzila, UA2: Baluarte, UA3: Baluarte Lux, UA4: Bravo, UA5: Mixteco, UA6: Orizaba, UA7: Odiseo, UA8: Maraja, UA9: HEB.

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables morfológicas y de rendimiento en genotipos de chile jalapeño.

Genotipo	Ancho de la hoja madura (cm)	Numero de frutos	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso promedio de frutos (g)
UA1	5.15a	46.00ab	43.50bc	39.03de
UA2	5.10 ^a	51.25 ^a	43.64bc	30.32ef
UA3	4.78 ^a	21.75ef	39.76bc	60.63ab
UA4	5.00a	25.75de	39.05bc	44.23cd
UA5	5.20 ^a	17.75ef	36.75c	62.13a
UA6	4.78 ^a	33.00cd	58.92a	54.94abc
UA7	4.48ab	33.00cd	48.06b	50.21bc
UA8	4.71ab	14.25f	25.90d	47.12cd
UA9	3.80b	41.25bc	33.91cd	25.04f

UA1: Godzilla, UA2: Baluarte, UA3: Baluarte Lux, UA4: Bravo, UA5: Mixteco, UA6: Orizaba, UA7: Odiseo, UA8: Maraja, UA9: HEB.

4.10 Estimación de parámetros genéticos

Las estimaciones de parámetros genéticos del (Cuadro 5) donde se muestran las características evaluadas de poblaciones de F₂ chile jalapeño, donde se encontró que número de frutos, peso promedio del fruto y rendimiento presentaron altos valores de heredabilidad (92.71%, 88.12% y 83.09%), La heredabilidad se encuentra clasificada como baja (por debajo del 30%), media (30–60%) y alta (por encima del 60%), propuesto por Johnson *et al.* (1955).

En las presentes variables se observó una alta contribución genética a la variación fenotípica, reflejando en los coeficientes de variación genotípica (CVG), la comparación con los coeficientes de variación fenotípica (CVP), destacando su potencial de mejora mediante selección, especialmente en número de frutos (CVG: 40.22%, CVP: 41.78%), peso promedio del fruto (CVG: 27.39%, CVP: 29.18%) y rendimiento (CVG: 22.00%, CVP: 24.13%), lo que demuestra la gran parte de la variación que se observa en las variables de origen genético.

Además, se encontraron características con bajos valores de heredabilidad como lo son: para altura de planta, longitud de tallo y ancho de hoja con siguientes valores de heredabilidad (8.63%, 27.58 y 50.58, respectivamente), en el caso de

altura de planta presenta un elevado CVP: 13.50% y un reducido CVG: 3.96%, lo que da como resultado una fuerte influencia ambiental, para este caso, el mejoramiento para la caracterización de altura requiere a estrategias donde minimicen el efecto ambiental o implementar selección indirecta (Zannat *et al.*, 2023).

Cuadro 5. Estimaciones de parámetros genéticos y fenotípicos para nueve variables cuantitativas en nueve genotipos F₂ de chile jalapeño.

Variables	Media	σ^2g	σ^2p	CVP %	CVG %	H ² %
ALT	43.27	2.94	34.12	13.50	3.96	8.63
AP	40.94	53.47	65.97	19.84	17.86	81.04
LT	12.77	2.65	9.60	24.26	12.74	27.58
DT	1.23	0.02	0.04	16.27	12.38	57.89
LH	10.40	0.67	1.16	10.37	7.88	57.72
AHM	4.78	0.15	0.30	11.50	8.18	50.58
NF	31.56	161.16	173.83	41.78	40.22	92.71
REND	41.05	81.55	98.14	24.13	22.00	83.09
PPF	45.96	158.44	179.80	29.18	27.39	88.12

ALT: Altura de planta; AP: Ancho de planta; LT: Longitud de tallo; DT: Diámetro de tallo; LH: Longitud de hoja; AHM: Ancho de hoja madura; NF: Numero de frutos; REND: Rendimiento; PPF: Peso promedio de fruto, σ^2g : varianza genotípica; σ^2p : varianza fenotípica; CVP %: coeficiente de variación fenotípica; CVG %: coeficiente de variación genotípica; H² %: Heredabilidad.

4.11 Correlaciones genotípicas

La matriz de correlación genotípica estimada a partir de BLUPs se presenta en el Cuadro 6. Las correlaciones positivas más altas destacaron la correlación entre longitud de hoja y peso promedio de fruto ($r = 0.76$), lo que sugiere que las plantas con hojas más largas tienden a presentar frutos de mayor peso. También se observó una correlación positiva entre ancho de planta y rendimiento ($r = 0.65$), así como entre longitud de tallo y peso promedio de fruto ($r = 0.64$).

Estos resultados indican que algunas variables de crecimiento vegetativo pueden estar relacionadas con el comportamiento productivo de los genotipos. En este sentido, Monge-Pérez *et al.* (2022) reportaron resultados similares en *Capsicum*

annuum L., donde encontraron asociaciones entre variables morfológicas y características del fruto relacionadas con el rendimiento.

Por otra parte, la correlación negativa más alta se observó entre número de frutos y peso promedio de fruto ($r = -0.78$). Aunque esta relación no fue significativa, sí muestra una tendencia importante: cuando aumenta el número de frutos, el peso individual puede disminuir. Esto puede explicarse por la distribución de recursos dentro de la planta. Bosland y Votava (2012) también mencionan que el incremento en el número de frutos suele asociarse con una reducción en el peso individual, debido a la competencia por nutrientes y fotoasimilados.

Cuadro 6. Matriz de correlación genotípica entre características morfológicas y rendimiento de nueve poblaciones de F₂ de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.).

Características	Ancho de planta (cm)	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Longitud de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)	Numero de frutos	Rendimiento (g)	Peso promedio de frutos
Ancho de planta (cm)	1							
Longitud del tallo (cm)	0.18	1						
Diámetro del tallo (cm)	-0.05	-0.51	1					
Longitud de hoja (cm)	0.37	0.44	0.06	1				
Ancho de hoja (cm)	0.51	0.29	0.21	0.53	1			
Numero de frutos	0.32	-0.38	-0.11	-0.63	-0.23	1		
Rendimiento (g)	0.65	0.46	-0.14	-0.01	0.20	0.50	1	
Peso promedio de frutos	0.12	0.64	0.19	0.76	0.58	-0.78	0.05	1

V. Conclusión

En la presente investigación en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), se confirmó la existencia de variabilidad genética entre las poblaciones F_2 evaluadas, principalmente en variables relacionadas con el rendimiento. Las variables número de frutos, rendimiento y peso promedio de fruto presentaron altos valores de heredabilidad, lo que indica que están mayormente controladas por los efectos genéticos, siendo adecuadas para la selección directa en programas de mejoramiento genético. Sin embargo, variables como la altura de planta mostraron baja heredabilidad, evidenciando una mayor influencia del ambiente. Entre los genotipos evaluados, UA2 destacó por su alto número de frutos, UA6 por su mayor rendimiento y UA5 por su mayor peso promedio de fruto, lo que estos materiales son candidatos para futuros programas de selección. En las correlaciones genéticas sugieren que algunas características morfológicas, como el ancho de planta y la longitud de hoja, pueden emplearse como criterios indirectos de selección para mejorar el rendimiento. Sin embargo, la relación negativa entre número de frutos y peso promedio de fruto indica la necesidad de aplicar estrategias de selección equilibradas. Los resultados demuestran que las poblaciones F_2 evaluadas son fuente de variabilidad genética, con potencial para el desarrollo de genotipos de chile jalapeño adaptados a diferentes condiciones productivas.

VI. Literatura citada

- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Aguilar Rincón, V. H. (2012). Cultivo del chile en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(4), 264–264.
- Aguilar, F. S., Silva, B. A., & García, M. A. (2013). Análisis de medias generacionales para estimar parámetros genéticos de rendimiento en una cruza de pimentón y ají Cayenne (*Capsicum annuum*). *Acta Agronómica*, 62(1), 73.
- Aguilar-Meléndez, A., Katz, E., Vásquez-Dávila, MA y Barboza, GE (2022). *Capsicum annuum* L. var. *annuum* *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill *Capsicum chinense* Jacq. *Capsicum frutescens* L. *Capsicum lanceolatum* (Greenm.) CV Morton & Standley *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. *Capsicum rhomboideum* (Dunal) Kuntze Solanáceas. En *Etnobotánica de las Regiones Montañosas de México* (págs. 1-17). Cham: Editorial Internacional Springer.
- Al-Ashkar, I., Alderfasi, A., Ben Romdhane, W., Seleiman, M. F., El-Said, R. A., & Al-Doss, A. (2020). Morphological and genetic diversity within salt tolerance detection in eighteen wheat genotypes. *Plants*, 9(3), 287.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., & González-Zamora, A. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(7), 143–149.
- Bernardo, R. (2010). Quantitative traits in plant breeding. *Stemma*, Woodbury, MN.
- Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012). *Peppers: Vegetable and spice capsicums* (Vol. 22). CABI.
- Cázares-Sánchez, E., Ramírez-Vallejo, P., Castillo-González, F., Soto-Hernández, R. M., Rodríguez-González, M. T., & Chávez-Servia, J. L. (2005). Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia*, 39(6), 627–638.
- Corona-Torres, T., García-Velázquez, A., Castillo-González, F., Montero-Tavera, V., & Azpiroz-Rivero, H. S. (2000). Caracterización isoenzimática de la

- diversidad genética de colectas de Chile (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(1), 5–17.
- do Nascimento, A. M. M., Ruiz-Gonzalez, R., Martínez-Martínez, V., Medeiros, A. M., Santos, F. S. D., Rêgo, E. R. D., ... & Barroso, P. A. (2025). Ornamental potential classification and prediction for pepper plants (*Capsicum* spp.): A comparison using morphological measurements and RGB images as data source. *Applied Sciences*, 15(14), 7801.
- Duarte, R. M., Contreras, R. L. G., & Contreras, F. R. (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del Chile jalapeño. *Biotecnia*, 14(3), 32–38.
- Elizondo-Cabalceta, E., & Monge-Pérez, J. E. (2016). Caracterización morfológica de 12 genotipos de Chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 60–72.
- Falconer, D. S., & Mackay, F. C. (1996). Introduction to Quantitative Genetics. In *Introduction to Quantitative Genetics* (pp. 464-464).
- FAOSTAT. 2024. Cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fornaris, G. J. (2007). Características de la planta. En *Conjunto tecnológico para la producción de tomate de ensalada* (Publicación 166). Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico.
- Guzmán, I., & Bosland, P. W. (2018). Una cuestión de gusto: la diversidad de capsaicinoides en los chiles y su importancia para la preferencia alimentaria humana. En *Capsaicina y su desarrollo terapéutico en humanos*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen>
- Henderson, C. R. (1975). Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, 31, 423–447.
- Hernández, R. A., & Frausto, G. E. (2010). Situación y perspectivas de la producción de Chile seco en Zacatecas. *Revista de Geografía Agrícola*, (45), 19–38.
- Hernández, S. A. M., & Fernández, G. D. (2007). *Chile*. Duncker & Humblot.
- Hernández-Hernández, H., Sánchez-Aspeytia, D., Vázquez-Badillo, M. E., Ruiz-Torres, N. A., & Robledo-Torres, V. (2019). Comportamiento agronómico de seis genotipos de Chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Agraria de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*, vol. 16, núm. 2.
- Hernández-Ibáñez, L., Sahagún-Castellanos, J., Rodríguez-Pérez, J. E., & Peña-Ortega, M. G. (2017). Predicción de rendimiento y firmeza de fruto de híbridos de tomate con BLUP y RR-BLUP mediante marcadores

moleculares ISSR. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 23(1), 21–34.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.06.021>

- Hernández-Verdugo, S., González-Sánchez, R. A., Porras, F., Parra-Terraza, S., Valdez-Ortiz, A., Pacheco-Olvera, A., & López-España, R. G. (2015). Plasticidad fenotípica de poblaciones de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en respuesta a disponibilidad de luz. *Botanical Sciences*, 93(2), 231–240.
- Hernández-Verdugo, S., Guevara-González, R. G., Rivera-Bustamante, R. F., Vázquez-Yanes, C., & Oyama, K. (1998). Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) como recursos genéticos. *Botanical Sciences*, (62), 171–181.
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R. G., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., & Osuna Enciso, T. (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, (33), 175–191.
- Htwe, C. S. S., Thwe, A. A., Htwe, N. M., Aung, M. Z. N., & Myint, K. T. (2017). Variation and segregation in F2 population of hot pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of Agricultural Research*, 4, 86–94.
- Integrated Taxonomic Information System. (n.d.). *Capsicum annuum* L. (TSN 30492). Recuperado el 19 de marzo de 2026, de https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=30492
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI. <https://www.inegi.org.mx>.
- Johnson, H. W., Robinson, H. F., & Comstock, R. E. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agronomy Journal*, 47(7), 314–318.
- Karim, K. R., Rafii, M. Y., Misran, A. B., Ismail, M. F. B., Harun, A. R., Khan, M. M. H., & Chowdhury, M. F. N. (2021). Current and prospective strategies in varietal improvement of chili pepper (*Capsicum annuum* L.), especially heterosis breeding. *Agronomy*, 11(11), 2217.
- Lerma, A. S., & Mozqueda, Á. Y. R. (2014). Mejoramiento genético para rendimiento en chile (*Capsicum annuum* L.) para consumo en seco en la región centro-sur del estado Chihuahua, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), 320–333.
- Leyva-Ovalle, O. R., Andres-Meza, P., Del Valle-Hernández, D., Meneses-Márquez, I., Murguía-González, J., Galindo-Tovar, M. E., ... & Espinosa-Calderón, A. (2018). Caracterización morfológica de poblaciones de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) en la región centro del estado de Veracruz, México. *Revista Bio Ciencias*, 5, 11 p.

- López, P. L., & García, F. H. C. (2006). 3.4. La diversidad de los chiles (*Capsicum* spp., Solanaceae) de Oaxaca. *Avances de Investigación*, 135.
- Marcia, J. R., & Portillo, O. R. (2009). Evaluación de siete híbridos de chile jalapeño (*Capsicum annuum*). *FHIA. Programa de Hortalizas*, 107–119.
- Martín, N. C., & González, W. G. (1991). Caracterización de accesiones de chile (*Capsicum* spp.). *Revista Agronomía Mesoamericana*, 2(1), 31–39.
- Monge-Pérez, J. E., Elizondo-Cabalceta, E., & Loría-Coto, M. (2022). Correlación y análisis de coeficiente de sendero en chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(1), 128–138.
- Moscone, E. A., Baranyi, M., Ebert, I., Greilhuber, J., Ehrenorfer, F., & Hunziker, A. T. (2003). Analysis of nuclear DNA content in *Capsicum* (Solanaceae) by flow cytometry and Feulgen densitometry. *Annals of Botany*, 92, 21–29.
- Neyhart, J. L., Lorenz, A. J., & Smith, K. P. (2019). Multi-trait improvement by predicting genetic correlations in breeding crosses. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 9(10), 3153–3165.
- Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2018). The suitability of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) for alleviating human micronutrient dietary deficiencies: A review. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2239–2251.
- Pérez-Castañeda, L. M., Castañón-Nájera, G., Ramírez-Meraz, M., & Mayek-Pérez, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4), 117–128.
- Quevedo, M., & Laurentin, H. (2020). Caracterización fenotípica de tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.) venezolano. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 729–741.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Resende, M. D. V. D. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(4), 330–339.
- Sandoval, J. Á. G., Zambrano, G. M., Favela, M. L., & Meraz, M. R. (2006). Análisis línea × probador: Estrategia para selección de progenitores de alto rendimiento en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Agraria*, 3(1–2–3), 9–17.
- SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Diciembre 2024
- Silva Neto, J. J. D., Rêgo, E. R. D., Nascimento, M. F., Silva Filho, V. A. L., Almeida Neto, J. X. D., & Rêgo, M. M. D. (2014). Variabilidad en la población base

- de pimientos ornamentales (*Capsicum annuum* L.). *Revista Ceres*, 61(1), 84–89.
- Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (1985). *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Kalyani Publishers.
- Tripodi, P., & Kumar, S. (2019). The *Capsicum* crop: An introduction. En *The Capsicum genome* (pp. 1–8). Springer International Publishing.
- Zannat, A., Hussain, M. A., Abdullah, A. H. M., Hossain, M. I., Saifullah, M., Safhi, F. A., ... & Hossain, M. S. (2023). Exploring genotypic variability and interrelationships among growth, yield, and quality characteristics in diverse tomato genotypes. *Heliyon*, 9(8).
- Zúñiga-Orozco, A., Carrodegua-González, A., & Chinchilla-Obando, M. (2021). Variabilidad morfoagronómica de poblaciones F2 de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en Cartago, Costa Rica. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 25(2), 53–67.