UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación de Poblaciones F2 en Chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en Características Morfológicas y Calidad de Fruto.

Por:

JESUS EMMANUEL LUJAN VAZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación de Poblaciones F2 en Chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en Características Morfológicas y Calidad de Fruto.

Por:

JESUS EMMANUEL LUJAN VAZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza

Asesor Principal

Dr. Fernando Borrego Escalante

Coasesor

Dr. Neymar Camposeco Montejo

Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

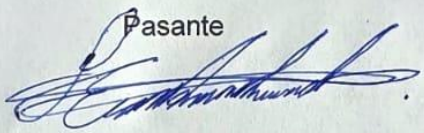
Junio, 2025

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 los 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



Jesús Emmanuel Luján Vázquez

Agradecimientos

A Dios, por darme la vida, salud y fuerza en las diferentes etapas que me ha tocado pasar, también por darme la oportunidad de rodearme de buenas personas durante mi carrera profesional.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme abierto las puertas como una segunda casa y formarme profesionalmente, así como al Departamento de Fitomejoramiento por brindarme toda su sabiduría durante estos cuatro años.

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

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

A la **MC. Cristina Patricia Aguilar Aranda**, por su valiosa colaboración en la toma de datos del presente trabajo.

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

A la **MC. María de Lourdes Hernández Hernández**, por su valiosa colaboración en la toma de datos del presente trabajo.

Dedicatoria

A mis padres, **Alejandra Vázquez Arroyo** y **Carlos Mario Lujan Domínguez**
Por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo constante y su fe inquebrantable en mí. Gracias por enseñarme con el corazón el valor del trabajo, la humildad y la perseverancia. Este logro es tan mío como suyo.

A mis hermanas, **Karla Valeria Luján Vázquez** y **María Guadalupe Luján Vázquez**, Por ser mi compañía en cada etapa de este camino. Gracias por su apoyo, por cada palabra de aliento y por recordarme siempre quién soy y de dónde vengo. Su cariño ha sido fundamental para lograr esta meta.

A mi esposa, **Sandra Alicia Cardona Ortiz**, compañera de vida y fuente inagotable de amor y fortaleza.
Gracias por tu apoyo incondicional, tu paciencia infinita y por creer en mí.

Tabla de contenido

Agradecimientos 3
Dedicatoria 5
Resumen 3
l. Introducción 3
1.2 Objetivos 5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL 5
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 5
1.3 HIPÓTESIS 5
II. Revisión de literatura: 6
2.1 Origen y antecedentes del chile 6
2.2 Descripción del cultivo 6
2.3 Clasificación taxonómica 7
2.4 Producción mundial 7
2.5 Producción nacional 7
2.6 Requerimientos climáticos 8
2.7 Suelo 8
2.8 Humedad y riegos 8
2.9 Preparación del terreno 8
3. Índice de picor 9
3.1 Índices de calidad 9
3.2 Mejoramiento genético en Chiles 9
III. MATERIALES Y MÉTODOS 15
3.2 Ubicación y localización del experimento 15
3.3 Material vegetal 15
3.4 Manejo del cultivo 16
3.5 Trasplante 16
3.6 Variables fisiológicas evaluadas 16
a. Número de frutos por planta 16

b. Longitud del fruto (mm)..... 16
c. Ancho del fruto (mm) 16
d. Longitud del pedicelo del fruto (mm) 17
e. Espesor de la pared del fruto (mm)..... 17
f. Número de lóculos 17
g. Rendimiento de fruto por planta (g)..... 17
h. Peso fresco de fruto (g) 17
3.7 Diseño experimental 17
3.8 Análisis estadístico..... 18
3.9 Análisis de correlación 18
IV. Resultados y discusión..... 19
4. Análisis de varianza en frutos de jalapeño 19
4.1 Análisis de correlación de características morfo-agronómicas. 20
4.2 Evaluación de las características del fruto 22
4.4 Estimación de parámetro genéticos..... 25
V. Conclusión..... 28
VI. LITERATURA CITADA 29

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de calor de correlación entre características morfológicas y de rendimiento. RENDFTO (Rendimiento de fruto por planta) 30
Figura 2. Rendimiento de fruto por planta en genotipos de F2 de chile jalapeño. 31
Figura 3. Peso de fruto por planta en genotipos F2 de chile jalapeño. 32
Figura 4. Número de fruto por planta en genotipos F2 de chile jalapeño..... 32

Índice de cuadros

Cuadro.1 Codificación de siete materiales genéticos de chile jalapeño. 15

Cuadro 2. Análisis de varianza para características cuantitativas en siete poblaciones F2 de chile jalapeño. 19

Cuadro 3. Pruebas de medias TUKEY para los genotipos evaluados. 25

Cuadro 4. Estimación de parámetros genéticos y fenotípicos para ocho características cuantitativas en siete genotipos F2 de chile jalapeño. 26

Cuadro 5. Características morfológicas y de rendimiento en siete genotipos F2 de chile jalapeño 26

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar siete poblaciones F2 de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con base en características morfológicas y calidad. Se realizó un análisis de varianza para ocho características cuantitativas, observándose diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para la mayoría de las variables evaluadas, incluyendo longitud y ancho de fruto, longitud del pedicelo, espesor de pared, número de lóculos, número de frutos por planta y peso de fruto. El rendimiento de fruto por planta no presentó diferencias significativas, lo cual sugiere una alta influencia ambiental. Los parámetros genéticos estimados mostraron altos valores de heredabilidad en características morfológicas como ancho de fruto (86.71%), longitud de fruto (80.49%) y espesor de pared (65.90%), indicando que estas variables están fuertemente determinadas por la genética y son aptas para selección directa. En contraste, el rendimiento presentó baja heredabilidad (3.80%) y alta variación ambiental, por lo que su mejora podría abordarse mediante selección indirecta basada en características más estables, como peso de fruto o número de frutos, las cuales mostraron correlaciones positivas con el rendimiento ($r = 0.96$ y $r = 0.47$, respectivamente). El genotipo 6 destacó por el mayor rendimiento por planta (618.75 g), mientras que el genotipo 5 presentó frutos de mayor peso (60.87 g) y espesor de pared (5.79 mm), atributos valiosos para la calidad comercial. El genotipo 2 mostró el mayor número de frutos por planta (18.50), compensando su menor tamaño individual. El análisis gráfico y el mapa de calor reforzaron la utilidad del peso de fruto y el espesor de pared como criterios de selección. Los resultados obtenidos permiten identificar materiales promisorios y establecer una base sólida para su avance en ciclos de selección, demostrando la utilidad de la evaluación de poblaciones F2 como una etapa clave en el desarrollo de nuevas variedades de chile jalapeño con alto potencial genético y agronómico.

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

I. Introducción

El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) representa uno de los cultivos hortícolas de mayor relevancia económica y social en México, no solo por su elevado consumo nacional, sino también por su importancia en los mercados internacionales como producto fresco y procesado (SIAP, 2023). Su diversidad genética, amplitud de adaptación y valor cultural lo han posicionado como un recurso clave para el desarrollo del sector agroalimentario nacional (Aguilar-Rincón *et al.,* 2010).

El mejoramiento genético del chile jalapeño busca responder a las crecientes demandas del mercado, tanto en cantidad como en calidad del producto, además de enfrentar desafíos como enfermedades, plagas y condiciones ambientales adversas (Barchenger & Bosland, 2016). En este contexto, la selección en generaciones segregantes, especialmente en F2, constituye una estrategia fundamental para la identificación de genotipos con alto valor agronómico y características comerciales deseables.

La generación F_2 es crítica en los programas de mejoramiento debido a su alta variabilidad fenotípica, resultado de la recombinación genética tras el cruzamiento inicial (Feingold *et al*., 2018). Esta variabilidad permite una mayor amplitud en la expresión de caracteres morfológicos y de calidad, facilitando la selección de individuos sobresalientes (Acosta-Gallegos *et al.,* 2007). Las características morfológicas del fruto, como longitud, diámetro, forma y espesor del pericarpio, así como parámetros de calidad como el color, firmeza y contenido de sólidos solubles, son atributos clave en la selección de líneas élite para futuros ciclos de mejoramiento (Bosland & Votava, 2012).

1.2 Objetivos

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y seleccionar poblaciones F2 de chile jalapeño, analizando parámetros genéticos en características morfológicas y calidad.

1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Evaluar y seleccionar las características morfológicas de las poblaciones F2 de chile jalapeño.

Evaluar los parámetros genéticos de una población de chiles jalapeños

1.3 HIPÓTESIS

H0: En la selección morfológica de las poblaciones F2 de chile jalapeño, se observan características similares en los parámetros genéticos.

H1: Existen diferencias significativas en los parámetros genéticos en la selección entre los materiales evaluados de las poblaciones F2 de chile jalapeño durante la evaluación.

II. Revisión de literatura:

2.1 Origen y antecedentes del chile

El chile (*Capsicum* spp.) es originario del continente americano, específicamente de la región comprendida entre México y el norte de Sudamérica, donde fue domesticado hace más de 6,000 años (Pickersgill, 2007). México es considerado el centro de domesticación y diversificación del chile, con una gran riqueza genética y cultural asociada a su uso (Aguilar-Rincón *et al*., 2010).

Capsicum es un género de la familia de las solanáceas (Solanaceae) que comprende más de 35 especies (Barboza *et al*., 2019), que incluye diferentes variantes de chiles que se reconocen fácilmente por su tamaño, forma, color y grado de pungencia (Pérez-Castañeda *et al*., 2015), Cinco especies (C. annuum var. annuum, C. chinense, C. baccatum, C. frutescens y C. pubescens) fueron domesticados en América Central y América del Sur, se cultivan hoy en día en climas subtropicales y templados en todo el mundo (Barchenger *et al*., 2019). En México es considerado uno de los centros de origen y domesticación de Capsicum annuum L. (Moscone *et al*., 2003; Salinas *et al*., 2021). En el caso de México se ha llevado a cabo la exploración, colecta, identificación y conservación in situ y ex situ del germoplasma silvestre y domesticado de Capsicum (Pérez-Castañeda *et al*., 2015).

2.2 Descripción del cultivo

El chile jalapeño es una variedad de *Capsicum annuum* L., de crecimiento determinado o indeterminado, con frutos cárnicos, de forma cónica alargada, superficie lisa y color verde oscuro en su estado inmaduro (Bosland & Votava, 2012). Su sabor característico y nivel medio de picor lo hacen ideal para consumo fresco y procesamiento.

2.3 Clasificación taxonómica

Categoría	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	*Capsicum*
Especie	*Capsicum annuum* L.

(Fuentes: Bosland & Votava, 2012)

2.4 Producción mundial

En 2023, la producción mundial de chile y pimiento alcanzó más de 38 millones de toneladas, siendo China, México, Turquía, Indonesia e India los principales productores (FAO, 2023).

2.5 Producción nacional

En México, el chile verde representa uno de los principales cultivos hortícolas. En 2023, se produjeron aproximadamente 3.1 millones de toneladas, con Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas entre los estados líderes (SIAP, 2023).

Estado	Producción (toneladas)
Chihuahua	620,000
Sinaloa	590,000

Zacatecas 410,000

2.6 Requerimientos climáticos

El chile jalapeño requiere temperaturas de entre 20 y 30 °C para un desarrollo óptimo. Temperaturas menores a 15 °C o superiores a 35 °C afectan la floración y el cuajado del fruto (Runkle *et al*., 2011).

2.7 Suelo

Prefiere suelos francos o franco-arenosos, con buen drenaje y pH entre 6.0 y 7.0. Suelos pesados o salinos afectan negativamente el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes (Bosland & Votava, 2012).

2.8 Humedad y riegos

El cultivo es sensible tanto al exceso como a la deficiencia hídrica. La falta de agua puede reducir el tamaño del fruto, mientras que el exceso propicia enfermedades como pudrición radicular (Barchenger & Bosland, 2016).

2.9 Preparación del terreno

a. Barbecho

Consiste en el volteo de la tierra con el fin de airear el suelo, incorporar residuos orgánicos y eliminar malezas. Se realiza con arado de disco o vertedera.

b. Paso de rastra

Ayuda a desmenuzar los terrones grandes y nivelar el suelo para facilitar la siembra.

c. Nivelación

Permite una distribución uniforme del riego y mejora la eficiencia hídrica.

d. Siembra y transplante

La siembra puede realizarse de forma directa o mediante almácigo. El transplante se efectúa cuando las plántulas tienen de 4 a 6 hojas verdaderas y entre 15 y 20 cm de altura (Bosland & Votava, 2012).

e. Densidad de siembra

Depende del sistema de producción, pero generalmente se establece entre 20,000 y 30,000 plantas por hectárea, con espaciamientos de 70-80 cm entre surcos y 25-35 cm entre plantas (González et al., 2012)

f. Cosecha

Inicia de 70 a 90 días después del transplante. Se realiza en varias etapas, conforme los frutos alcanzan el tamaño y color deseado. Es importante evitar daños mecánicos durante la cosecha para conservar la calidad del producto (Garvillo, 2023).

3. Índice de picor

El picor se mide mediante la escala de Scoville (SHU, Scoville Heat Units). El chile jalapeño tiene un rango de entre 2,500 y 8,000 SHU (Bosland & Baral, 2007). La capsaicina, principal compuesto responsable del picor, se concentra en la placenta del fruto (Bosland & Baral, 2007).

3.1 Índices de calidad

Los principales parámetros de calidad en chile jalapeño incluyen:

- Forma y tamaño uniforme
- Color verde brillante o rojo intenso (en madurez)
- Firmeza del fruto
- Espesor del pericarpio
- Bajo porcentaje de frutos deformes o con daño físico
- Picor

  (Basulto y Pérez *et al*., 2023)

3.2 Mejoramiento genético en Chiles

El mejoramiento genético, es la variabilidad genética disponible en las poblaciones segregantes, puede aprovecharse para producir nuevas combinaciones mediante la selección de nuevas líneas híbridas (Cabrera, 2016).

La producción de chile en México es de alto consumo habitual en la comida, la capsaicina contribuye el sabor, aroma, picor al gusto y un alto valor nutrimental benéfico para la industria alimentaria, asímismo, proporciona efectos farmacológicos positivos en enfermedades de obesidad, anticancerígenas, artritis, rinitis, sinusitis, migraña, cardiovasculares y diabetes tipo II. Por lo tanto, el consumo habitual de chile en nuestra dieta diaria es benéfico para la salud (López-Ordaz *et al*., 2022). El cultivo de chile genera seis millones de empleos directos e indirectos, impactando diversos sectores como la industria agrícola, el transporte y el comercio (Hernández y Frausto, 2010).

México alberga una notable diversidad genética de *Capsicum annuum* var. *annuum* y de sus parientes silvestres como *C. annuum* var. *glabriusculum*. Esta riqueza genética se traduce en una gran variedad de tipos de chile —como el serrano, jalapeño, ancho, pasilla, guajillo, de árbol, entre otros— que han evolucionado para adaptarse a diferentes entornos agroecológicos, y que tienen alta demanda tanto en el mercado nacional como en el internacional. Además, se cultivan otras especies relevantes como *Capsicum chinense* (chile habanero) y *Capsicum pubescens* (chile manzano) (Aguilar et al., 2010; Bosland, 1996; Kraig et al., 2014; Laborde y Pozo, 1984).

El proceso de mejoramiento en chiles de tipo racial generalmente implica cruzamientos entre líneas élite o variedades comerciales, utilizando el esquema de hibridación seguido de endogamia y selección, conocido como método de pedigrí. Algunos fitomejoradores han incorporado estrategias poblacionales junto con métodos convencionales, logrando así una mayor eficiencia en la generación de nuevas variedades (Márquez, 1988; Dorantes, 2003; Robledo, 2005). Tradicionalmente, el mejoramiento genético del chile ha girado en torno a la obtención de líneas puras a partir de cultivares locales, empleando métodos de selección como el masal, estratificado o recurrente, para luego proceder a la selección individual (Pozo, 1981b). El método de pedigrí también se ha usado para combinar características hortícolas deseadas mediante hibridación,

mientras que para incorporar resistencia a enfermedades y plagas se ha preferido la técnica de retrocruzamiento (Greenleaf, 1986; Owens, 1998). Aunque eficaces, estas metodologías requieren entre 8 y 20 generaciones para consolidarse.

Según Andrásfalvy y Fári (1992), el enfoque actual del mejoramiento ha favorecido la erosión genética y aumentado la vulnerabilidad a enfermedades, además de contribuir al abandono de tradiciones y la pérdida de diversidad. También destacan la necesidad de fortalecer la base genética de los cultivares mediante pedigrí, ampliar el tamaño poblacional para fomentar la recombinación, aprovechar la polinización cruzada usando esterilidad masculina y genes marcadores, e introducir genes de otras especies en los programas de mejoramiento. También proponen estrategias como la inducción de anfiploides y la creación de bancos de genes para preservar toda la variabilidad genética del chile.

Owens (1998) señala que todo programa de mejoramiento debe comenzar con el entendimiento del mercado y sus necesidades, ya que esto determinará las prioridades, dependiendo del uso, procesamiento y desarrollo del producto. Posteriormente, se debe recolectar germoplasma y generar variabilidad poblacional con los rasgos deseables.

Dado el dinamismo de los mercados, se requiere que los programas de mejoramiento cuenten con progenitores ampliamente caracterizados tanto en lo fenotípico como en lo genético, con el objetivo de generar híbridos altamente competitivos o grupos con atributos de calidad específicos (García, 2006). Comprender el tipo de acción génica involucrada en los rasgos seleccionados es clave, pues, además del rendimiento, aspectos como la precocidad, concentración de cosecha y calidad del fruto (forma, tamaño, color, brillo, grosor y firmeza del pericarpio) son determinantes para la aceptación de los nuevos genotipos (Martínez et al., 2005).

En los caracteres evaluados en chile se ha detectado suficiente variabilidad genética aditiva como para aplicar métodos cuantitativos de selección. Sin embargo, también hay presencia de efectos de dominancia, lo cual justifica el

desarrollo de híbridos para aprovechar el vigor híbrido. Se han logrado generar líneas avanzadas, variedades e híbridos con alto rendimiento y calidad (Luján y Rodríguez, 2000; Ramírez et al., 2007). Méndez-Aguilar et al. (2008) indican que al recombinar dos o más tipos raciales de chile, se incrementa la diversidad genética, lo que permite aplicar selección recurrente según los materiales utilizados.

En el pasado, uno de los propósitos del mejoramiento en chile en México fue crear cultivares con una base genética amplia, usando selección masal, con el fin de obtener genotipos de mayor plasticidad y tolerancia ambiental (Pozo y Ramírez, 1994, 1998). No obstante, las actuales exigencias del mercado apuntan hacia productos altamente uniformes, susceptibles de ser registrados y protegidos legalmente, lo que requiere la generación de líneas homocigotas adaptadas a nichos específicos. Esto impulsó el desarrollo de híbridos, inicialmente promovidos por empresas semilleras, que además de cumplir funciones de protección intelectual, mostraron claras ventajas en rendimiento por el aprovechamiento del vigor híbrido, al combinar genes dominantes favorables en líneas puras y expresar mejor esos genes en estado heterocigoto (Pozo, 1981b; Quagliotti, 1970; Tanksley, 1984).

Trabajos realizados en segregaciones de chile las variaciones en los rasgos cualitativos y cuantitativos que se deben a la segregación en la progenie F_2 podría ser útil para la selección de la calidad y productividad deseable en la próxima generación (Htwe *et al*., 2017). La variabilidad genética entre los genotipos, se puede practicar la selección dentro familia F_2 para avanzar en el programa de mejoramiento (Pessoa *et al*., 2015).

Los estudios en chile y tomate demuestran la importancia de la variabilidad genética en programas de mejoramiento. En chile, se observó segregación en características cualitativas y cuantitativas en la generación F_2, evidenciando una amplia variabilidad genética crucial para la selección de genotipos superiores (Silva *et al*., 2013). La heredabilidad de rasgos morfológicos y agronómicos en

pimiento ornamental mostró efectos aditivos y dominantes, permitiendo la selección efectiva en generaciones segregantes (Nascimento *et al*., 2019).

El estudio de Amas *et al*. (2023) evaluó poblaciones F_2 obtenidas de cruces dobles y triples en *Capsicum frutescens*, evidenciando una alta variabilidad genética en caracteres como el número de ramas productivas, peso de fruto, hábito de la planta y diámetro del tallo. Estos caracteres mostraron alta heredabilidad y efectos directos positivos sobre el rendimiento, lo que sugiere su utilidad en la selección temprana en programas de mejoramiento.

Esta tendencia es comparable con investigaciones en chile jalapeño. Estudios como el de Villanueva-Verduzco *et al*. (2021) encontraron que en poblaciones F_2 de jalapeño, los caracteres de mayor heredabilidad incluyeron el peso de fruto, longitud del fruto y número de frutos por planta. De manera similar, observaron correlaciones fenotípicas significativas entre el peso de fruto y el rendimiento, lo que refuerza la estrategia de selección basada en caracteres altamente heredables.

En otra investigación, De la Cruz-Lázaro *et al*. (2017) analizaron líneas F_2 de jalapeño e identificaron una alta variación fenotípica para peso, forma y número de frutos, con coeficientes de variación genética amplios, lo que indica una buena base para selección en generaciones tempranas. Este hallazgo coincide con lo reportado por Amas *et al*. (2023), donde también se identificó una amplia base genética derivada de los cruces múltiples.

Además, la estrategia de usar cruces dobles y triples incrementó la recombinación genética en el estudio de cayena, una técnica que también ha sido útil en el mejoramiento del jalapeño. Por ejemplo, según Moreno-Pérez *et al*. (2020), los cruces intervarietales en jalapeño permiten combinar resistencia a enfermedades con rendimiento comercial, y las generaciones F_2 muestran la segregación necesaria para avanzar en la selección genética.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2 Ubicación y localización del experimento

La presente investigación se estableció en los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), coordenadas geográficas son 25° 22’ N; 101° 00’ O, con altitud de 1754 msnm.

3.3 Material vegetal

El material vegetal consistió en frutos colectados de siete híbridos F1 de tipo jalapeño: Godzila, Baluarte, Baluarte Lux, Bravo, Mixteco, Orizaba y Odiseo (Cuadro 1).

La semilla se desinfectó con hipoclorito de sodio al 3% (NaOCL) durante 20 minutos para esterilizar la parte expuesta de la semilla. Después, la siembra se realizó en charolas de 200 cavidades, utilizando peat moss, perlita y humus de lombriz como sustrato. La siembra se realizó manualmente y se colocó una semilla por cavidad.

Cuadro.1 Codificación de siete materiales genéticos de chile jalapeño.

Núm.	Material
1	God
2	Bal
3	Blux
4	Bra
5	Mix
6	Ori
7	Odi

3.4 Manejo del cultivo

El trasplante se realizó de los 50 a 55 días después de siembra a una densidad de 33,000 plantas por ha. La fertilización se realizó de acuerdo con la propuesta por Mata *et al.,* (2010)

3.5 Trasplante

El trasplante de los materiales se realizó a los 52 días de edad, antes de la plantación se le dió un riego con la finalidad de darle humedad que requieren las plántulas, se realizó las perforaciones necesarias al acolchado, se colocaron plántulas con una separación de 30 cm entre planta y 1.8 metros entre bordos. El sistema de plantación fue de doble hilera. Con una densidad de plantación de 37,037 plantas por hectárea.

3.6 Variables fisiológicas evaluadas

a. Número de frutos por planta

Conteo total de frutos cosechados por planta. Es una variable directamente asociada al rendimiento.

b. Longitud del fruto (mm)

Medida desde la base hasta el ápice del fruto. Caracteriza el tipo de chile jalapeño y su presentación comercial.

c. Ancho del fruto (mm)

Se mide en la parte más ancha del fruto. Junto con la longitud, permite calcular la forma o índice de aspecto del fruto.

d. Longitud del pedicelo del fruto (mm)

Distancia entre la base del fruto y su punto de inserción con la planta. Relacionado con facilidad de cosecha y firmeza del amarre.

e. Espesor de la pared del fruto (mm)

Grosor de la pared del pericarpio. Es importante para la firmeza, textura y calidad del fruto, especialmente en procesamiento.

f. Número de lóculos

Conteo de cavidades internas en el fruto. Puede influir en el peso, forma y características organolépticas.

g. Rendimiento de fruto por planta (g)

Peso total de los frutos cosechados por planta. Es una medida directa del potencial productivo.

h. Peso fresco de fruto (g)

Peso promedio de frutos individuales recién cosechados. Aporta información sobre el tamaño comercial del fruto.

3.7 Diseño experimental

Las siete entradas de chile jalapeño se evaluaron bajo un diseño experimental en bloques completos al azar, con 4 repeticiones por entrada y un total de 28 entradas experimentales. Cada parcela experimental se constituirá por 50 plantas a 30 cm entre plantas a doble hileras separadas a 1.8 m. El registro de las variables morfológicas y calidad se realizará en diez plantas por cada parcela experimental.

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

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

$\boldsymbol{\mu}$ = Efecto de la media general

$\boldsymbol{\alpha_i}$ = Efecto del tratamiento *i.*

$\boldsymbol{\beta_j}$ = Efecto del bloque *j*

$\boldsymbol{\varepsilon_{ijk}}$ = Error experimental

3.8 Análisis estadístico

Los análisis se realizaron con el programa R statistical (R versión 3.0.2 2013). La variabilidad de los genotipos se estimó utilizando una media simple, varianza fenotípica ($\boldsymbol{\sigma}^2$p), varianza genotípica ($\boldsymbol{\sigma}^2$g), coeficiente de variación fenotípica genotípica (CVP, CVG) y heredabilidad (H^2) según los métodos sugeridos por Singh and Chaudhary (1985).

3.9 Análisis de correlación

Las correlaciones fenotípicas entre las variables se calcularon utilizando el coeficiente de correlación de Pearson p≤0.05.

Se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5 %, con el fin de identificar las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

IV. Resultados y discusión

4. Análisis de varianza en frutos de jalapeño

En el análisis de varianza (Cuadro 1), se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre los materiales genéticos para las características longitud de fruto, ancho de fruto, longitud de pedicelo, espesor de la pared, número de lóculos, numero de frutos y peso de fruto, lo cual indica la existencia de variabilidad genética entre los genotipos evaluados. La presencia de esta variabilidad es fundamental para la selección de genotipos superiores (Acosta-Gallegos *et al.,* 2007).

En cambio, no se detectaron diferencias significativas para rendimiento de fruto por planta, lo que sugiere una alta influencia ambiental, o baja expresión genética para esta variable en las condiciones del experimento.

Cuadro 2. Análisis de varianza para características morfológicas y calidad de frutos en siete poblaciones F2 de chile jalapeño.

FV	GL	Longitud fruto	Ancho fruto	Longitud pedicelo	Espesor pared	Número de lóculos	Número de fruto	Peso de fruto	Rendfto
Genotipo	6	25.90 **	4.11 **	1.89 **	5.50 **	1.52 **	188.97 **	1016.57 **	81036.08 ns
Repetición	3	16.11 **	0.16 ns	0.47 ns	1.60 ns	0.39 ns	43.65 ns	62.03 ns	61552.98 ns
Error	74	1.48	0.15	0.25	0.63	0.21	37.01	299.13	69973.35
CV (%)		5.20	6.07	8.47	8.03	7.52	28.35	16.24	28.19

FV: Fuentes de variación; G.L: Grados de libertad; Rendfto: Rendimiento fruto/planta; **= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05, ns: No significativo, CV = Coeficiente de variación

Existe variabilidad genética aprovechable en la mayoría de las características evaluadas, excepto en el rendimiento (figura 1) por planta, lo que sugiere estrategias indirectas de selección para esta última.

4.1 Análisis de correlación de características morfo-agronómicas.

El análisis de correlación entre variables morfo-agronómicas permite identificar relaciones funcionales entre los componentes que determinan el rendimiento en cultivares de *Capsicum annuum* L. La matriz de correlación obtenida a partir de los datos analizados evidenció asociaciones de interés para programas de mejoramiento genético orientados tanto al rendimiento como a la calidad de fruto (Figura 1)**.**

El análisis de correlación muestra una correlación positiva entre el número de frutos y el rendimiento fruto por planta (r = 0.773). Este resultado indica que, en las condiciones evaluadas, el aumento en la cantidad de frutos genera un impacto más directo en el rendimiento, este comportamiento ha sido reportado por Moreno-Pérez *et al*. (2021), quienes encontraron que en poblaciones segregantes de *Capsicum* spp., el rendimiento está principalmente condicionado por el número de frutos, más que por su tamaño individual.

En contraste, la correlación entre el rendimiento y el peso del fruto fue baja (r = 0.10), lo que indica una limitada influencia del tamaño del fruto sobre la producción total. Este patrón ha sido observado en poblaciones avanzadas de chile jalapeño y serrano, donde genotipos altamente productivos exhiben frutos más pequeños, pero en mayor cantidad (Gutiérrez & Peña-Lomelí, 2015).

Por otro lado, se observó una correlación negativa moderada entre el número de frutos y el peso del fruto (r = -0.427), indica que a medida que aumenta el número de frutos por planta, el peso de fruto de estos tiende a disminuir. Asimismo, la relación negativa entre número de frutos y ancho del fruto (r = -0.314).

En cuanto a los atributos estructurales, se identificó una correlación positiva moderada entre el espesor de pared y el ancho del fruto (r = 0.594). Esta relación sugiere que los frutos más robustos tienden a presentar paredes más gruesas, característica deseable en términos de firmeza, resistencia mecánica y vida de anaquel. Estos resultados son congruentes con lo señalado por Martínez-de la Cruz *et al*. (2018), quienes proponen al espesor del pericarpio como criterio clave en la selección para calidad postcosecha en chiles de tipo comercial.

Adicionalmente, se observaron correlaciones débiles entre el espesor de pared y el peso del fruto (r = 0.295), así como entre la longitud del pedicelo y el rendimiento (r = 0.046), indicando que estas variables tienen una contribución secundaria al rendimiento general. La relación entre número de lóculos y espesor de pared (r = 0.091) también fue débil, lo cual indica que la variabilidad estructural interna del fruto no guarda una relación estrecha con el desarrollo de su pared.

Finalmente, la correlación entre longitud del fruto y número de frutos (r = 0.326), aunque positiva, fue moderada, sugiriendo que el incremento en longitud no está fuertemente limitado por el número de frutos, posiblemente debido a la independencia genética de ambos caracteres o a la presencia de genotipos con arquitectura favorable para sostener múltiples frutos alargados sin comprometer su desarrollo (Figura 1).

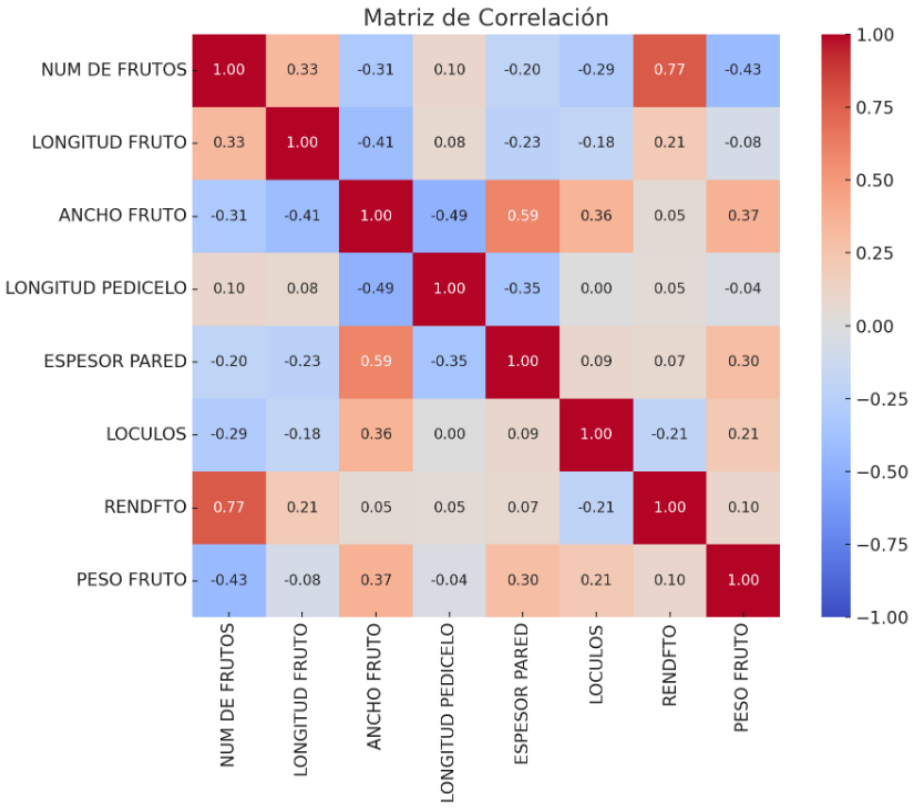


Figura 1. Mapa de color de correlación entre características morfológicas y de rendimiento. RENDFTO (Rendimiento de fruto por planta)

4.2 Evaluación de las características del fruto

Se observó una amplia variabilidad entre los genotipos evaluados en diversas características del fruto. En cuanto al peso de fruto, el genotipo 5 presentó el mayor valor promedio (60.87 g), seguido por los genotipos 3 y 6 con valores ligeramente inferiores (57.46 y 56.57 g), sin diferencias estadísticas significativas (Figura 3).

En el rendimiento de fruto por planta, aunque no se detectaron diferencias significativas entre genotipos, el genotipo 6 obtuvo la mayor media (618.75 g/planta) y el 5 la menor (375 g/planta), lo que podría atribuirse a la alta variabilidad interna (Figura 2). Respecto al número de lóculos, el genotipo 3 mostró el mayor valor (3.66), seguido por el 5 (3.58). En el espesor de pared, el

genotipo 5 destacó con el mayor grosor (5.78 mm), seguido por los genotipos 7 y 3. La longitud de pedicelo fue mayor en los genotipos 2, 1 y 3 (3.40, 3.34 y 3.24 mm) mostraron valores superiores, lo que podría favorecer una cosecha más eficiente, mientras que los genotipos 5, 4 y 7 presentaron los valores más bajos.

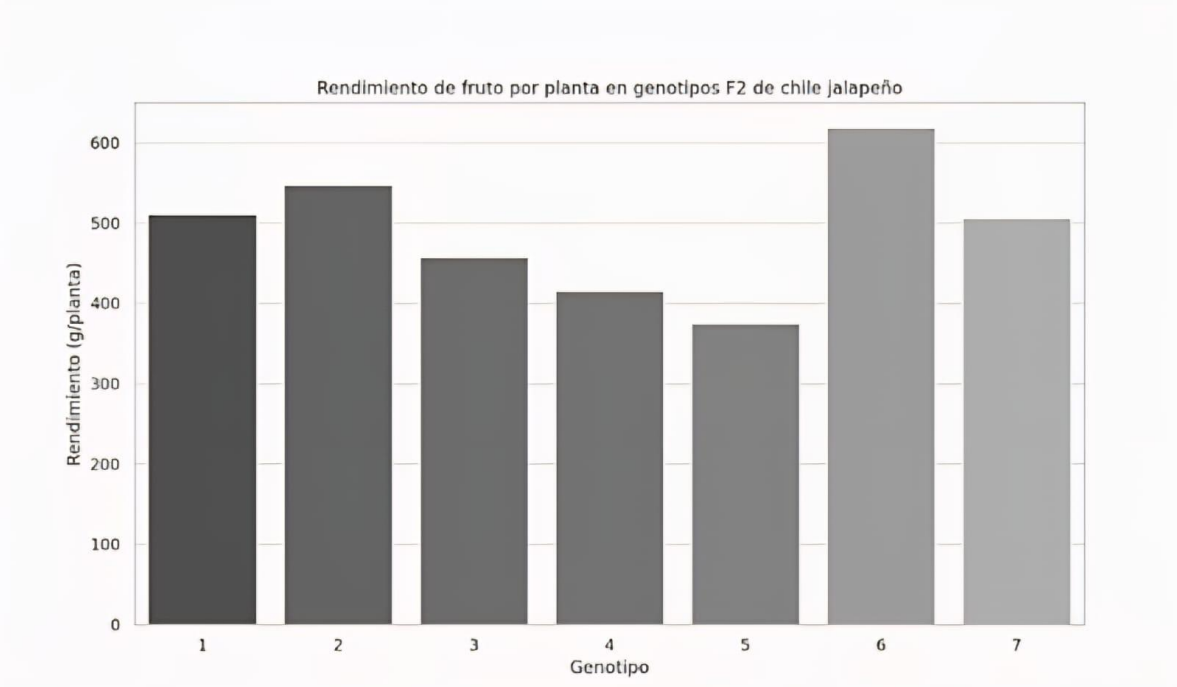


Figura 2. Rendimiento de fruto por planta en genotipos de F2 de chile jalapeño.

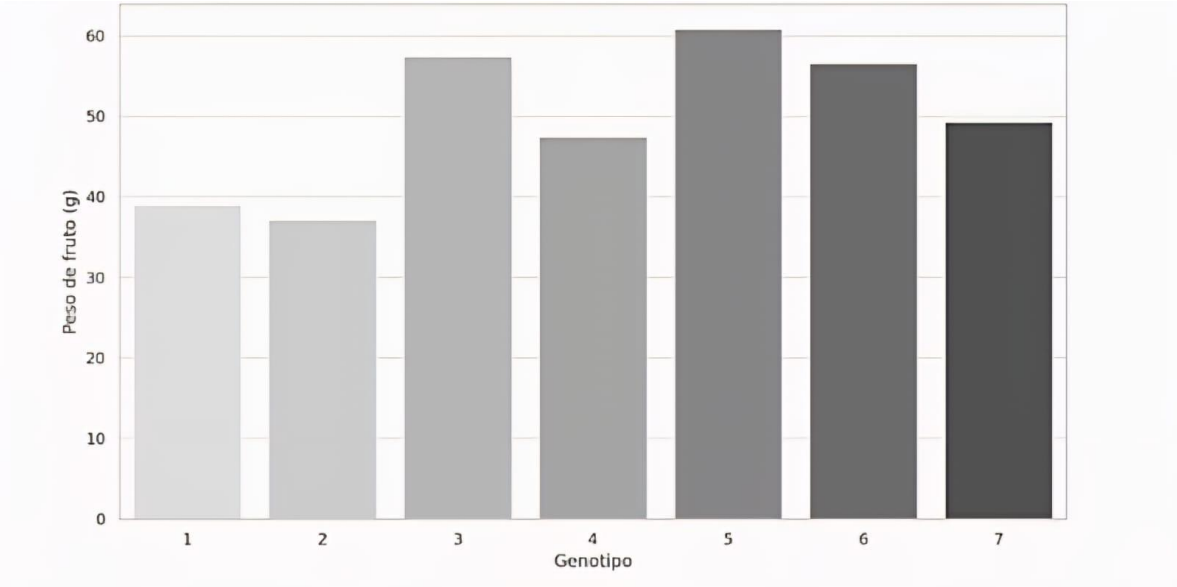


Figura 3. Peso de fruto por planta en genotipos F2 de chile jalapeño.

En cuanto al ancho de fruto, el genotipo 5 fue el más ancho (3.77 cm), y el 2 el más delgado (2.05 cm). La longitud de fruto fue máxima en el genotipo 2 (14.27 cm) y mínima en el 1 (9.70 cm), influenciando la forma final del fruto. Finalmente, el número de frutos por planta fue mayor en el genotipo 2 (18.50), seguido por el 1 (13.25), lo que refleja un efecto de compensación entre cantidad y tamaño de frutos, contribuyendo al rendimiento general observado (Figura 4).

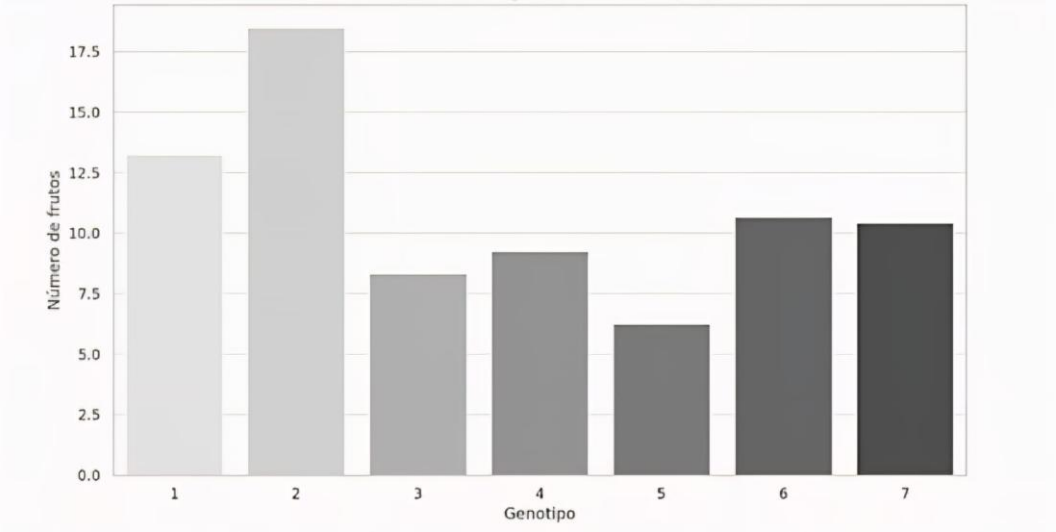


Figura 4. Número de fruto por planta en genotipos F2 de chile jalapeño.

Cuadro 3. Comparación de medias para características de rendimiento.

Geno tipo	Peso de fruto	Rendimiento de frutos por planta	Número de lóculos	Espesor de pared	Longitud de pedicelo	Ancho de fruto	Longitud de fruto	Número de frutos
	(g)	(g)		(mm)	(mm)	(cm)	(cm)	
1	39.03b	510.42a	2.83b	4.36b c	3.34a	2.90c	9.70c	13.25ab
2	37.16b	547.92a	2.83b	3.85c	3.40a	2.05d	14.27a	18.50a
3	57.46ab	457.42a	3.66a	5.35a	3.24a	3.44a b	11.10b c	8.33b
4	47.48ab	415.00a	2.91b	4.91a b	2.56b c	3.38a b	10.43b c	9.25b
5	60.87a	375.00a	3.58a	5.78a	2.57b c	3.77a	10.77b c	6.25b
6	56.57ab	618.75a	2.91b	5.21a b	3.18a b	3.27b c	10.77b c	10.66b
7	49.34ab	506.08a	3.16a b	5.49a	2.55c	3.66a b	11.76b	10.41b

1.God, 2. Bal, 3. Blux, 4. Bra, 5. Mix, 6, Ori, 7. Odi.

4.4 Estimación de parámetro genéticos

Las estimaciones de los parámetro genéticos presentadas en el cuadro 4 muestran que características como longitud de fruto, ancho de fruto, y espesor de pared presentaron altos valores de heredabilidad (80.49%, 86.71% y 65.90%, respectivamente), así como una elevada proporción de variación genética en comparación con la variación fenotípica (CVG vs. CVP), lo que sugiere que estas variables están fuertemente controladas genéticamente y que podrían mejorarse eficientemente mediante selección directa.

Por el contrario, características como el número de fruto, peso de fruto y rendimiento por planta (figura 2), mostraron bajos valores de heredabilidad (50.65%, 37.49% y 3.80%, respectivamente), lo cual indica una mayor influencia ambiental. En el caso del rendimiento, los valores CVP (55.03%) Y CVG (10.73%). Esta baja heredabilidad sugiere que la selección indirecta seria poco eficaz, por lo que se recomienda emplear características correlacionadas con mayor heredabilidad, como el número y peso de frutos, para mejorar esta variable de forma indirecta como lo proponen López-López *et al*. (2016).

Cuadro 4. Estimación de parámetros genéticos y fenotípicos para ocho características cuantitativas en siete genotipos F2 de chile jalapeño.

Características	Media	$\sigma^2 g$	$\sigma^2 p$	CVP %	CVG %	H^2 %
Longitud fruto (cm)	11.26	6.11	7.59	24.45	21.94	80.49
Ancho fruto (cm)	3.21	0.99	1.14	33.25	30.96	86.71
Longitud pedicelo (cm)	2.98	0.41	0.66	27.27	21.43	61.75
Espesor pared (mm)	5.00	1.22	1.85	27.19	22.07	65.90
Número de lóculos	3.13	0.33	0.53	23.35	18.31	61.47
Numero de fruto	10.95	37.99	75.00	79.07	56.28	50.65
Peso de fruto (g)	49.70	179.37	478.47	44.01	26.95	37.49
Rendimiento fruto/planta (g)	490.08	2765.68	72739.03	55.03	10.73	3.80

$\sigma^2 g$: varianza genotípica; $\sigma^2 p$: varianza fenotípica; CVP %: coeficiente de variación fenotípica; CVG %: coeficiente de variación genotípica; H^2 %; Heredabilidad.

Cuadro 5. Características morfológicas y de rendimiento en siete genotipos F2 de chile jalapeño

Características/Genotipo	1	2	3	4	5	6	7
Longitud fruto (cm)	9.71	14.28	11.11	10.44	10.77	10.77	11.76
Ancho fruto (cm)	2.90	2.05	3.44	3.39	3.78	3.27	3.66
Longitud pedicelo (cm)	3.35	3.41	3.25	2.57	2.58	3.19	2.56
Espesor pared (mm)	4.37	3.86	5.35	4.92	5.79	5.21	5.50
Número de lóculos	2.83	2.83	3.67	2.92	3.58	2.92	3.17
Numero de fruto	13.25	18.50	8.33	9.25	6.25	10.67	10.42
Peso de fruto (g)	39.03	37.16	57.46	47.48	60.87	56.57	49.34
Rendimiento fruto/planta (g)	510.42	547.92	457.42	415.00	375.00	618.75	506.08

1.God, 2. Bal, 3. Blux, 4. Bra, 5. Mix, 6, Ori, 7. Odi.

Los genotipos 2, 5 y 6 muestran características sobresalientes en aspectos importantes como rendimiento de fruto por planta, peso de fruto y longitud del fruto, lo que permite destacarlos de los demás materiales evaluados. Estos

resultados son comparables con los hallazgos reportados por Pérez-Grajales *et al*. (2018) quienes identificaron individuos superiores en poblaciones F2 de chile jalapeño con características similares.

V. Conclusión

El análisis realizado en materiales de chile jalapeño F2 mostraron una amplia variabilidad genética significativa en características del fruto como longitud, ancho, espesor de pared y número de lóculos, indicando potencial para selección directa, respaldado por altas heredabilidades (65.90-86.71%). Sin embargo, el rendimiento por planta mostró baja heredabilidad (3.80%) y alta influencia ambiental, requiriendo estrategias de selección indirecta mediante caracteres asociados. Los genotipos 2 (destacado en número de frutos y longitud), 5 (superior en peso de fruto, ancho y espesor de pared) y 6 (mayor rendimiento) sobresalieron como materiales. Estas diferencias reflejan la posibilidad de seleccionar genotipos con desempeño agronómico destacado, adecuados para responder a las demandas comerciales y de calidad. Además, la presencia de variabilidad entre materiales sugiere que es posible avanzar en la generación de materiales mejorados mediante estrategias de selección dirigidas.

VI. LITERATURA CITADA

Acosta-Gallegos, J. A., Kelly, J. D., & Gepts, P. (2007). Genetic improvement of common bean in Latin America: strategies and achievements. Crop Science, 47(S3), S-44.

Aguilar, J. A., Peña, A. L., Carrillo, J. A., & Aguirre, R. J. R. (2010). Diversidad genética de chiles en México. Universidad Autónoma Chapingo.

Aguilar-Rincón, V. H., Rodríguez-Guerra, R., & Padilla-Ramírez, J. S. (2010). Diversidad genética y su aplicación en el mejoramiento de *Capsicum annuum* L. Revista Fitotecnia Mexicana, 33(2), 121–129.

Aguilar-Silva, F., Aguilar-Silva, B., & García, M. A. (2013). Análisis de medias generacionales para estimar parâmetros genéticos de rendimiento en una cruza de pimentón y ají cayenne (*Capsicum annuum*). *Acta Agronomica*, *62*(1), 73-78.

Andrásfalvy, A., & Fári, M. G. (1992). Genetic resources and plant breeding. In Proceedings of the International Symposium on Capsicum and Eggplant.

Arcocha, R. M. S. (2020). Jalapeños: una historia cultural “picante”. Temas americanistas, (45), 319-342.

Barboza, G. E., Carrizo García, C., Leiva González, S., Scaldaferro, M., & Reyes, X. (2019). Four new species of *Capsicum* (Solanaceae) from the tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. PloS one, 14(1), e0209792.

Barchenger, D. W., & Bosland, P. W. (2016). Genetic resources of Capsicum: characterization and utilization. In Genetic and Genomic Resources for Vegetable Crops (pp. 81–107). Academic Press.

Barchenger, D. W., Naresh, P., & Kumar, S. (2019). Genetic resources of *Capsicum*. The Capsicum Genome, 9-23.

Basulto, F. S., & Pérez, R. D. G. (2023). Características de calidad de fruto de chile jalapeño que se solicitan a productores y comercializadores en el Sur de Quintana Roo, México: Jalapeño pepper fruit quality characteristics requested to producers and marketers in Southern Quintana Roo, Mexico. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 6(3), 2179-2190.

Bizari, EH, Val, BHP, Pereira, EDM, Mauro, AOD y Uneda-Trevisoli, SH (2017). Índices de selección de rasgos agronómicos en poblaciones segregantes de soja. Revista Ciencia Agronômica, 48, 110-117.

Bosland, P. W. (1996). *Capsicums*: Innovative uses of an ancient crop. In J. Janick (Ed.), Progress in new crops (pp. 479–487). ASHS Press.

Bosland, P. W., & Baral, J. B. (2007). "World Federation for Culture Collections Capsaicinoid Content of Chile Pepper Cultivars". HortScience, 42(6), 1293–1296.

Bosland, P. W., & Baral, J. B. (2007). 'Bhut Jolokia'—The World's Hottest Known Chile Pepper is a Putative Naturally Occurring Interspecific Hybrid. HortScience, 42(2), 222–224.

Bosland, P. W., & Votava, E. J. (2012). Peppers: Vegetable and spice capsicums (2nd ed.). CABI Publishing.

Brim, C. A. (1966). A modified pedigree method of selection in soybeans. Crop Science, 6(3), 220–222.

Cabrera, F. A. V. (2016). Mejoramiento genético de plantas: Segunda Edición. Universidad Nacional de Colombia.

Carrillo-Rodríguez, J. C., Martínez-Damián, M. T., García-Paredes, J. D., & Ramírez-Madera, C. M. (2020). Estimación de parámetros genéticos en poblaciones F2 de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(6), 1357–1368.

Chechetkin, A. V., Vornianski, V.I., Pokusy, G.G. (1984). Prácticas de bioquímica del Ganado y aves de corral. (Ed. E. M. Moscú. 55 p.)

Dorantes, A. (2003). Avances del mejoramiento genético del chile en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

FAO. (2014). FAOSTAT: Production of chillies and peppers, dry and green. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO. (2023). FAOSTAT Statistical Database. https://www.fao.org/faostat/en/

FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2022. Disponible online: http://faostat.fao.org (consultado, 2 enero 2024).

Feingold, S. E., Bonnecarrère, V., Nepomuceno, A., Hinrichsen, P., Cardozo Tellez, L., Molinari, H., Barba, P., Eyherabide, G., Ceretta, S., & Dujack, C. (2018). Edición génica: una oportunidad para la región. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 44(3), 424–427

García, G. M. (2006). Caracterización genética de líneas de chile y su utilidad en programas de mejoramiento. Revista Fitotecnia Mexicana, 29(3), 221–228.

García, S., J. A. 2006. Caracterización fenotípica y genética de la calidad del fruto en progenitores de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) para nichos de mercado fresco y la industria. Tesis de Maestría. Departamento de Fitomejoramiento, UAAAN. Saltillo, Mex., 171 pp

Garvillo. (2023). Cuando recoger chiles jalapeños: consejos y técnicas de cosecha.

González, J. A., Martínez, G., & Ramírez, M. (2012). Productividad del cultivo de chile jalapeño. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(5), 987–1001

Greenleaf, W. H. (1986). Pepper breeding. In M. J. Bassett (Ed.), Breeding vegetable crops (pp. 67–134). AVI Publishing.

Herath, H. N., Rafii, M. Y., Ismail, S. I., JJ, N., & Ramlee, S. I. (2021). Improvement of important economic traits in chilli through heterosis breeding: a review. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 96(1), 14-23.

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, E. Z., Martínez, I. G., & González, R. G. (2017). Usos Industriales del Chile (*Capsicum sp.*). TecnoCultura, 42-42.

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. 16 (2), 45-48.

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.

Htwe, C. S. S. (2016). Assessment on variation and segregation in f2 population of hot pepper (*Capsicum annuum*). CHAW SU (Doctoral dissertation, MERAL Portal).

IPGRI, A. (1995). CATIE. Descriptors for Capsicum (*Capsicum spp*.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; the Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, and the Centro

Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 110.

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 the varietal improvement of chilli (*Capsicum annuum* L.) specially heterosis breeding. Agronomy, 11(11), 2217.

Kraig, E., Pérez, P. A., & García, E. L. (2014). Revisión del género *Capsicum*: importancia, diversidad y usos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(9), 1715–1726.

Laborde, J. A., & Pozo, A. A. (1984). Especies de chile cultivadas y silvestres en México. Universidad Autónoma Chapingo.

López-Ordaz, P., Orozco-Palma, G., Daza-Merino, C. L., Perea-Flores, M. J., Torres-Ventura, H. H., & Yáñez-Fernández, J. (2022). Producción de chile (*Capsicum spp*.) en México y sus beneficios medicinales y alimentarios. Mexican Journal of Technology and Engineering, 1 (3), 11-16.

Luján, M. A., & Rodríguez, C. A. (2000). Evaluación agronómica de líneas e híbridos de chile (*Capsicum annuum* L.). INIFAP, Campo Experimental Zacatecas.

Márquez, J. (1988). El mejoramiento genético del chile en México: situación actual y perspectivas. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

Márquez-Mendoza, J. I., Zúñiga-Gracia, D. A., Gallegos-Robles, M. A., Luna-Ortega, J. G., Galindo-Guzmán, M., & Lugo-Palacios, A. D. (2025). Biofertilization increases fruit size and quality of jalapeño chile (*Capsicum annuum* L.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 28(1).

Martínez, O., Pérez, M. R., & Soto, F. C. (2005). Caracterización morfológica y calidad de fruto en líneas avanzadas de chile jalapeño (Capsicum annuum L.). Revista Chapingo Serie Horticultura, 11(2), 89–96.

Méndez-Aguilar, J., Pérez, C. J., & Morales, R. J. (2008). Variabilidad genética en poblaciones segregantes de chile. Revista Fitotecnia Mexicana, 31(1), 1–9.

Moscone, E. A., Baranyi, M., Ebert, I., Greilhuber, J., Ehrenorfer, F., Hunzijer, A. T. 2003. Analysis of nuclear DNA content in Capsicum (Solanaceae) by flow cytometry and Feulgen densitometry. Annals Botany 92: 21-29.

Nascimento, M. F., Rêgo, E. R. D., Nascimento, N. F. F. D., Leite, P. S. D. S., Finger, F. L., Bruckner, C. H., & Rêgo, M. M. D. (2019). Heritability of morpho-agronomic traits in ornamental pepper. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 19, 253-261.

Owens, L. D. (1998). Strategies in plant breeding. Plant Breeding Reviews, 16, 67–124.

Panse, V. G. and P. V. Sukhatme. 1957. Statistical methods for agricultural workers.ICAR. New Delhi, India.

Peña-Lomelí, A., Martínez de la Cruz, J. B., & González-Rodríguez, M. (2022). Correlación y heredabilidad en características agronómicas de chile (*Capsicum annuum* L.) en generaciones tempranas. Revista Chapingo Serie Horticultura, 28(2), 95–104.

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.

Pessoa, A. M. S. dos, Rêgo, E. R., Barroso, P. A., & Rêgo, M. M. (2015). *Genetic diversity and importance of morpho-agronomic traits in a segregating F_2 population of ornamental pepper*. *Acta Horticulturae, 1087*, 195–200.Pichardo-González, J. M., Guevara-Olvera, L., Couoh-Uicab, Y. L., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A., Medina, H. R., ... & Acosta-García, G. (2018). Efecto de las giberelinas en el rendimiento de chile jalapeño (Capsicum annuum L.). Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(5), 925-934.

Pickersgill, B. (2007). Domestication of plants in the Americas: Insights from Mendelian and molecular genetics. Annals of Botany, 100(5), 925–939.

Pozo, A. A. (1981b). El mejoramiento genético del chile en México. Revista Chapingo, 5(1), 12–18.

Pozo, A. A., & Ramírez, L. M. (1994). El chile en México: variabilidad, mejoramiento y producción. Universidad Autónoma Chapingo.

Pozo, A. A., & Ramírez, L. M. (1998). Programas de mejoramiento genético de chile: enfoques actuales y perspectivas. INIFAP.

Quagliotti, L. (1970). Heterosis in pepper. Euphytica, 19, 354–361.

Ramírez, A., González, R., & López, H. (2007). Mejoramiento genético del chile: selección por descendencia de una semilla. INIFAP.

Ramírez, A., González, R., & López, H. (2009). Desarrollo de híbridos de chile serrano: coloso y centauro. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2(1), 65–72.

Runkle, E. S., Blanchard, M. G., & Faust, J. E. (2011). Temperature, photoperiod, and daily light integral effects on flowering and growth of greenhouse crops. HortScience, 46(4), 483–495.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2014). Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).

SIAP. (2023). Producción agrícola por cultivo: Chile verde. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

SIAP. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Tanksley, S. D. (1984). Linkage and chromosomal location of genes controlling fruit shape and quality in tomato. Theoretical and Applied Genetics, 67(4), 501–507.