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

Aptitud combinatoria en cruzas de chile jalapeño para características del fruto y producción de semilla.

Por:

HERMINIO FABIAN CARPIO CERVANTES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Mayo 2026

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

Aptitud combinatoria en cruzas de chile jalapeño para características del fruto y producción de semilla.

Por:

HERMINIO FABIAN CARPIO CERVANTES

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. MEYMAR CAMPOSECO MONTEJO
Coasesor

DR. FERNANDO BORREGO ESCALANTE
Coasesor

DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Mayo 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

Herminio Fabián Carpio Cervantes

Agradecimientos

A **Dios**, por concederme la fortaleza, la sabiduría y la constancia necesarias para concluir esta etapa fundamental de mi formación profesional.

A mi alma mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de formarme académica y profesionalmente, contribuyendo de manera significativa a mi crecimiento personal.

Al Dr. **Francisco Alfonso Gordillo Melgoza**, asesor de este trabajo, por su acompañamiento durante el desarrollo de la tesis, por compartir sus conocimientos, y por su calidad como maestro, amigo y consejero.

Al Dr. **Fernando Borrego Escalante**, por su disposición, apoyo y tiempo dedicado en la revisión y aportación al presente trabajo.

Al Dr. **Neymar Camposeco Montejo**, por sus valiosas observaciones en la revisión de este trabajo y por el tiempo que dedicó al mismo.

A la M.C. **Cristina Patricia Aguilar Aranda**, por su importante colaboración en la toma de datos para la realización de este trabajo.

A la M.C. **María de Lourdes Hernández Hernández**, por su apoyo y valiosa participación en la recopilación de datos del presente estudio.

A **Francisco Zavala** y a **Ma. de Jesús Gloria**, por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional, especialmente en los momentos en que más lo necesité.

A **Yuli Hernández**, por ser una gran persona, mi amiga y confidente que está presente en esta parte de mi vida, celebrando un logro más.

Dedicatorias.

A mi familia, por ser el pilar de mi vida. A mi madre, **Ma. Agustina Cervantes Rodríguez**, y a mi padre, **Herminio Carpio Otero**, por su amor incondicional, por su esfuerzo constante y por apoyarme en todo momento a lo largo de mi estancia universitaria. Gracias por sus consejos, por su confianza y por motivarme siempre a seguir adelante, aun en la distancia, a ustedes con profundo cariño y gratitud, les dedico este trabajo.

A mi hermana, **Karina Berenice Carpio Cervantes**, y a mis hermanos, **Oscar Alonso Carpio Cervantes** y **Juan Jesús Carpio Cervantes**, por su apoyo, cariño y por impulsarme a alcanzar cada una de mis metas.

A mis sobrinas, **Melani** y **Tania Otero**, quienes representan una fuente de alegría e inspiración para seguir creciendo y superándome día con día.

A mis abuelos paternos, **Herminio Carpio** (†) y **Ma. Guadalupe Otero** (†), quienes siempre fueron un pilar fundamental en mi vida, quienes me vieron crecer y me transmitieron conocimientos, valores y un profundo amor por la agronomía desde mi infancia.

A mi abuelo materno, **Antonio Cervantes** (†), y a mi abuela materna, **Margarita Rodríguez**, por sus consejos, por ayudarme a formarme como persona, por su cariño, confianza y por enseñarme el valor de la humildad y el respeto, siendo además grandes amigos en mi vida.

A todos ellos, que me vieron ingresar a la universidad de mis sueños, pero que lamentablemente no alcanzaron a verme portar la toga y el birrete, esta dedicatoria va hasta el cielo con todo mi amor y cariño.

Y a toda mi familia en general, que de una u otra manera han sido partícipes de este logro y han estado conmigo en todo momento.

Índice de Contenido

Agradecimientos iv
Dedicatorias v
Resumen ix
Abstract x
I. INTRODUCCIÓN. 10
1.2 Objetivos 12
1.2.1Objetivo general 12
1.2.2 Objetivos específicos 12
1.3 Hipótesis nula. 12
1.3.1 Hipótesis alternativa 12
II. REVISIÓN DE LITERATURA 13
2.1 Importancia Cultural y Gastronómica 13
2.2 Importancia Económica 13
2.3 Descripción y Origen del Chile 13
2.4 Clasificación taxonómica 14
2.5 Método dialélico 14
2.6 Método 1 (Dialélico Completo) 15
2.7 Método 2 (Cruzas directas y autofecundaciones) 15
2.8 Método 3: Cruzas directas y cruzas recíprocas 15
2.9 Método 4: Cruzas directas 15
2.10 Aptitud Combinatoria 16
2.11 Aptitud Combinatoria General (ACG) 16
2.12 Aptitud Combinatoria Específica (ACE) 16
III. MATERIALES Y MÉTODOS 17
3.1 Etapa 1 17
3.2 Ubicación y localización del experimento 17
3.3 Material vegetal 17
3.4 Manejo del cultivo 18
3.5 Siembra 18
3.6 Trasplante en bolsa de polietileno 18
3.7 Cruzamientos dialélicos 18
3.8 Cosecha y extracción de semillas 19

3.9 Etapa 2. 19
3.10 Manejo de cultivo 20
3.11 Variables morfológicas del fruto 20
3.12 Diseño experimental 21
3.13 Efectos genéticos 22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 24
4.1 Variables morfológicas del fruto 24
4.2 Características internas del fruto y producción de semillas 30
V. CONCLUSIÓN 38
VI. REFERENCIAS 39

Índice de cuadros

Cuadro 1. Materiales utilizados en el análisis dialélico de chile jalapeño. 17
Cuadro 2. Esquema de cruzamientos dialélicos realizados entre los progenitores. 19
Cuadro 3 Análisis de varianza para caracteres morfológicos del fruto en un cruzamiento dialélico de ocho genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) bajo el Método IV de Griffing (1956)..... 24
Cuadro 4 Aptitud combinatoria general (ACG) de ocho genotipos de chile jalapeño para caracteres morfológicos de fruto. 26
Cuadro 5 Aptitud combinatoria específica (ACE) para características morfológicas del fruto en 28 cruzas de chile jalapeño 27
Cuadro 6 Comparación de medias para las características morfológicas del fruto de chile jalapeño. 29
Cuadro 7 Análisis de varianza para características internas del fruto y producción de semillas en diferentes cruzas de chile jalapeño. 31
Cuadro 8. Efectos de aptitud combinatoria general de ocho genotipos de chile jalapeño para características internas del fruto y producción de semillas. 33
Cuadro 9. Aptitud combinatoria específica (ACE) para características internas del fruto y producción de semillas en cruzamientos dialélicos de ocho genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)..... 34
Cuadro 10 Comparación de medias para características internas del fruto y producción de semillas en cruzas de chile jalapeño. 36

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) en ocho genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*), mediante un diseño dialélico bajo el método IV de Griffing (1956), con el fin de identificar progenitores y cruzas con potencial para programas de mejoramiento genético. El trabajo se realizó en dos etapas: la primera etapa fue el dialélico donde resultaron 28 cruzas directas en condiciones de invernadero, y la segunda etapa fue la evaluación en campo abierto de las cruzas con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se analizaron variables morfológicas del fruto, largo del fruto, ancho de fruto, espesor de pared, despate y longitud de pedicelo, número de semillas, peso de semilla, peso de 1000 semillas, número de lóculos y longitud de placenta. Los resultados presentaron diferencias significativas entre cruzas para la mayoría de las variables, muestra variabilidad genética. La ACG fue significativa en la mayoría de las características, indicando efectos génicos aditivos, mientras que la ACE mostró relevancia principalmente en variables como despate y variables relacionadas con la producción de semillas, con efectos no aditivos. Los genotipos 2, 4 y 8 destacaron por su alta ACG en diversas variables, lo que los posiciona como buenos progenitores. En cuanto a las cruzas, 1×5, 1×4, 2×8, 2×5, 3×8 y 4×5 mostraron efectos favorables en características de fruto y semilla. Existe variabilidad genética suficiente para la selección de materiales, en combinación de efectos aditivos y no aditivos que puede ser aprovechada en programas de mejoramiento genético de chile jalapeño orientados a incrementar rendimiento y calidad.

Palabras clave: Mejoramiento genético, análisis dialélico, rendimiento, semilla.

Abstract

The present study aimed to evaluate general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) in eight jalapeño pepper genotypes (*Capsicum annuum* L.) using a diallel design under Griffing's Method IV (1956), in order to identify parents and crosses with potential for genetic improvement programs. The study was conducted in two stages: the first stage consisted of the diallel crossing, resulting in 28 direct crosses under greenhouse conditions; the second stage involved the field evaluation of these crosses using a randomized complete block design with four replications.

Morphological fruit traits were analyzed, including fruit length, fruit width, pericarp thickness, peduncle detachment, pedicel length, number of seeds, seed weight, 1000-seed weight, number of locules, and placenta length.

The results showed significant differences among crosses for most variables, indicating the presence of genetic variability. GCA was significant for most traits, suggesting the importance of additive gene effects, while SCA was mainly relevant for traits such as peduncle detachment and seed-related variables, indicating the presence of non-additive effects.

Genotypes 2, 4, and 8 stood out due to their high GCA across several traits, positioning them as promising parents. Regarding crosses, 1×5, 1×4, 2×8, 2×5, 3×8, and 4×5 showed favorable effects for fruit and seed characteristics.

There is sufficient genetic variability for selection, and the combination of additive and non-additive effects can be effectively exploited in jalapeño pepper breeding programs aimed at improving yield and fruit quality.

Keywords: Plant breeding, Diallel analysis, Yield, seed.

I. **INTRODUCCIÓN**.

El incremento en la producción del chile en México está muy ligado con el desarrollo de la industria alimentaria, aumentando a mejores prácticas de manejo agronómico, sanitario, nutricional y de inocuidad han permitido incrementar el rendimiento por unidad de superficie (Ceniceros-García, 2022). Para dejar el impacto de la horticultura a campo abierto en la producción de chile, podemos observar las diferencias significativas que se tienen en los rendimientos (SADER, 2024).

De acuerdo con cifras de comercio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), México es uno de los principales países exportadores de chile verde y ocupa el sexto lugar en ventas de chile seco en el extranjero (FAOSTAT, 2026).

En 2024 México ocupó el cuarto lugar como productor mundial de chiles, con una cosecha de 771,460.53 toneladas, con un incremento de 2.7%, respecto al año anterior 2023**.** Existen más de cien variedades de chiles en México, de los cuales 25 son comercializadas en fresco, sobresaliendo el jalapeño, el poblano y el serrano (DGSIAP, 2026).

Los principales estados productores de chile son Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí, Sonora y Jalisco, el cultivo de chiles genera ingresos competitivos para los productores y su cosecha puede durar hasta 150 días (CIAD, 2021).

Según los datos recolectados del (SIAP, 2024) el estado de Chihuahua ocupa el primer lugar con una producción nacional de 309,438.50 toneladas a campo abierto y con un valor agregado de $8,045.39, el estado de Sinaloa ocupa el segundo lugar con una producción nacional de 184,025.28 toneladas a campo abierto y con un valor agregado de $1,181,641.66, el estado de Michoacán ocupa el tercer lugar con una producción nacional de 77,754.50 toneladas a campo abierto y con un valor agregado de $815,305.95, el estado de Jalisco ocupa el

cuarto lugar con una producción nacional de 77,754.50 toneladas a campo abierto y con un valor agregado de $815,305.95.

Según las estadísticas del cultivo de chile resalta tanto en su importancia cultural como económica en México. Se destaca como un pilar en la cocina mexicana y un cultivo de alto valor comercial, con productos verdes y secos, donde destaca la producción nacional de chiles como el jalapeño y el chile verde, reflejando un consumo significativo (CIAD, 2021).

Desde la antigüedad, los agricultores y los ganaderos ya realizaban mejoramiento genético al hacer su propia selección, se quedaban con los mejores granos y con los mejores animales, entonces ellos mismos eran los mejoradores (Salmerón, 2013). En la actualidad en los países con poco desarrollo se sigue implementando estos métodos de selección, mientras tanto en los países desarrollados esta tarea, la realizan los mejoradores, que son profesionales especializados en la materia, por tal motivo agricultores y ganaderos solo utilizan lo que los mejoradores les proporcionan (Acquaah, 2012).

Las técnicas de mejoramiento genético del chile han consistido en la formación de líneas puras, mediante diferentes variantes de selección como masal, estratificada y recurrente a partir de poblaciones locales, para posteriormente derivar líneas mediante selección individual (Pozo, 1981). Asimismo, el método de pedigrí se ha utilizado para combinar caracteres hortícolas deseables mediante hibridación, mientras que para la incorporación de resistencia genética a plagas y enfermedades se ha preferido el método de retrocruzas (Greenleaf, 1986; Owens, 1998).

1.2 Objetivos

1.2.1Objetivo general.

Evaluar 28 cruzas de chile jalapeño para identificar progenitores y combinaciones con buen comportamiento en características del fruto y producción de semilla.

1.2.2 Objetivos específicos.

Evaluar las cruzas de chile jalapeño en características morfológicas del fruto y la producción de semilla.

Estimar la aptitud combinatoria general de los progenitores para identificar cuáles aportan características favorables a sus descendencias.

Estimar la aptitud combinatoria específica de las cruzas para detectar las combinaciones más sobresalientes.

Identificar los genotipos y cruzas con mayor potencial para su uso en programas de mejoramiento genético de chile jalapeño.

1.3 Hipótesis nula.

No existen diferencias significativas entre las cruzas de chile jalapeño en las características del fruto ni en la producción de semilla.

1.3.1 Hipótesis alternativa.

Sí existen diferencias significativas entre las cruzas de chile jalapeño en las características del fruto y en la producción de semilla, por lo que es posible identificar progenitores y combinaciones sobresalientes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Importancia Cultural y Gastronómica

El chile es un componente primordial de la identidad de México, considerado casi un símbolo patrio y una parte esencial de su simbología popular (SADER, 2016). En la gastronomía, es un ingrediente que caracteriza la cocina mexicana, base en la elaboración de moles, adobos y salsas, aportando sabor, textura y color (Bosland y Votava, 2012). Existen evidencias de que ha formado parte de la dieta mexicana por más de 8,000 años, complementando el régimen alimenticio tradicional de maíz, frijol y calabaza. En México, se registran 64 tipos diferentes de chiles consumidos en diversas formas: frescos, deshidratados, cocidos o industrializados (SEMARNAT, 2018).

2.2 Importancia Económica

A nivel mundial, el chile es la especie más consumida y ocupa el quinto lugar en producción entre las principales hortalizas. Los mayores productores de chile son: China con el 38.68%, India con el 11.88%, Turquía con el 7.66% México con el 7.19%, (FAOSTAT, 2026). En 2022, la producción en México alcanzó las 3,112,481 toneladas, lo que posiciona al país como el tercer productor mundial, el chile jalapeño representa una tercera parte (31%) de la producción nacional en México. Económicamente, es un cultivo de alta rentabilidad que genera divisas significativas; en 2022, las exportaciones de fruto verde generaron ganancias superiores a los 1,047 millones de dólares (SADER, 2024).

2.3 Descripción y Origen del Chile

El chile es originario de México, con evidencias arqueológicas en regiones como Tehuacán, Puebla y Ocampo, Tamaulipas, que datan del año 7000 al 2555 a.C (SIAP, 2023). El nombre "jalapeño" deriva de la ciudad de Jalapa (Xalapa), Veracruz, aunque actualmente los mayores productores son Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas (SADER, 2022).

2.4 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Subdivisión: Spermatophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Capsicum

Especie: *Capsicum annuum* L.

(ITIS, 2026).

2.5 Método dialélico

El método dialélico consiste en realizar todos los cruzamientos posibles entre un grupo de genotipos seleccionados, su objetivo principal es descomponer la varianza genética para entender cómo se heredan los caracteres de interés, como el rendimiento o la calidad del fruto en *Capsicum annuum* L (Sprague y Tatum, 1942; Griffing, 1956; Undang *et al.* (2024).

El análisis dialélico propuesto por (Griffing, 1956) es una de las herramientas biométricas más utilizadas en el fitomejoramiento para evaluar la aptitud combinatoria de los progenitores y sus cruzas. Este procedimiento permite descomponer la varianza genética en componentes de aptitud combinatoria general (ACG), asociada a efectos aditivos, y aptitud combinatoria específica (ACE), asociada a efectos no aditivos como la dominancia y la epistasia.

En el mejoramiento de chiles y otros cultivos, (Griffing, 1956) estableció cuatro métodos principales de apareamiento dialélico, cuya elección depende de si se incluyen los progenitores y las cruzas recíprocas.

2.6 Método 1 (Dialélico Completo)

Incluye a los progenitores, las cruzas directas y las cruzas recíprocas. Es el diseño más exhaustivo, ya que permite estimar no solo la ACG y la ACE, (Fasahat, 2016) sino también los efectos maternos y recíprocos, lo cual es fundamental para determinar si el orden de los padres en la cruza afecta las características de la progenie.

2.7 Método 2 (Cruzas directas y autofecundaciones)

Incluye a los progenitores y las cruzas directas, pero omite las recíprocas, este método es muy utilizado por ser más manejable y eficiente cuando se asume que no existen efectos recíprocos significativos (Sprague y Tatum, 1942). En estudios de chiles (*Capsicum annuum* L*)*, este diseño facilita la evaluación de una amplia gama de genotipos para identificar buenos combinadores generales.

2.8 Método 3: Cruzas directas y cruzas recíprocas

No incluye a los progenitores. Al igual que el Método 1, permite la estimación de efectos recíprocos y variaciones debidas a efectos maternos, los cuales han demostrado ser relevantes en rasgos como la resistencia a plagas y fechas de antesis en algunos híbridos (Singh y Chaudhary, 1981).

2.9 Método 4: Cruzas directas

Omitiendo tanto a los progenitores como a las recíprocas, este método es común en estudios donde el objetivo primordial es evaluar el rendimiento de los híbridos, pero sin necesidad de comparar la superioridad respecto a los padres en el mismo análisis estadístico (Hallauer *et al*., 2010).

2.10 Aptitud Combinatoria

El mejoramiento genético busca combinar alelos favorables de diferentes progenitores para generar híbridos superiores en rendimiento y calidad (Sprague y Tatum, 1942; Basulto, 2023).

2.11 Aptitud Combinatoria General (ACG)

La ACG se define como el comportamiento promedio de un progenitor en una serie de combinaciones híbridas estadísticamente, la ACG se asocia con los efectos genéticos aditivos (Sprague y Tatum, 1942). Los progenitores que exhiben valores de ACG positivos y altos son considerados excelentes recursos para transmitir características deseables de rendimiento a su progenie, permitiendo la selección de individuos superiores en generaciones tempranas (Luna-García, 2018).

2.12 Aptitud Combinatoria Específica (ACE)

La ACE describe aquellos casos en los que ciertas combinaciones híbridas se desempeñan mejor o peor de lo esperado basándose en el promedio de sus padres. Este parámetro se relaciona con efectos genéticos de dominancia y epistasia (Sprague y Tatum, 1942). En el chile jalapeño, la ACE es crucial para identificar combinaciones específicas que maximizan el vigor híbrido o heterosis, especialmente en caracteres como el rendimiento de fruto por planta, que presenta baja heredabilidad y alta influencia ambiental (Fasahat, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en dos etapas.

3.1 Etapa 1

3.2 Ubicación y localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en marzo del año 2025, durante el ciclo primavera-verano, en el invernadero número 9 del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Saltillo, Coahuila, México. El sitio se localiza en las coordenadas 25°21´15.24" de latitud norte y 101°02´03.74" de longitud oeste, a una altitud de 1,773 msnm. La región presenta un clima predominantemente semiseco templado, caracterizado por veranos prolongados y cálidos, así como inviernos cortos, secos y fríos. La temperatura media anual es cercana a los 17 °C, con mañanas frescas y días templados, registrando variaciones térmicas que generalmente oscilan entre los 5 °C y los 29 °C a lo largo del año, correspondiendo a la clasificación climática BS1 según INEGI (2010). En este lugar se realizaron las cruzas entre los materiales utilizados. (Cuadro 1)

3.3 Material vegetal

El material vegetal utilizado fueron ocho híbridos comerciales de tipo jalapeño (Cuadro 2). La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades, utilizando un sustrato compuesto por una mezcla de peat moss, perlita y humus en proporción 70:15:15 (v/v). Adicionalmente, la mezcla fue inoculada con *Trichoderma* y micorrizas para favorecer el desarrollo radicular y la sanidad de las plántulas.

Cuadro 1. Materiales utilizados en el análisis dialélico de chile jalapeño.

No. progenitor	Material
1	Mixteco

2	Orizaba
3	Everman
4	Dante
5	Baluarte Lux
6	Godzilla
7	Raider
8	Odiseo

3.4 Manejo del cultivo

3.5 Siembra

La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades, utilizando un sustrato compuesto por una mezcla de peat moss, perlita y humus en proporción 70:15:15 (v/v). Adicionalmente, la mezcla fue inoculada con Trichoderma y micorrizas para favorecer el desarrollo radicular y la sanidad de las plántulas.

3.6 Trasplante en bolsa de polietileno

El trasplante de los materiales se realizó 50 días después de la siembra en bolsa de polietileno bicolor de 10L (blanco/negro).

El riego se llevó a cabo con la programación con un temporizador digital para bomba de agua (marca Steren), programado con una frecuencia de cada 2 horas con una duración del período de riego de 5 minutos, estos fueron variando de acuerdo a los requerimientos del cultivo y las condiciones climatológicas externas al invernadero. La fertilización se llevó a cabo siguiendo la propuesta descrita por Mata *et al*. (2010).

3.7 Cruzamientos dialélicos

Los cruzamientos se realizaron siguiendo un diseño dialélico conforme al método IV, modelo I de Griffing (1956), utilizando ocho progenitores. Este esquema

incluye únicamente las cruzas directas entre los parentales. Los materiales utilizados se muestran en el Cuadro 1 y 2.

Cuadro 2. Esquema de cruzamientos dialélicos realizados entre los progenitores

Progenitores	2	3	4	5	6	7	8
1	1×2	1×3	1×4	1×5	1×6	1×7	1×8
2	—	2×3	2×4	2×5	2×6	2×7	2×8
3		—	3×4	3×5	3×6	3×7	3×8
4			—	4×5	4×6	4×7	4×8
5				—	5×6	5×7	5×8
6					—	6×7	6×8
7						—	7×8

3.8 Cosecha y extracción de semillas

La cosecha se realizó cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica. Posteriormente, la extracción de semillas se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

3.9 Etapa 2.

La etapa 2 se evaluaron las veintiocho cruzas en campo abierto, el ensayo se estableció en los terrenos del bajío el 13 de mayo del 2025 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), coordenadas geográficas son 25°21'20.03" latitud Norte y 101°02'18.19" longitud Oeste, con altitud de 1,747 m.s.n.m. durante el ciclo primavera-verano, la región presenta un clima predominantemente semiseco templado, caracterizado por veranos prolongados y cálidos, así como inviernos cortos, secos y fríos. La temperatura media anual es cercana a los 17 °C, con mañanas frescas y días templados, registrando

variaciones térmicas que generalmente oscilan entre los 5 °C y los 29 °C a lo largo del año, correspondiendo a la clasificación climática BS1 según INEGI (2010).

3.10 Manejo de cultivo

La semilla de jalapeño se desinfectó con hipoclorito de sodio al 3% (NaOCl) aproximadamente 20 minutos para esterilizar la superficie de la semilla. Posteriormente la siembra se realizó en charolas de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat moss, perlita y humus de lombriz, en proporción 70:15:15 (v/v). Adicionalmente, la mezcla fue inoculada con *Trichoderma* y micorrizas la siembra se realizó manualmente y se colocó una semilla por cavidad.

Se utilizó un acolchado bicolor planta/negro en surcos de 1.50 m, al mismo tiempo se colocó una cintilla de riego de la marca Aqua-Traxx, calibre 6000 con goteros cada 20 cm y un gasto de 1 L/h.

El trasplante se realizó a los 50 días después de la siembra, estableciendo una densidad de 44,000 plantas ha^{-1}. Para ello, se efectuaron perforaciones en el acolchado plástico en doble hilera, colocando las plántulas a una distancia de 30 cm entre plantas y 1.5 m entre bordos. La fertilización se manejó mediante fertirriego, de acuerdo con la propuesta de Mata *et al*. (2010). El riego se aplicó cada tres días o cuando el cultivo lo requirió, según las condiciones climáticas. Para el control de plagas y enfermedades, se realizaron aplicaciones preventivas de productos orgánicos y químicos

3.11 Variables morfológicas del fruto

1. **Largo del fruto (cm).** Se midió el promedio de 10 frutos de la segunda cosecha, desde la base (inserción del cáliz) hasta el ápice o punta.

2. **Ancho del fruto (cm).** Se midió en la zona de mayor diámetro. Promedio de 10 frutos de la segunda cosecha.
3. **Espesor de la pared del fruto (mm)**. Se midió realizando un corte transversal en la parte media del fruto y utilizando un vernier.
4. **Número de lóculos:** Conteo de cavidades internas en el fruto.
5. **Long. de la placenta (mm).** Se midió de forma trasversal del tejido donde se insertan las semillas.
6. **Número de semillas:** Se realizó mediante el conteo directo de las semillas presentes en una muestra de diez frutos para obtener un promedio por unidad.
7. **Peso de semilla por fruto (g).** El peso de la semilla por fruto se obtuvo del promedio del peso de la semilla de diez frutos.
8. **Peso de 1000 semilla (g):** Se obtiene a partir del peso de 1000 semillas tras extraer las semillas de frutos en madurez fisiológica, hasta alcanzar un peso constante, el cual se registra en una balanza analítica de precisión.
9. **Longitud del pedicelo del fruto (cm)** Es la distancia medida desde la base del fruto hasta su punto de inserción con el tallo de la planta. Promedio de 10 frutos de la segunda cosecha.
10. **Despate del fruto:** Se determinó si la remoción del pedicelo ocurre de forma limpia o si se presentan daños mecánicos en el cáliz (desgarres), categorizando el comportamiento mediante una escala numérica de resistencia: 3 (Fácil/Leve), 5 (Intermedia) y 7 (Persistente) (IPGRI, 1995).

3.12 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con 28 cruzas, establecidos en cuatro repeticiones. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Minitab versión 19. Para la comparación de medias se aplicó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) de Fisher, con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

El modelo estadístico:

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij}= Valor observado del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.
- μ= Media general del experimento.
- τ_i= Efecto del i-ésimo tratamiento (i = 1, 2, …, 28).
- β_j= Efecto del j-ésimo bloque o repetición (j = 1, 2, …, 4).
- ε_{ij}= Error experimental asociado a cada observación.

Prueba de diferencia mínima significativa (DMS), de Fisher.

Formula:

$$DMS = t \propto /2, gle \sqrt{\frac{2.CME}{n}}$$

Donde:

- ***DMS*****:** Diferencia Mínima Significativa.
- ***t/2,gle*****:** Valor crítico de la distribución t de Student para el nivel de significancia ∝ y los grados de libertad del error (*gle*).
- ***CME*****:** Cuadrado Medio del Error derivado del ANOVA.
- ***n*****:** Número de repeticiones por tratamiento.

3.13 Efectos genéticos

Se realizó el diseño genético utilizando el método IV de (Griffing, 1956) para el análisis del cruzamiento dialélico, en el cual se estudian solo las cruzas directas, teniendo 28 cruzas por evaluar. Se estimó la habilidad combinatoria y se comparó el comportamiento de las cruzas en diferentes combinaciones, se estimó ACG y ACE para cada una de las características evaluadas (Hernández-Pérez, 2011).

El análisis genético se utilizó el programa AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 5.0 (Rodríguez *et al*., 2018).

El análisis se realizó bajo el modelo genético estadístico siguiente:

$$\boldsymbol{\gamma ijk} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\alpha i} + \boldsymbol{\alpha j} + \boldsymbol{\beta ij} + \boldsymbol{\varepsilon ijk}$$

Donde:

- $\boldsymbol{\gamma_{ij}}$**:** Valor de la cruza F1 entre el padre $\boldsymbol{i}$ y el padre $\boldsymbol{j}$
- $\boldsymbol{\mu}$**:** Media general.
- $\boldsymbol{\alpha_i}$**,** $\boldsymbol{\alpha_j}$**:** Efectos de la Aptitud Combinatoria General (ACG) de los padres i y j
- $\boldsymbol{\beta_{ij}}$**:** Efecto de la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de la cruza.
- $\boldsymbol{\varepsilon_{ijk}}$**:** Error experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables morfológicas del fruto

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para las características morfológicas del fruto en el cruzamiento dialélico de ocho genotipos de chile jalapeño, evaluado bajo el Método IV de Griffing (1956). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre cruzas para largo de fruto, ancho de fruto, despate y longitud de pedicelo, lo que sugiere la presencia de variabilidad genética entre los materiales evaluados para estas variables. Pero, para espesor de pared no se detectaron diferencias significativas entre cruzas.

Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) fueron significativos ($p \leq 0.01$) en todas las variables analizadas, lo que indica una participación importante de efectos génicos aditivos en la expresión de estas características. Por lo tanto, la aptitud combinatoria específica (ACE) no fue significativa para largo de fruto, ancho de fruto, espesor de pared y longitud de pedicelo; sin embargo, mostró significancia en la variable despate ($p \leq 0.05$), en esta característica también intervienen efectos no aditivos.

Los coeficientes de variación oscilaron entre 11.22 % para ancho de fruto y 21.03 % para despate. Las medias generales fueron de 10.59 cm para largo de fruto, 3.20 cm para ancho de fruto, 4.61 cm para espesor de la pared, 5.88 cm para despate y 3.05 cm para longitud de pedicelo.

Cuadro 3 Análisis de varianza para caracteres morfológicos del fruto en un cruzamiento dialélico de ocho genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) bajo el Método IV de Griffing (1956)

	Gl	Largo del fruto		Ancho del fruto		Espesor de la pared		Despate		Longitud del pedicelo	
Rep	3	2.88		0.46	*	0.37		4.42	*	2.03	**
Cruza	27	5.37	**	0.36	**	0.77		4.64	**	0.59	**
ACG	7	12.11	**	0.86	**	1.75	**	9.23	**	1.59	**
ACE	20	3.01		0.18		0.43		3.03	*	0.24	

Error	81	1.87	0.13	0.64	1.53	0.21
C.V%		12.9	11.22	17.32	21.03	15.1
Media		10.59	3.2	4.61	5.88	3.05
Mínimo		6.46	2.24	2.9	3	2.1
Máximo		16.48	4.73	7.4	7	5.32

FV: Fuentes de variación; Gl: Grados de libertad; Rep: Repetición; ACG: Actitud Combinatoria General ACE: Actitud Combinatoria Especifica**= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05, CV = Coeficiente de variación.

En el Cuadro 4, para la variable largo de fruto, los genotipos 2 (0.85), 4 (0.65) y 8 (0.61) presentaron efectos positivos y significativos ($p \leq 0.01$), lo que indica que estos parentales poseen una mayor capacidad para transmitir genes favorables asociados con frutos de mayor longitud. En contraste, el genotipo 7 (-1.17) presentó el valor negativo más alto y altamente significativo, lo que indica una menor contribución genética para esta característica. Asimismo, los genotipos 3 (-0.46) y 6 (-0.57) mostraron efectos negativos significativos ($p \leq 0.05$).

Para ancho de fruto, los genotipos 4 (0.28) y 2 (0.23) mostraron efectos positivos significativos ($p \leq 0.01$). En cambio, el genotipo 6 (-0.29) presentó un efecto negativo significativo, mientras que el genotipo 7 (-0.14) mostró un efecto negativo significativo ($p \leq 0.05$) Ornelas-Ramírez *et al.* (2021), quienes destacaron que este carácter presenta una heredabilidad moderada a alta u bajo control aditivo, lo que facilita su mejora mediante selección directa.

En espesor de pared, el genotipo 2 (0.33) presentó un efecto significativo ($p \leq 0.05$). Por el contrario, los genotipos 3 (-0.42) y 6 (-0.31) presentaron efectos negativos significativos, ha sido identificado como un carácter clave asociado con la calidad y resistencia de postcosecha, y su mejora está frecuentemente vinculada a efectos aditivos, como lo menciona Méndez-Aguilar. (2025).

En despate, el genotipo 1 (0.81) presentó el valor más alto significativo ($p \leq 0.01$), seguido de los genotipos 2 (0.48) y 3 (0.40), los cuales mostraron efectos

positivos significativos (p ≤ 0.05) el genotipo 6 (-1.19) seguido por 5 (-0.44), que mostraron un efecto negativo significativo. Estudios recientes, como el de Bravo-Delgado, *et al,* (2024), han indicado que caracteres asociados a la facilidad de cosecha y manejo también pueden estar influenciados por efectos aditivos.

En longitud de pedicelo, los genotipos 5 (0.30) y 6 (0.27) presentaron efectos positivos significativos (p ≤ 0.01), lo que indica su potencial para transmitir genes favorables relacionados con la longitud del pedicelo. El genotipo 2 (0.18) mostró un efecto positivo significativo (p ≤ 0.05) los genotipos 1 (-0.34), 7 (-0.35) y 3 (-0.15) presentaron efectos negativos significativos. Por lo tanto, el genotipo 2 destacó como uno de los mejores progenitores, ya que presentó valores positivos y significativos en todas las variables analizadas. López-López *et al*., 2021). encontraron que ciertos genotipos de chile jalapeño con alta ACG contribuyen consistentemente a mejorar características comerciales del fruto.

Cuadro 4 Aptitud combinatoria general (ACG) de ocho genotipos de chile jalapeño para caracteres morfológicos de fruto.

Genotipo	Largo del fruto (cm)	Ancho del fruto (cm)	Espesor de la pared (mm)	Despate	Longitud del pedicelo (cm)
1	0.26	0.07	0.25	0.81 **	-0.34 **
2	0.85 **	0.23 **	0.33 *	0.48 *	0.18 *
3	-0.46 *	-0.02	-0.42 **	0.40 *	-0.15 *
4	0.65 **	0.28 **	0.14	-0.10	0.02
5	-0.17	-0.09	0.01	-0.44 *	0.30 **
6	-0.57 *	-0.29 **	-0.31 *	-1.19 **	0.27 **
7	-1.17 **	-0.14 *	-0.14	-0.10	-0.35 **
8	0.61 **	-0.05	0.15	0.15	0.06

1: Mixteco, 2: Orizaba 3: Everman, 4: Dante, 5: Baluarte, 6: Godzilla, 7: Raider, 8: Odiseo. **= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05.

En el Cuadro 5, para la variable largo de fruto, únicamente la cruza 1×5 (1.65) presentó un efecto positivo significativo (p ≤ 0.01). El resto de las cruzas no

mostró significancia, lo que indica una reducida participación de efectos no aditivos. Para ancho de fruto, la cruza 1×5 (0.43) presentó un efecto positivo significativo ($p \leq 0.01$).

En espesor de pared no se presentaron efectos significativos en ninguna cruza, mostrando una escasa variación no aditiva en esta variable. En despate, la cruza 2×6 (1.50) destacó con un efecto positivo significativo ($p \leq 0.01$), mientras que las combinaciones 3×4 (-1.08), 5×8 (1.08) y 6×7 (-1.08) presentaron efectos significativos ($p \leq 0.05$). La cruza 1×2 (-2.17) presentó un efecto negativo significativo ($p \leq 0.01$). Estos resultados indicaron que despate fue una de las variables con mayor influencia de efectos génicos no aditivos.

En longitud de pedicelo, se observaron efectos significativos ($p \leq 0.05$). La cruza 3×5 (0.44) presentó un efecto positivo significativo, mientras que 6×8 (-0.41) mostró un efecto negativo significativo ($p \leq 0.05$). Los resultados muestran que la variación observada en la mayoría de las características físicas del fruto estuvo asociada principalmente con efectos aditivos, con excepción de despate, donde se evidenció una mayor participación de efectos no aditivos.

Cuadro 1 Aptitud combinatoria específica (ACE) para características morfológicas del fruto en 28 cruzas de chile jalapeño

Cruza	Largo del fruto		Ancho del fruto		Espesor de la pared	Despate		Longitud del Pedicelo
	(cm)		(cm)		(mm)			(cm)
1×2	-1.1		-0.22		-0.15	-2.17	**	-0.22
1×3	-0.62		-0.29		0.09	-0.58		0.1
1×4	0.21		-0.29		-0.1	-0.25		-0.09
1×5	1.65	**	0.43	**	0.37	0.42		-0.12
1×6	-0.44		-0.02		0.19	-0.25		0.24
1×7	-0.96		-0.14		-0.62	0.33		-0.32
1×8	0.08		0.02		0.31	0.25		-0.15
2×3	0.02		-0.01		-0.35	0.58		-0.11

2×4	0.84	0.3	0	0.67		0.04	
2×5	0.2	0	-0.11	0.17		-0.05	
2×6	0.89	-0.01	0.18	1.5	**	-0.02	
2×7	0.27	0.26	-0.16	0.83		-0.21	
2×8	0.59	0.07	0.47	-0.08		0.13	
3×4	-0.63	-0.17	-0.07	-1.08	*	0.24	
3×5	-0.77	-0.08	-0.18	-0.75		0.44	*
3×6	0.14	0.03	-0.22	0.42		0.33	
3×7	0.02	0.15	0.1	0.75		0.12	
3×8	-1.03	0.23	0.13	-0.17		-0.13	
4×5	0.48	-0.26	-0.13	-0.67		0.19	
4×6	-0.59	-0.1	0.18	0.17		-0.24	
4×7	0.75	0.12	0.09	-0.08		-0.18	
4×8	-1.03	0.05	-0.58	0.17		0.08	
5×6	1.02	0.14	0.48	0.5		0.26	
5×7	0.97	0.12	0.04	0.08		0.27	
5×8	-0.3	0.16	0.37	1.08	*	-0.18	
6×7	0.22	-0.12	0.16	-1.08	*	0.07	
6×8	-1.1	-0.18	-0.32	-0.33		-0.41	*
7x8	0.23	-0.16	-0.14	-0.42		-0.1	

1: Mixteco, 2: Orizaba 3: Everman, 4: Dante, 5: Baluarte, 6: Godzilla, 7: Raider, 8: Odiseo, **= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05.

Cuadro 6, para la comparación de medias para las características físicas del fruto. En la variable largo de fruto, las cruzas 1×4 y 2×8 mostraron los valores más altos, con 13.15 y 13.07 cm, respectivamente, mientras que la cruza 3×7 presentó el menor valor, con 4.00 cm. En trabajos realizados con diferentes genotipos de chile jalapeño se han reportado rangos de variación menores (9.62–11.44 cm), lo que indica diferencias tanto en los materiales genéticos como en las condiciones de evaluación (Méndez-Aguilar *et al*., 2025).

En ancho de fruto, la cruza 1×4 presentó el mayor valor (3.97 cm), mientras que los valores más bajos se observaron en las cruzas 5×6 y 6×8. Variaciones similares para esta variable han sido reportadas en evaluaciones de genotipos de jalapeño bajo condiciones de la Huasteca (Méndez-Aguilar *et al*., 2025). Para espesor de pared, las cruzas 2×8 y 1×4 mostraron los valores más altos (5.58 y

5.38 mm, respectivamente), mientras que la cruza 3×4 presentó el menor valor (3.71 mm).

En cuanto a despate, varios genotipos alcanzaron los valores máximos observados, lo que sugiere una variación fenotípica importante en el desprendimiento del fruto; esta variable también ha sido señalada como relevante en la evaluación de calidad de jalapeño (Méndez-Aguilar *et al*., 2025). Estos resultados confirman la presencia de variabilidad en las características del fruto de chile jalapeño, lo que respalda la oportunidad de seleccionar materiales con rasgos fenotípicos deseables en programas de mejoramiento genético.

Para longitud de pedicelo, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). La cruza 5×6 presentó el mayor valor con 4.06 cm, seguida de 4×6 (3.58 cm) y 2×8 (3.56 cm). En contraste, la cruza 3×7 mostró el valor más bajo con 2.42 cm. Valores similares fueron reportados por Luis García-Rodríguez *et al*. (2020), quienes documentaron una longitud de pedicelo entre 2.5 y 3.5 cm en materiales de chile jalapeño evaluados en condiciones de campo abierto.

Cuadro 2 Comparación de medias para las características morfológicas del fruto de chile jalapeño.

Cruza	Largo del fruto (cm)	Ancho del fruto (cm)	Espesor de pared (mm)	Despate	Long del pedicelo (cm)
1×2	10.61 c-f	3.27 b-f	5.05 a-d	5 bcd	2.68 ghi
1×3	9.78 d-h	2.95 e-h	4.53 a-e	6.5 ab	2.66 ghi
1×4	13.15 a	3.97 a	5.38 ab	7 a	2.62 hi
1×5	10.77 c-f	3.2 b-g	5.18 a-d	6.5 ab	2.86 d-i
1×6	11.17 b-e	2.97 e-h	4.73 a-e	7 a	2.96 b-i
1×7	9.82 c-h	3.15 c-h	4.5 a-e	7 a	2.69 f-i
1×8	10.44 c-g	3.27 b-f	4.43 b-e	7 a	2.86 d-i
2×3	11.2 b-e	3.12 c-h	4.43 b-e	6.5 ab	3.00 b-i
2×4	11.65 a-d	3.69 ab	5.28 abc	6 abc	3.50 a-d

2×5	11.3	a-e	3.33	b-f	4.6	a-e	6.5	ab	3.43	a-e
2×6	11.15	cde	3.4	b-e	4.48	a-e	6	abc	3.30	b-g
2×7	10.3	c-g	3.44	b-e	4.9	a-d	7	a	3.01	b-i
2×8	13.07	ab	3.52	a-d	5.58	a	7	a	3.57	abc
3×4	9.82	c-h	3.32	b-f	3.71	e	6.5	ab	2.61	hi
3×5	10.8	c-f	3.39	b-e	4.2	cde	6.5	ab	3.24	b-h
3×6	10.15	c-g	2.96	e-h	4.35	b-e	5	bcd	3.30	b-g
3×7	4	h	3.27	b-f	4.18	cde	6	abc	2.42	i
3×8	11.71	abc	3.25	b-f	4.38	b-e	6.5	ab	3.24	b-h
4×5	11.27	a-e	3.39	b-e	4.65	a-e	5.5	abc	3.33	b-f
4×6	10.04	c-g	3.02	d-h	4.38	b-e	3.5	d	3.59	ab
4×7	10.54	c-g	3.07	d-h	4.48	a-e	5	bcd	2.92	c-i
4×8	11.55	a-d	3.59	abc	5.28	abc	7	a	2.96	b-i
5×6	9.09	fgh	2.74	hgh	4.13	de	3.5	d	4.06	a
5×7	8.67	gh	2.87	f-h	4.65	a-e	5.5	abc	2.76	f-i
5×8	11.26	a-e	2.94	e-h	4.93	a-d	4.5	cd	3.49	a-d
6×7	9.6	e-h	2.88	f-h	4.25	cde	4.5	cd	2.80	e-i
6×8	9.53	e-h	2.68	hh	4.13	de	4.5	cd	2.98	b-i
7x8	10.26	c-g	2.85	f-h	4.48	a-e	5.5	abc	2.67	ghi

1: Mixteco, 2: Orizaba 3: Everman, 4: Dante, 5: Baluarte, 6: Godzilla, 7: Raider, 8: Odiseo. Los valores con una letra diferente en cada columna indican una diferencia significativa a P < 0,05 según la DMS= Fisher

4.2 Características internas del fruto y producción de semillas

En el Cuadro 7 se presentan los resultados del análisis de varianza para las características internas del fruto y la producción de semillas. Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre cruzas para las variables número de semillas por fruto, peso de semilla por fruto y peso de 1000 semillas, lo que indica la presencia de variabilidad genética entre los genotipos evaluados. Además, la aptitud combinatoria general (ACG) presentó efectos significativos ($p \leq 0.01$) para estas mismas variables, mientras que para número de lóculos se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Por otra parte, la aptitud combinatoria específica (ACE) mostró efectos significativos ($p \leq 0.01$) para número de semillas por fruto, peso de semilla por fruto y peso de 1000 semillas, lo que evidencia una importante participación de efectos no aditivos en la expresión de estas variables. Por lo tanto, para número

de lóculos y longitud de placenta no se detectaron efectos significativos entre cruzas.

Los coeficientes de variación fueron de 4.91 % para número de semillas, 5.84 % para peso de semilla por fruto y 3.22 % para peso de 1000 semillas, lo que indica una adecuada precisión experimental en estas variables. En cambio, para número de lóculos y longitud de placenta se registraron valores de 21.03 % y cuanto a los valores promedio, el número de semillas por fruto presentó una media de 146.87, con un rango de 46.87 a 250.18 semillas. El peso de semilla por fruto tuvo una media de 1.17 g, con valores entre 0.39 y 2.07 g, mientras que el peso de 1000 semillas presentó una media de 8.02 g, con valores mínimos y máximos de 3.75 y 12.81 g, respectivamente. Para número de lóculos se obtuvo una media de 2.83, con valores entre 2.00 y 4.00, y para longitud de placenta una media de 53.58, con valores entre 25.90 y 87.70.

Cuadro 3 Análisis de varianza para características internas del fruto y producción de semillas en diferentes cruzas de chile jalapeño.

FV	Gl	Número de semillas		Peso de semilla por fruto (g)		Peso de 1000 semillas (g)		Número de lóculos		Long. de placenta (cm)
Rep	3	34790.73	**	2.19	**	103.65	**	0.18		189.91
Cruza	27	3613.01	**	0.32	**	4.63	**	0.46		170.84
ACG	7	2697.95	**	0.20	**	5.68	**	0.77	*	155.23
ACE	20	3933.29	**	0.37	**	4.27	**	0.36		176.30
Error	81	52.03		0.00		0.07		0.35		120.23
C.V%		4.91		5.84		3.22		21.03		20.46
Media		146.87		1.17		8.02		2.83		53.58
Mínimo		46.87		0.39		3.75		2.00		25.90
Máximo		250.18		2.07		12.81		4.00		87.70

FV: Fuentes de variación; Gl: Grados de libertad; Rep: Repetición; ACG: Actitud Combinatoria General ACE: Actitud Combinatoria Especifica**= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05, CV = Coeficiente de variación.

En el Cuadro 8, en la ACG para la variable número de semillas por fruto, el genotipo 2 registró el mayor efecto positivo (12.18), seguido por el 8 (10.60), mientras que el valor más bajo fue la cruza 5 (-19.72). Este comportamiento ha sido reportado por Rodríguez Pérez**,** (2020), quienes encontraron que el número de semillas en chile jalapeño presenta una fuerte base aditiva, permitiendo una mejora eficiente mediante selección de progenitores con alta ACG. De manera similar, Pech May, *et al,* (2010) señalan que este carácter está estrechamente relacionado con la eficiencia reproductiva y el potencial de rendimiento.

En peso de semilla por fruto, el genotipo 4 presentó el mayor efecto positivo (0.14 g), seguido de 8 (0.05 g) y de los genotipos 1 y 2 (0.04 g), mientras que los valores negativos más bajos se observaron en 7 (-0.12 g) y 5 (-0.11 g). Este tipo de resultados coincide con lo reportado por CS, A., S, V., I, S., y Kaushik, P. (2020), quienes indican que valores negativos de ACG reflejan la presencia de alelos desfavorables que limitan el número de semillas por fruto.

Para peso de 1000 semillas, el mayor efecto positivo fue al genotipo 4 (0.73 g), seguido de 1 (0.51 g) y 3 (0.18 g), mientras que el valor más bajo fue 6 (-0.74 g). Este resultado es congruente con lo reportado por (Méndez-Aguilar *et al*., 2025), quienes observaron que el peso de semilla está altamente influenciado por efectos aditivos y puede ser mejorado mediante selección directa. Los valores negativos observados en los genotipos 7 y 5 sin embargo es la importancia de descartar materiales con bajo potencial genético para este carácter.

En número de lóculos, el genotipo 5 presentó el mayor efecto positivo (0.32), seguido de 1 (0.20), los efectos negativos se observaron en los genotipos 2 (-0.18), 4 (-0.09) y 7 (-0.09). En cuanto a longitud de placenta, el genotipo 8 presentó el mayor efecto positivo (2.05 cm), seguido por 4 (1.91 cm) y 6 (1.35 cm), mientras que el valor negativo más alto se observó en el genotipo 3 (-5.51 cm). Este resultado coincide con lo reportado por (Méndez-Aguilar *et al*., 2025), señalan que la longitud de placenta está relacionada con el número de semillas y presenta variabilidad genética aprovechable en programas de mejoramiento. El

genotipo 3, con el valor negativo más alto, sugiere una menor eficiencia en este componente.

Cuadro 4. Efectos de aptitud combinatoria general de ocho genotipos de chile jalapeño para características internas del fruto y producción de semillas.

Genotipo	Número de semillas	Peso de semilla por fruto	Peso de 1000 semillas	Número de lóculos	Long. de placenta
		(g)	(g)		(cm)
1	-5.83 **	0.04 **	0.51 **	0.20 *	-0.74
2	12.18 **	0.04 **	-0.29 **	-0.18	0.48
3	3.37 **	0.03 **	0.18 **	-0.01	-5.51 **
4	3.40 **	0.14 **	0.73 **	-0.09	1.91
5	-19.72 **	-0.11 **	0.13 **	0.32 **	1.71
6	4.01 **	-0.07 **	-0.74 **	0.03	1.35
7	-8.01 **	-0.12 **	-0.39 **	-0.09	-1.26
8	10.60 **	0.05 **	-0.13 **	-0.18	2.05

1: Mixteco, 2: Orizaba 3: Everman, 4: Dante, 5: Baluarte, 6: Godzilla, 7: Raider, 8: Odiseo. **= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05.

En el Cuadro 9, en la ACE para la variable número de semillas por fruto, se observaron efectos significativos ($p \leq 0.01$) en varias combinaciones, destacando 2×5 (50.08), 3×8 (45.17), 1×8 (34.68), 4×5 (34.49), y 1×4 (30.32), lo que muestra el buen potencial de estas cruzas para incrementar la producción de semillas. En combinaciones como 1×7 (-66.65) y 4×6 (-54.14) presentaron efectos negativos significativos.

Para peso de semilla por fruto, la mayoría de las cruzas mostraron efectos significativos ($p \leq 0.01$), destacando la cruza 2×8 (0.48), 2×5 (0.43), 3×8 (0.40) y 4×5 (0.39), existen efectos no aditivos en esta variable. De igual manera, se presentaron efectos negativos significativos en cruzas como 1×7 (-0.53) y 4×6 (-0.39).

En la variable peso de 1000 semillas, se identificaron cruzas con efectos significativos ($p \leq 0.01$); entre las positivas destacaron 2×8 (2.57), 2×3 (1.06) y 5×6 (0.88), mientras que 3×5 (-2.20) y 1×4 (-1.68) presentaron efectos negativos.

Para número de lóculos, se observaron pocos efectos significativos; únicamente las cruzas 1×5 (-0.68) ($p \leq 0.01$) y 2×8 (-0.60) ($p \leq 0.05$) mostraron significancia, lo que evidencia una menor influencia de la ACE en esta variable.

En longitud de placenta, la cruza 2×6 (12.81) presentó un efecto positivo significativo ($p \leq 0.01$), mientras que 3×7 (11.47) y 4×8 (-11.89) mostraron efectos significativos ($p \leq 0.05$).

Cuadro 9. Aptitud combinatoria específica (ACE) para características internas del fruto y producción de semillas en cruzamientos dialélicos de ocho genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

Cruza	Número de semillas	Peso de semilla por fruto	Peso de 1000 semillas	Número de lóculos	Long de la Placenta
		(g)	(g)		(cm)
1×2	-0.72	0.01	0.01	-0.1	-8.85
1×3	-17.16 **	-0.11 **	0.17	0.23	2.69
1×4	30.32 **	-0.03	-1.68 **	0.11	1.45
1×5	-5.31	-0.19 **	-0.93 **	-0.68 **	3.7
1×6	-7.79 *	-0.01	0.08	0.19	-4.88
1×7	-66.65 **	-0.53 **	0.28 *	0.27	5.64
1×8	34.68 **	0.38 **	0.77 **	0.15	-2.95
2×3	10.83 **	0.23 **	1.06 **	0.02	2.08
2×4	-34.28 **	-0.34 **	-0.82 **	-0.39	0.85
2×5	50.08 **	0.43 **	0.18	0.19	-0.65
2×6	-1.49	0.01	0.24 *	0.19	12.81 **
2×7	-11.34 **	-0.02	0.32 **	0.32	-5.76
2×8	7.82 *	0.48 **	2.57 **	-0.6 *	-3.07
3×4	-9.28 **	-0.21 **	-0.51 **	0.23	-4.64
3×5	-5.42	-0.33 **	-2.2 **	-0.18	-0.01
3×6	-7.52 *	-0.11 **	-0.33 **	0.07	4.49
3×7	-5.98	-0.19 **	-0.67 **	-0.31	11.47 *
3×8	45.17 **	0.4 **	0.07	0.27	-9.41
4×5	34.49 **	0.39 **	0.54 **	-0.14	-5.48
4×6	-54.14 **	-0.39 **	0.66 **	0.19	-0.73
4×7	13.69 **	0.13 **	0.19	-0.02	1.26
4×8	-2.47	0.01	0.08	0.15	-11.89 *
5×6	-15.32 **	0.01	0.88 **	-0.23	4.49
5×7	34.78 **	0.13 **	-0.59 **	0.11	1.86
5×8	4.46	0.13 **	0.36 **	-0.06	6.31

6×7	-1.75	0.02	0.34 **	0.02	1.42
6×8	6.02	-0.06	-0.61 **	0.07	-0.6
7x8	-25.71 **	-0.24 **	-0.45 **	-0.06	-1.59

1: Mixteco, 2: Orizaba 3: Everman, 4: Dante, 5: Baluarte, 6: Godzilla, 7: Raider, 8: Odiseo, **= Significativo al 0.01, *= Significativo al 0.05.

El Cuadro 10 muestra la comparación de medias para las variables relacionadas con la producción de semillas en las cruzas de chile jalapeño. Para la variable número de semillas por fruto, se observaron diferencias entre las cruzas evaluadas; la cruza 7×8 registró el valor más alto con 195.6 semillas por fruto, seguida de 6×8 con 192.8 semillas, mientras que la cruza 1×2 presentó el valor más bajo con 65 semillas por fruto. Al comparar estos resultados con otros estudios, se observa que el rango reportado por Hernández-Hernández *et al.* (2019) fue de 55.5 a 84.0 semillas por fruto, valores inferiores a los obtenidos en la presente investigación.

En peso de semilla por fruto, la cruza 5×8 presentó el valor más alto con 1.61 g, seguida de las cruzas 4×7 con 1.61 g y 5×7 con 1.57 g, mientras que la cruza 1×2 registró el valor más bajo con 0.54 g. Estos resultados son comparables con los reportados en evaluaciones de calidad de fruto en *Capsicum annuum* L, donde se ha señalado que el peso de la semilla está influenciado por factores genéticos y por el tamaño del fruto (Rodríguez-Laguna *et al*., 2012).

Para el peso de 1000 semillas, la cruza 4×7 presentó el valor más alto con 10 g, mientras que la cruza 1×7 registró el valor más bajo con 5.2 g. Estos resultados muestran una variabilidad importante entre las cruzas evaluadas. Al compararlos con otros estudios, se observa que en chile jalapeño se han reportado valores cercanos a 5.04 g para el peso de 1000 semillas, lo cual es similar al valor mínimo observado en esta investigación. No obstante, algunos de los cruzamientos evaluados presentaron valores superiores, lo que podría indicar diferencias genéticas entre los materiales utilizados y un mayor tamaño o peso individual de las semillas (Moo-Muñoz *et al*., 2019).

En el número de lóculos, la cruza 4×5 presentó el valor más alto con 3.5 lóculos, seguida de 1×2, 1×8 y 2×5 con 3.25 lóculos, mientras que el valor más bajo se observó en varias cruzas con 2.25 lóculos. En estudios sobre calidad fisicoquímica de frutos de chile se ha reportado que el número de lóculos no presenta diferencias significativas entre algunas categorías de tamaño de fruto; sin embargo, en frutos de mayor tamaño se han observado valores superiores a cinco lóculos por fruto, mientras que el tratamiento testigo presentó alrededor de cuatro lóculos en promedio (García-Rodríguez *et al*., 2020; Pérez-Grajales *et al*., 2022). Estos resultados sugieren que factores genéticos y de manejo agronómico pueden influir en la formación de lóculos dentro del fruto (Gómez-Raymundo, 2024).

Para la variable longitud de placenta, la cruza 2×5 registró el mayor valor con 67 mm, seguida de 2×7 (64.3 mm) y 4×8 (63.9 mm), mientras que el valor más bajo correspondió a la cruza 6×7 (37.4 mm). Estudios recientes en la evaluación de genotipos y cruzamientos en cultivos hortícolas Syukur *et al*., 2024).

Cuadro 5 Comparación de medias para características internas del fruto y producción de semillas en cruzas de chile jalapeño.

Cruza	Número de semillas	Peso de semilla por fruto	Peso de 1000 semillas	Número de Lóculos	Long. de la placenta
		(g)	(g)		(mm)
1×2	65 p	0.548 n	8.4 e	3.25 ab	53.3 a-f
1×3	87 o	0.801 lm	9.2 bc	3 abc	55.6 a-f
1×4	96.25 o	0.745 mn	7.5 ij	2.75 abc	50.6 b-g
1×5	123.8 n	0.859 l	7 k	2.5 bc	52.8 a-g
1×6	125.5 n	0.979 jk	7.8 hi	3 abc	56.1 a-f
1×7	125.8 n	0.659 n	5.2 n	3 abc	56.6 a-f
1×8	127.3 mn	1.129 gh	8.9 cd	3.25 ab	50 b-g
2×3	136 lm	1.134 gh	8.4 ef	3 abc	58.8 a-e
2×4	139.1 kl	1.156 gh	8.3 ef	2.25 c	58.5 a-e
2×5	143.6 jkl	1.153 gh	8 fgh	3.25 ab	67 a
2×6	145 i-l	1.022 ij	7.5 ij	3 abc	52.2 a-g

2×7	145.1	i-l	0.894	kl	6.7	l	2.25	c	64.3	ab
2×8	149.2	h-k	1.273	ef	8.5	e	3	abc	43	fg
3×4	150.2	hij	1.318	de	8.9	c	3	abc	57.9	a-f
3×5	151.7	hij	1.113	ghi	7.3	jk	3	abc	49.7	b-g
3×6	152.5	g-j	1.257	ef	8.2	efg	2.75	abc	44.5	efg
3×7	154.3	ghi	1.27	ef	8.5	e	2.25	c	60.6	a-d
3×8	154.7	ghi	1.323	de	8.5	de	2.75	abc	51.1	b-g
4×5	156	fgh	1.478	bc	9.4	b	3.5	a	51.6	a-g
4×6	156.6	fgh	1.103	hi	7.1	k	2.75	abc	54.9	a-f
4×7	162.1	efg	1.613	a	10	a	2.25	c	46.4	d-g
4×8	165.3	ef	1.482	bc	9	c	2.5	bc	63.9	abc
5×6	167.5	de	1.095	hi	6.5	lm	2.75	abc	56.4	a-f
5×7	176.8	cd	1.574	ab	8.9	cd	2.5	bc	48.8	c-g
5×8	180.6	bc	1.618	a	9.1	c	3.25	ab	56.6	a-f
6×7	187.4	ab	1.477	c	7.9	gh	3	abc	37.4	g
6×8	192.8	a	1.201	fg	6.2	m	2.75	abc	50	b-g
7x8	195.6	a	1.377	d	7.5	ij	2.75	abc	52	a-g

1: Mixteco, 2: Orizaba 3: Everman, 4: Dante, 5: Baluarte, 6: Godzilla, 7: Raider, 8: Odiseo. Los valores con una letra diferente en cada columna indican una diferencia significativa a P < 0,05 según la DMS= Fisher

V. CONCLUSIÓN

Con los resultados obtenidos se encontró una variabilidad genética importante entre los genotipos y cruzas de chile jalapeño evaluados, tanto en las características morfológicas del fruto como en las variables relacionadas con la producción de semillas. La aptitud combinatoria general (ACG) en la mayoría de las variables indicó efectos aditivos, lo que sugiere que la selección de progenitores con buen comportamiento y alta capacidad combinatoria puede ser una estrategia eficiente en programas de mejoramiento genético. Los genotipos 2, 4 y 8 destacaron por su contribución favorable en varias variables del fruto y de semilla.

Entre las cruzas más sobresalientes para las características físicas del fruto, la combinación 1×5 destacó por sus efectos positivos de ACE en largo y ancho de fruto, mientras que las cruzas 1×4 y 2×8 registraron los mayores valores en largo de fruto y también sobresalieron en espesor de pared. Para longitud de pedicelo, la cruza 5×6 presentó la media más alta.

En las variables relacionadas con producción de semillas, las cruzas 2×5, 2×8, 3×8 y 4×5 mostraron un comportamiento sobresaliente por sus efectos favorables. Además, 6×8 y 7×8 presentaron los mayores valores en número de semillas por fruto, mientras que 5×8 y 4×7 destacaron en peso de semilla por fruto, y 4×7 también presentó el mayor valor en peso de 1000 semillas. Por lo tanto, los progenitores 2, 4 y 8 y las cruzas 1×5, 1×4, 2×8, 2×5, 3×8, 4×5, 5×8, 4×7, 6×8 y 7×8 representan materiales de interés para programas de mejoramiento genético de chile jalapeño.

VI. REFERENCIAS

Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding*. John Wiley & Sons.

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. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 6*(3), 2179–2190.

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

Bravo-Delgado, H. R., Báez-Rodríguez, I., López-Sánchez, I., & Morales-Ruiz, A. (2024). Mejoramiento genético del chile miahuateco (*Capsicum annuum* L.) (Solanaceae) mediante radiación gamma de 60Co. *Agro Productividad, 17*(11), 203–209.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). (2021, diciembre 9). El chile como parte de la cultura alimenticia de México. https://www.ciad.mx/el-chile-como-parte-de-la-cultura-alimenticia-de-mexico/

Ceniceros-García, J. (2022). *Rendimiento, calidad e inocuidad de chile jalapeño (Capsicum annuum)* [Tesis de doctorado, Universidad Juárez del Estado de Durango].

CS, A., S, V., I, S., & Kaushik, P. (2020). Análisis dialélico de genotipos de pimiento picante (*Capsicum annuum* L.) para rasgos morfológicos y bioquímicos del fruto. *Plants, 9*(1), 1. https://doi.org/10.3390/plants9010001

Cubero Salmerón, J. I. (2013). *Introducción a la mejora genética vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa.

Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J. M., & Derera, J. J. (2016). Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal, 4*(1), 1–24.

García Bustamante, M. d. P., & López Benítez, A. Determinación de ACG y ACE en nueve genotipos de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*).

García-Rodríguez, L., Ramírez-Meraz, M., & Sánchez-Peña, P. (2020). Evaluación agronómica y morfológica de genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana, 43*(3), 245–253.

Gómez-Raymundo, R. G. (2024). *Evaluación de características fisicoquímicas y de calidad en frutos de chile* [Tesis de licenciatura, Universidad del

Papaloapan]. https://www.unpa.edu.mx/bibliotecas/images/Tesis/Tesis%20Loma/Procesamiento%20Agricola/XM2-2024-07%20ROSALBA%20GUADALUPE%20GOMEZ%20RAYMUNDO.pdf

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

Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences, 9*(4), 463–493.

Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. D. (2010). *Quantitative genetics in maize breeding* (Vol. 6). Springer Science & Business Media.

Hernández-Hernández, H., Sánchez-Aspeytia, D., Vázquez-Badillo, M. E., Ruiz-Torres, N. A., & Robledo-Torres, V. (2019). Calidad fisiológica de semilla en seis genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Agraria, 15*(3), 103–108. https://revista.uaaan.edu.mx/wp-content/uploads/2021/10/2019-2.pdf

Hernández-Pérez, M., López-Benítez, A., Borrego Escalante, F., López-Betancourt, S. R., & Ramírez-Meraz, M. (2011). Análisis dialélico del rendimiento de chile por el método IV de Griffing. *Agronomía Mesoamericana, 22*(1), 37–43.

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (2026). *Capsicum annuum* L. Consultado el 14 de enero de 2026 de https://www.itis.gov

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. INEGI.

IPGRI. (1995). *Descriptors for Capsicum (Capsicum spp.)*. IPGRI.

López-López, C., Tadeo-Robledo, M., García-Zavala, J. J., Espinosa-Calderón, A., & Mejía-Contreras, J. A. (2021). Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12*(4), 699–711.

Luna-García, L. R., Robledo-Torres, V., Vásquez-Badillo, M. E., Ramírez-Godina, F., & Mendoza-Villarreal, R. (2018). Hibridación entre diferentes tipos de chiles y estimación de la heterosis para rendimiento y calidad de fruto. *AIDA, 114*, 119–134.

Mata Vázquez, H., Vázquez García, E., Ramírez Meraz, M., & Patishtán Pérez, J. (2010). *Fertirrigación de chile serrano con riego por goteo en el sur de Tamaulipas* (Libro técnico No. 2). INIFAP.

Méndez-Aguilar, R., Ramírez-Meraz, M., Bautista-Pérez, C. E., & Salas-Gómez, A. L. (2025a). Evaluation of jalapeño pepper genotypes (*Capsicum annuum* L.) for the Planicie Huasteca. *Revista Agroproductividad, 18*(12), 165–170.

Méndez-Aguilar, R., Ramírez-Meraz, M., Bautista-Pérez, C. E., & Salas-Gómez, A. L. (2025b). Evaluation of jalapeño pepper genotypes (*Capsicum annuum* L.) for the Planicie Huasteca. *Agro Productividad*. https://doi.org/10.32854/efyzh989

Moo-Muñoz, A. J., Prado-Urbina, G., & colaboradores. (2019). *Investigaciones científicas en semillas y seguridad alimentaria*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Estadísticas*. https://www.fao.org

Ornelas-Ramírez, C. E., Hernández-Verdugo, S., Retes-Manjarrez, J. E., Valdez-Ortiz, A., Pacheco-Olvera, A., Osuna-Enciso, T., & Porras, F. (2021). Phenotypic variation among and within three pepper species (*Capsicum*). *Phyton, 90*(1), 259.

Owens, K. W. (1998). Pepper breeding. En J. Janick (Ed.), *Plant breeding reviews* (Vol. 16, pp. 139–188). John Wiley & Sons.

Pech May, A. M., Castañón Nájera, G., Tun Suárez, J. M., Mendoza Elos, M., Mijangos Cortés, J. O., Pérez Gutiérrez, A., & Latournerie Moreno, L. (2010). Combining ability and heterotic effects in sweet pepper populations (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana, 33*(4), 353–360.

Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Guzmán, E., Sánchez-García, P., & Castillo-González, A. M. (2022). Variabilidad en características de calidad de fruto en genotipos de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura, 28*(1).

Pozo, O. (1981). Mejoramiento genético del chile. En *Los chiles que le dan sabor al mundo*. IRD Éditions.

Rodríguez, F., Alvarado, G., Pacheco, A., Burgueño, J., & Crossa, J. (2018). *AGD-R software (analysis of genetic design in R), versión 5.0*. CIMMYT.

Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zárate, R., Juárez-Muñoz, J., Capulín-Grande, J., & Soto-Gutiérrez, R. (2012). Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii*. *Revista Fitotecnia Mexicana, 35*(4), 289–298.

Rodríguez Pérez, G., Treviño Ramírez, J. E., Ojeda Zacarías, M. del C., Cervantes Ortiz, F., Ávila Perches, M. A., & Gámez Vázquez, A. J. (2020).

Parámetros genéticos y aptitud combinatoria de líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11*(8), 1867–1878.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). El chile, inigualable sabor y tradición de México.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Cierre agrícola*.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2026). *Producción agrícola*.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). Producción de chile en México y principales estados productores.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). Las 64 variedades de chile en México.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Origen y domesticación del chile en México.

Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (1981). *Métodos biométricos en el análisis genético cuantitativo*.

Sprague, G. F., & Tatum, L. A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy, 34*(10), 923–932.

Syukur, M.; Maharijaya, A.; Nurcholis, W.; Ritonga, A.W.; Pangestu, A.Y.; Hatta, A.N.N.L.; Istiqlal, M.R.A.; Hakim, A.; Sahid, Z.D. Combining Ability of Capsicum annuum Hybrid for Antioxidant Activities, Polyphenol Content, α-Glucosidase Inhibitory, Yield, and Yield Components. Curr. Issues Mol. Biol. 2024, 46, 11700–11713. https:// doi.org/10.3390/cimb46100695

Undang, M. S., Wahyu, Y., & Qadir, A. (2024). Hayman's diallel analysis for physiological traits in chili (*Capsicum annuum* L.) seeds. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 56*(1), 54–64.