

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN



Aptitud Combinatoria General Y Específica en Cruzas Dialélicas de Chile
Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) Para Rendimiento y Pungencia del Fruto

Por:

JUAN ANGEL NICIO MONTERO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2026

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

Aptitud combinatoria general y específica en cruza dialélicas de chile jalapeño
(Capsicum annuum L.) para rendimiento y pungencia del fruto

Por:

JUAN ANGEL NICIO MONTERO

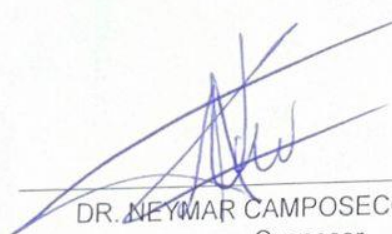
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité Asesor:


DR. FRANCISCO ALFONSO GORDILLO
MELGOZA
Asesor Principal


DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO
Coasesor


DR. FERNANDO BORREGO ESCALANTE
Coasesor


DR. ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía

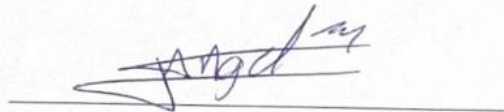


Declaración de no plagio

El autor 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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Angel Nicio Montero', is written over a horizontal line.

Juan Angel Nicio Montero

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme fuerza y salud en todas mis etapas que he pasado, por guiarme en mi camino recorrido hasta ahora, al igual que ponerme tan buenas personas en mi vida.

A mi **Alma Terra Mater** por brindarme los conocimientos que me dio, por forjarme personalmente, por recibirme con las puertas abiertas al igual que impartirme un segundo hogar, con sus dormitorios y comedor.

Al **Dr. Francisco Alfonso Gordillo Melgoza** por darme impartirme sus conocimientos, por su dedicación de tiempo y a la resolución de dudas al realizar este trabajo de tesis, al igual que brindarme su amistad.

Al **Dr. Fernando Borrego Escalante** por la revisión y realización del presente trabajo de tesis.

Al **Dr. Neymar Camposeco Montejo** por el tiempo dedicado a revisión y realización del presente trabajo de tesis.

A la **MC. Cristina Patricia Aguilar Aranda**, por sus consejos, apoyo y colaboración para la realización del presente trabajo.

la **MC. María de Lourdes Hernández Hernández**, por sus consejos, apoyo y colaboración para la realización del presente trabajo.

Al **Ing. Raúl Gándara Huitrón** por su amistad y ayuda en mi formación académica.

A mis **Profesores y al Departamento de Fitomejoramiento**, por compartirme sus conocimientos, al igual que su tiempo y paciencia durante mi estancia universitaria.

A todos mis **amigos** de la universidad que fueron parte del proceso y por brindarme su tiempo.

A mis **amigos** Maximiliano, Javier y Butanda, por sus consejos, por su apoyo y por estar en las buenas y malas en todo momento.

DEDICATORIAS

A mis **padres**, Susana Montero Tellez y Pedro Nicio Allende, por darme la vida y amor incondicional, por sus consejos que me ayudaron a estar donde estoy, por enseñarme el valor de la humildad, el trabajo y perseverancia, este logro al igual que mío es suyo por confiar en mí.

A mis **hermanos** Pedro Nicio Montero y Diana Itzel Nicio Montero, por ser un pilar de compañía en mi vida, por darme ánimos y cariño para llegar a completar esta meta.

A mis **abuelos**, Enedina Tellez, Romualdo y Juan Luis Nicio, por su cariño, sus consejos brindados a lo largo de mi vida y por creer en mí en todo momento.

A mi **familia**, especialmente (B, D y M) por su apoyo y consejos que me brindaron durante mi preparación académica al igual que por creer en mí en este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS.....	v
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.	12
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo General	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 Hipótesis	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	16
2.1 Origen.....	16
2.2 Clasificación taxonómica.....	16
2.3 Importancia gastronómica y cultural.....	17
2.4 Importancia económica.	18
2.5 Mejoramiento genético.....	19
2.5.1 Métodos de mejoramiento tradicionales	20
2.6 Métodos de Griffing.....	22
2.6.1 Aptitud combinatoria.....	23
2.7 Índice de calidad	24
2.8 Índice de Picor o Pungencia.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 Ubicación y localización del experimento.....	27
3.1.1 Primera etapa	27
3.2 Material vegetal	27
3.3 Manejo del cultivo	28
3.3.1 Siembra.....	28
3.3.2 Trasplante en bolsa de polietileno	28
3.3.3 Cruzamientos dialélicos	29
3.3.4 Cosecha y extracción de semillas	29

3.3.2 Segunda etapa	29
3.3.2.1 Preparación del terreno	30
3.3.2.2 Acolchado.....	30
3.3.2.3 Trasplante.....	30
3.4 Variables evaluadas	31
3.4.1 Variables Morfológicas y de rendimiento	31
3.4.2 Variables de pungencia evaluadas.....	32
3.5 Diseño experimental y análisis estadístico.....	33
3.6 Diseño genético.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Variables Morfológicas y de rendimiento evaluadas	36
4.1.1. Análisis de varianza.....	36
4.1.2 Efectos de aptitud combinatoria general (ACG)	38
4.1.3 Aptitud combinatoria específica (ACE).....	40
4.1.3 Comparación de medias	42
4.2 Variables de pungencia evaluadas en chiles jalapeños.	46
4.2.1 Análisis de varianza.....	46
4.2.2 Aptitud combinatoria general	47
4.2.3 Aptitud combinatoria específica.....	48
4.2.4 Comparación de medias	49
V. CONCLUSIONES	52
VI. LITERATURA CITADA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción nacional de los primeros 10 estados de producción de <i>Capsicum annuum</i> L.	19
Figura 2. Estructura química de la capsaicina.	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Niveles de pungencia de los chiles según la escala Scoville (SHU). 26	26
Cuadro 2. Codificación de ocho materiales genéticos de chile jalapeño. 27	27
Cuadro 3. Esquema de cruzamientos dialélicos realizados. 29	29
Cuadro 4. Análisis de varianza y estimación de efectos genéticos (ACG y ACE) para variables morfológicas de crecimiento vegetativo en cruas dialélicas de chile jalapeño. 38	38
Cuadro 5. Aptitud combinatoria general (ACG) para variables morfológicas y de rendimiento en progenitores de chile jalapeño. 39	39
Cuadro 6. Aptitud combinatoria específica (ACE) para variables morfológicas y de rendimiento en cruas de chile jalapeño. 41	41
Cuadro 7. Comparación de medias de características morfológicas en cruas dialélicas de chile jalapeño (<i>Capsicum annuum</i> L.). 45	45
Cuadro 8. Análisis de varianza y estimación de efectos genéticos (ACG y ACE) para variables de pungencia en cruas dialélicas de chile jalapeño. 46	46
Cuadro 9. Aptitud combinatoria general (ACG) para variables de pungencia en progenitores de chile jalapeño. 48	48
Cuadro 10. Aptitud combinatoria específica (ACE) para variables de pungencia en cruas dialélicas de chile jalapeño. 49	49
Cuadro 11. Comparación de medias de pungencia del fruto en cruas dialélicas de chile jalapeño (<i>Capsicum annuum</i> L.). 50	50

RESUMEN

El chile jalapeño es un recurso fitogenético de gran importancia para México; sin embargo, a pesar de su alta demanda mundial, existe un rezago en el desarrollo de nuevas variedades. El principal reto consiste en generar genotipos de alto rendimiento que cumplan con las exigencias de la industria y del consumo fresco, a fin de mantener la competitividad del cultivo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos genéticos mediante la estimación de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) en genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) mediante el método IV de Griffing, con la finalidad de identificar progenitores y cruzas con alto rendimiento y pungencia del fruto. El experimento se realizó mediante un diseño genético dialélico utilizando ocho híbridos comerciales de tipo jalapeño, lo que permitió estimar los efectos de ACG y ACE entre los genotipos evaluados. El cultivo se estableció durante el ciclo primavera-verano en dos etapas en los Campos Experimentales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila. El análisis experimental se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar y la comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) de Fisher ($P \leq 0.05$). Las variables evaluadas fueron altura de planta (AP, cm), longitud de bifurcación (LB, cm), diámetro del tallo (DT, mm), largo de hoja (LH, cm), ancho de hoja (AH, cm), número de frutos por planta (NFP), peso promedio del fruto (PPF, g), rendimiento (REN, $t\ ha^{-1}$), contenido de capsaicina y unidades Scoville (SHU). Los resultados destacaron a los progenitores 4 y 2 por su alto rendimiento, y a los progenitores 6, 4 y 7 por su elevada pungencia, así como a las cruzas 4×8, 4×6 y 2×7 por presentar alta pungencia, evidenciando su potencial para programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., Mejoramiento, Rendimiento, Pungencia, Dialélico.

ABSTRACT

Jalapeño pepper is a plant genetic resource of great importance for Mexico; however, despite its high global demand, there is still a lag in the development of new varieties. The main challenge is to generate high-yielding genotypes that meet the requirements of both the processing industry and the fresh market, in order to maintain the competitiveness of this crop. The objective of this study was to evaluate genetic effects through the estimation of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) in jalapeño pepper genotypes (*Capsicum annuum* L.) using Griffing's Method IV, in order to identify parents and crosses with high fruit yield and pungency. The experiment was conducted using a diallel genetic design with eight commercial jalapeño-type hybrids, which allowed the estimation of GCA and SCA effects among the evaluated genotypes. The crop was established during the spring–summer growing season in two stages at the Experimental Fields of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, in Buenavista, Saltillo, Coahuila. The experimental analysis was carried out under a randomized complete block design, and mean comparisons were performed using Fisher's Least Significant Difference (LSD) test ($P \leq 0.05$). The variables evaluated were plant height (PH, cm), bifurcation length (BL, cm), stem diameter (SD, mm), leaf length (LL, cm), leaf width (LW, cm), number of fruits per plant (NFP), average fruit weight (AFW, g), yield (YLD, t ha^{-1}), capsaicin content, and Scoville Heat Units (SHU). The results highlighted parents 4 and 2 for their high yield, and parents 6, 4, and 7 for their high pungency. Likewise, the crosses 4×8, 4×6, and 2×7 showed high pungency, demonstrating their potential for genetic improvement programs.

Keywords: *Capsicum annuum* L., breeding, yield, pungency, diallel.

I. INTRODUCCIÓN.

El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) se posiciona como uno de los cultivos agrícolas de mayor consumo en México y destaca entre las hortalizas por su relevancia económica y nutricional, tiene un gran impacto social en la economía por ser generador de fuentes de empleo, aportando el 16.1% de la producción nacional de hortalizas (INTAGRI, 2020).

El chile es un producto que representa a México ya que desde hace muchos años ha sido este un ingrediente esencial para la elaboración de platillos y como un condimento básico para la cocina mexicana (Lascurain-Rangel *et al.*, 2022). En la actualidad hay una amplia variedad de tipos de chiles que se pueden distinguir por el sabor, nivel de picante, forma y color (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). Los chiles pueden consumirse en distintas presentaciones, como frescos, asados, cocidos o secos; sin embargo, su uso más frecuente es en la elaboración de salsas, además de emplearse en diversos guisos y como condimento para frutas y antojitos, formando parte fundamental de la gastronomía mexicana (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010; Bosland *et al.*, 2012).

La importancia del cultivo del chile representa una fuente de estabilidad económica y un elemento fundamental en la alimentación y en la vida cotidiana de México (Márquez-Molina *et al.*, 2025). En los análisis de la base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2024), México ocupa el cuarto lugar en la producción de chile con 3.2 millones de toneladas, mientras que en primer lugar se encuentra China con una producción de 17 millones de toneladas.

Los principales estados con mayor producción en el año 2024 fue el estado de Chihuahua como primer lugar, ocupando el 39.5% de la producción nacional, con 309,438.50 toneladas y que dejó un valor estimado de \$2,489,552.91 en todo tipo de tecnología; en segundo lugar sigue Sinaloa con un porcentaje del 23.4% con 184,025.28 toneladas y dejando un valor estimado de \$1,181,641.66 y en tercer

lugar se encuentra el estado de Michoacán, representando el 9.9% con 77,754.50 toneladas y que dejó una cantidad de \$815,305.95 (SIAP, 2024). En México, el consumo per cápita promedio es de 15.7 kilogramos al año, de acuerdo con el SIAP (2025).

La mejora de variedades de alto rendimiento es una de las principales consideraciones para aumentar la producción (Acquaah, 2012). La disponibilidad de variedades de alto rendimiento representa un factor clave para la expansión de las áreas de producción. Sin embargo, la liberalización del comercio y el constante dinamismo del mercado han puesto en evidencia un rezago en el desarrollo de genotipos competitivos que satisfagan las exigencias actuales en términos de rendimiento y calidad del fruto (Karim *et al*, 2021).

La importancia de la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE) en el mejoramiento genético en el cultivo de chile radica en su capacidad para predecir el comportamiento genético de los progenitores y sus descendencias, permitiendo tomar decisiones técnicas sobre el método de mejoramiento más adecuado (García *et al.*, 2003). En caso del mejoramiento genético, la selección de los progenitores adecuados es una de las decisiones más críticas para asegurar el éxito en la obtención de poblaciones segregantes con alto potencial genético (Bertan *et al.*, 2007). Una herramienta fundamental para este propósito es el análisis de la aptitud combinatoria, la cual permite identificar individuos con la capacidad de transmitir caracteres deseables a su progenie (Griffing, 1956).

La popularidad del chile en el mercado se debe principalmente a la combinación de sabor y picor, atributos sensoriales que influyen directamente en la aceptación y preferencia del consumidor (Guzmán y Bosland, 2017). El responsable de esta sensación de picor es la capsaicina, un compuesto químico presente en mayor o menor medida en los frutos del género *Capsicum*, caracterizado por su estabilidad química y por estimular receptores sensoriales que generan la percepción inmediata de pungencia en el paladar (Julius, 2013). Su presencia genera la sensación de calor o quemazón, sino que también estimula la

producción de saliva. (Bosland, 1992). La capsaicina se sintetiza principalmente en los tejidos de la placenta del fruto de *Capsicum*, donde se encuentran células especializadas responsables de la biosíntesis de capsaicinoides; sin embargo, estos compuestos también pueden detectarse en menor proporción en el pericarpio y en las semillas del fruto (Zamljen *et al.*, 2021). Debido a sus propiedades, la capsaicina presenta diversas aplicaciones. En el ámbito agropecuario, la capsaicina se utiliza como insecticida y repelente de insectos que pueden causar daños a los cultivos; asimismo, se emplea como aditivo en el procesamiento del tabaco para mejorar su sabor y en la industria farmacéutica por sus propiedades estimulantes. Además, constituye el principio activo de algunos dispositivos de protección personal. (Aguirre-Hernández y Muñoz-Ocoto, 2015).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar los efectos genéticos mediante la estimación de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) en genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), para identificar progenitores y cruzas con alto rendimiento y pungencia del fruto.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de los progenitores y sus cruzas para caracteres agronómicos, rendimiento y pungencia del fruto.
- Identificar progenitores y cruzas superiores con base en los efectos de la ACG y ACE, para la selección de materiales con alto rendimiento y pungencia del fruto.

1.2 Hipótesis

H₀: No existen diferencias significativas en la aptitud combinatoria general y específica entre los progenitores y sus cruzas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), para los caracteres agronómicos, rendimiento y pungencia del fruto.

H_a: Existen diferencias significativas en la aptitud combinatoria general y específica entre los progenitores y sus cruzas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), lo que permite identificar materiales con alto rendimiento y pungencia del fruto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Origen

El género *Capsicum* es originario de las regiones tropicales y subtropicales de América (Rajput, 2004). En México, junto con otros países de Centro y Sudamérica, es considerado uno de los centros de origen y diversificación más importantes, particularmente para la especie *Capsicum annuum* L., la cual presenta la mayor diversificación en el mundo (Pozo, 1984).

Según investigaciones científicas confirman que el chile se cultiva en México desde hace miles de años (entre el 7000 y el 2555 a.C.). Los sitios de Tehuacán y Ocampo son las regiones clave donde se han identificado los vestigios más antiguos de esta práctica agrícola ancestral. (Muñoz Ocotero & Aguirre Hernandez, 2015).

Según Tripodi & Kumar (2019), se han identificado aproximadamente 35 a 38 especies dentro del género *Capsicum*, de las cuales solo cinco han sido ampliamente domesticadas para consumo humano: (*C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens*).

2.2 Clasificación taxonómica.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Tribu: Solaneae

Género: *Capsicum*

Especie: *Capsicum annuum* L.

(Bosland & Votava, 2012)

2.3 Importancia gastronómica y cultural.

El chile jalapeño destaca como la variedad de mayor relevancia tanto en México como en el extranjero, su cadena de valor es del 60% el cual se procesa industrialmente, el 20% llega fresco a las mesas, y el porcentaje restante se reserva para un proceso de secado artesanal o industrial, este último método, aplicado al fruto maduro, es el que da origen al popular chipotle (Muñoz Ocotero & Aguirre Hernández, 2015). Los frutos vegetales suelen someterse a procesos de conservación con el propósito de prolongar su vida de anaquel, en el caso de los chiles es común encontrarlos en presentaciones encurtidas o secas, métodos que permiten que el producto se conserve por más tiempo (Rochín-Wong *et al.*, 2013). El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024) señala que el chile jalapeño es uno de los líderes de producción por lo que presenta una gran importancia de cultivo, ya que genera una fuente de estabilidad económica fundamental en la vida cotidiana de México (SIAP, 2024).

También, se puede consumir de diferentes formas como frescos, asados, cocidos o secos, pero la mayor parte del uso que se le llega a dar es la elaboración de salsas, diferentes guisos como moles y adobos que caracterizan la cocina mexicana, así como condimentos (Celaya Mijangosa & Ortega Ibarra, 2020).

Las fábricas de cosméticos y productos farmacéuticos están utilizando extractos de chile para diversos fines. Principalmente su potencial como especia y tiene demanda estética, ya que se pueden cultivar en macetas o jardines pequeños (Bosland & Votava, 2012).

México es reconocido como un país biocultural como resultado de las tradiciones, conocimientos y prácticas que forman parte de la identidad de cada uno de sus estados, dentro de esta riqueza cultural el chile ocupa un lugar importante no solo por su sabor y versatilidad en la gastronomía, sino también por su valor simbólico y emocional, ya que se utiliza en la preparación de diversos platillos presentes tanto en celebraciones festivas como en rituales y ceremonias tradicionales,

además de emplearse como remedio en la medicina tradicional de acuerdo con las creencias de cada región (Celaya Mijangosa & Ortega Ibarra, 2020).

De acuerdo a la investigación de Montaña-Lugo *et al.* (2014) señalaron que el chile tiene una gran importancia cultural en diversas comunidades de México, ya que, además de ser un elemento fundamental en la alimentación, forma parte de las tradiciones y del conocimiento transmitido de generación en generación; se utiliza en diferentes ámbitos de la vida cotidiana como en la medicina tradicional como parte de prácticas medicinales y de protección espiritual, ya que en ciertas creencias se emplea para realizar limpiezas, ahumar espacios o colocarlo como amuleto en los hogares para alejar malas energías, estos rituales reflejan la estrecha relación entre las comunidades y este cultivo en el papel dentro de la identidad cultural de los pueblos.

2.4 Importancia económica.

A nivel mundial, el chile es una de las hortalizas y especias de mayor relevancia económica la cual en el año 2024 se produjeron más de 44 millones de toneladas. En primer lugar, se encuentra China ocupando el primer lugar con el 38% de la producción mundial, en segundo está India con el 11%, siguiendo Turquía con el 7.6% y como cuarto lugar México ocupando el 7.1% (FAOSTAT, 2024).

El chile jalapeño verde en México es representado como uno de los cultivos hortícolas más importantes, en el 2024 se produjeron 3.2 millones de toneladas, siendo líderes Chihuahua, Sinaloa y Michoacán. (SIAP, 2024).



Figura 1. Producción nacional de los primeros 10 estados de producción de *Capsicum annuum* L. Fuente: SIAP, 2024.

2.5 Mejoramiento genético.

Los objetivos de los programas de fitomejoramiento se centran en optimizar la productividad y desarrollar variedades que contribuyen a reducir la emisión de gases de efecto invernadero (José Luis Solleiro, 2024). Al igual que priorizan la incorporación de resistencia genética ante estreses bióticos, destacando patógenos como *Phytophthora capsici*, fitovirus y nemátodos, así como la tolerancia a estreses abióticos críticos, tales como el déficit hídrico, las temperaturas extremas y la salinidad del suelo (Chiou *et al.*, 2014).

En México, instituciones como el INIFAP han liderado estos esfuerzos durante décadas, aplicando estrategias como la selección individual, el método de pedigrí, la formación de líneas puras por autofecundación y la hibridación (González, 2021).

La diversidad de los recursos fitogenéticos se considera fundamental para la humanidad, ya que constituye la base de la seguridad alimentaria tanto para las generaciones actuales como para las futuras (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

Instituciones como el INIFAP en México han liberado más de 21 materiales de chile en 35 años, incluyendo variedades e híbridos de gran impacto económico como “Jaguar” y “Don Benito” (González *et al*, 2021).

La heterosis se ha utilizado de manera extensa en numerosas especies cultivadas como una estrategia de mejoramiento, con el propósito de incrementar el rendimiento, optimizar la calidad y fortalecer la adaptabilidad de los híbridos. (Nsabiyera *et al.*, 2013). El éxito de un programa de mejoramiento suele fundamentarse en elegir de manera acertada líneas endogámicas que presenten variabilidad genética, así como en realizar evaluaciones precisas de su capacidad de combinación. (Bhunia *et al.*, 2015).

2.5.1 Métodos de mejoramiento tradicionales

- Selección masal: Es el método más antiguo, consistente en recolectar semillas de las mejores plantas para el siguiente ciclo; se usa para mejorar variedades de polinización libre y poblaciones criollas (Nornan, 2018).
- Método de pedigrí: El enfoque de pedigrí se basa en llevar un registro del cruce y de su descendencia, lo cual se logra mediante la selección y la autopolinización de plantas individuales. Durante la segregación e hibridación se eligen las plantas con mejores características y se conserva la información de su origen, ya que los componentes hereditarios, especialmente los genéticos, son fundamentales para entender cómo responderá el material a la selección. (Visalakshi M & Pandiyan M, 2018).
- Retrocruza: Las características determinadas por uno o pocos genes pueden mejorarse usando la técnica del retrocruzamiento, que consiste en seleccionar plantas individuales y cruzarlas repetidamente con un mismo progenitor, por lo que este método ha sido fundamental para introducir genes provenientes de cruces entre distintas especies (Bosland *et al.*, 2012; Prakash, 2014).

- Selección recurrente: La selección recurrente es una estrategia de mejoramiento que consiste en elegir plantas individuales dentro de una población y luego cruzarlas para generar una nueva. Su finalidad es obtener plantas que superen a los progenitores, es decir, individuos con una resistencia más alta gracias a la combinación y separación de genes que ocurre al cruzar plantas que ya poseen cierto nivel de resistencia (Palloix *et al.*, 1990)
- Diseño dialélico: El análisis dialélico es una herramienta sumamente eficaz para entender cómo interactúan genéticamente diferentes poblaciones de chile tanto autógamas como alógamas. Mediante esta técnica, es posible identificar con precisión qué progenitores son los más aptos para programas de hibridación, permitiendo además calcular el vigor híbrido o heterosis resultante de estos cruces. (Herath *et al.*, 2021). El análisis de cruzamientos dialélicos enfocado en el rendimiento y en las características del fruto del chile serrano resulta fundamental para detectar combinaciones parentales de alto potencial y entender la estructura genética que determina dichos atributos. Este tipo de estudios fortalece los programas de mejoramiento orientados a incrementar la productividad y la calidad del cultivo (Arisha *et al.*, 2024). Estos trabajos son fundamentales para estimar la heterosis (vigor híbrido) y determinar la acción génica de los caracteres de interés.
Las conclusiones de un análisis dialélico, de acuerdo a Layrisse (1981), dependen del modelo genético-estadístico, de las suposiciones planteadas y del método de selección de los padres.

2.6 Métodos de Griffing

El análisis dialélico propuesto por Griffing (1956) constituye uno de los métodos más utilizados en el mejoramiento genético para identificar progenitores superiores y estimar los componentes genéticos que influyen en la expresión de caracteres cuantitativos. Griffing (1956) propuso un modelo estadístico basado en el análisis de varianza que permite descomponer la variabilidad genética en dos componentes principales: capacidad combinatoria general y capacidad combinatoria específica.

Los procedimientos dialélicos desarrollados por Griffing son los más utilizados en el análisis dialélico por lo que propuso cuatro métodos distintos para aplicarse en el estudio de plantas (Fasahat *et al.*, 2016):

- Método 1 (Dialélico completo): El método I considera al material experimental como la población de referencia y permite comparar la capacidad combinatoria de los progenitores e identificar las cruzas de mayor rendimiento. Su importancia radica en la estimación de los efectos combinatorios y sus errores estándar, y además es el único modelo que permite detectar efectos recíprocos asociados a influencias maternas o citoplasmáticas en el carácter evaluado (Griffing, 1956).
- Método 2 (medio dialélico): El Método II se centra en estimar los componentes genéticos y ambientales de la varianza de una población parental, en lugar de analizar líneas individuales. Por su eficiencia, es el método preferido en el mejoramiento de plantas autógamas y alógamas (como el chile), ya que permite evaluar el potencial genético de los padres minimizando el trabajo de campo al prescindir de cruzas recíprocas (Griffing, 1956).

- Método 3 (F_1 y recíprocos, sin Padres): Griffing, (1956) utiliza éste método cuando los progenitores presentan un fenotipo muy diferente o difícil de evaluar bajo las mismas condiciones que los híbridos, pero aun así se requiere analizar posibles efectos maternos. Bajo este enfoque, el análisis se centra únicamente en el desempeño de los híbridos, dejando fuera a los padres de la tabla dialélica.
- Método 4 Solo Cruces F_1 (Sin Padres ni Recíprocos): Es el método más utilizado en estudios dialélicos porque es el esquema de cruzamiento más común y, cuando se cumplen las suposiciones sobre el muestreo de líneas consanguíneas, permite interpretar con precisión las variaciones en la capacidad combinatoria general y específica. Además, en los materiales vegetales utilizados usualmente en estos análisis, los efectos genotípicos recíprocos suelen ser insignificantes, por lo que no es necesario incluir F_1 recíprocas, simplificando así el diseño experimental (Griffing, 1956).

2.6.1 Aptitud combinatoria

La aptitud combinatoria es un concepto clave para evaluar el potencial que tienen las líneas endogámicas al formar híbridos. En un inicio, se utilizó para clasificarlas según el desempeño que mostraban sus cruces en estudios dialélicos (Hallauer *et al.*, 2010). Conocer la ACG y la ACE es fundamental para elegir los progenitores que ofrecen mejores posibilidades de mejorar los caracteres hortícolas de interés (Sandoval *et al.*, 2006).

- Aptitud combinatoria general (ACG): Según Sprague y Tatum (1942) lo define como el comportamiento promedio que presenta una línea genética a través de todas sus combinaciones híbridas evaluadas. Los progenitores que muestran una alta ACG son adecuados para métodos de mejoramiento como la selección masal, la selección recurrente o el método de pedigrí, debido a que sus alelos favorables pueden fijarse con mayor facilidad (Lippert, 1975).
- Aptitud combinatoria específica (ACE): Hace referencia a situaciones específicas en las que determinadas combinaciones híbridas muestran un rendimiento superior o inferior al previsto con base en el promedio de sus progenitores (Sprague y Tatum, 1942). Hoegenmeyer y Hallauer (1976) bajo un experimento señalaron que la aptitud combinatoria específica es más importante ya que está asociada con los efectos genéticos no aditivos, como la dominancia y la epistasia, y resulta fundamental para desarrollar híbridos comerciales de alto rendimiento.

2.7 Índice de calidad

Los programas de mejoramiento buscan uniformidad en caracteres como el tamaño, la forma, el grosor del pericarpio y el color (Muñoz Ocotero & Aguirre Hernandez, 2015). Estudios de análisis dialélicos han demostrado que caracteres como la longitud y el diámetro del fruto están fuertemente influenciados por efectos aditivos de los genes, lo que sugiere que pueden ser mejorados mediante selección y endocría, en cuanto al rendimiento total y el número de frutos por planta suelen mostrar una alta heterosis, siendo la hibridación el método más adecuado para su incremento (Pech *et al.*, 2010).

2.8 Índice de Picor o Pungencia

Algunos compuestos presentes en ciertas especias y hortalizas provocan sensaciones típicas como ardor, escozor o picor, las cuales se agrupan bajo el término de sensación picante o pungencia (Fenema, 1995).

La pungencia es el rasgo distintivo del género *Capsicum* y se debe a los capsaicinoides, alcaloides que se sintetizan exclusivamente en la placenta del fruto. Entre ellos, la capsaicina es el compuesto principal responsable del picor y se encuentra concentrada precisamente en esa misma región del fruto, aunque el potencial de pungencia es genético, la concentración final de capsaicinoides está fuertemente influenciada por el ambiente (Lopez, 2003). Para medir la concentración de capsaicinoides se pueden emplear análisis químicos, herramientas instrumentales o evaluaciones sensoriales, entre las cuales destaca la Escala Scoville (la cual mide el picor en SHU, Scoville Heat Units) en la que fue creada en 1912 como un procedimiento subjetivo para cuantificar el nivel de picante en los pimientos. El picor de un chile jalapeño suele ubicarse dentro de un intervalo que va aproximadamente de 2,500 a 8,000 SHU (Bosland & Baral, 2007; Scoville, 1912).

Las estructuras químicas de la capsaicina y el capsiato son muy similares y solo difieren en el tipo de enlace presente en la parte central de la molécula. En la capsaicina existe un enlace amida que une al grupo vainililo, mientras que en el capsiato dicho enlace es de tipo éster (Ludy *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Niveles de pungencia de los chiles según la escala Scoville (SHU).

Especie	Pungencia
Pimiento (Bell pepper)	0
Anaheim	500-1 000
Pasilla	1 000-1 500
Jalapeño	2 500-5 000
Serrano	5 000-15 000
Cera amarilla	5 000-15 000
Cayenne	30 000-50 000
Chile piquín	30 000-50 000
Chipotle desecado	50 000-100 000
Habanero	100 000-300 000

(Aguirre-Hernández y Muñoz-Ocoteo, 2015)

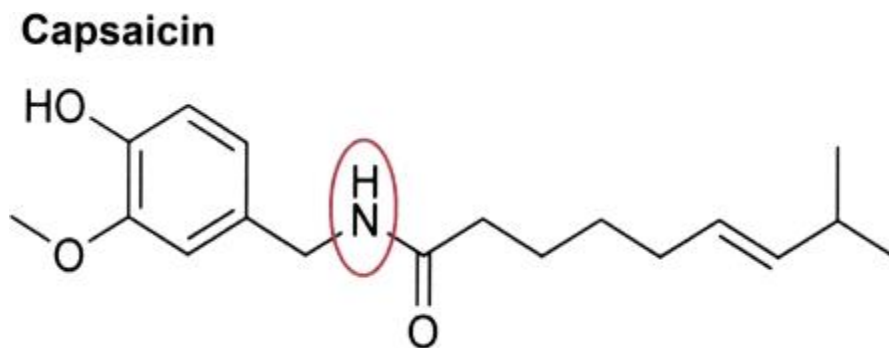


Figura 2. Estructura química de la capsaicina. Fuente: Ludy *et al.*, 2011.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y localización del experimento

El experimento realizado se llevó a cabo en dos etapas.

3.1.1 Primera etapa

Se realizó en el invernadero número 9 del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo Coahuila, México. Localizándose con las coordenadas 25°21'15.24" latitud norte, 101°02'03.74" longitud oeste y con una altitud de 1,773 msnm. Presenta un clima predominantemente semiseco templado, con veranos prolongados y cálidos, así como inviernos breves, secos y fríos. La temperatura media anual se sitúa alrededor de los 17 °C, con mañanas frescas y días templados, registrando variaciones que generalmente oscilan entre los 5 °C y los 29 °C a lo largo del año y teniendo una clave de BS1 (INEGI, 2010). Donde se realizaron las cruzas entre los materiales utilizados (Cuadro 2),

3.2 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 2. Codificación de ocho materiales genéticos de chile jalapeño.

No. progenitor	Material
1	Mixteco

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

3.3 Manejo del cultivo

3.3.1 Siembra

La siembra de 28 materiales 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.

3.3.2 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 periodo 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).

3.3.3 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 2.

Cuadro 3. 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

3.3.4 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).

3.3.2 Segunda etapa

La evaluación se realizó en los terrenos denominado “El Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) (25°21'20.31" N, 101°02'18.05" O; 1748 m s. n. m.). Se evaluaron las cruzas dialélicas, obtenidas mediante un diseño dialélico conforme al método IV, modelo I de Griffing (1956).

3.3.2.1 Preparación del terreno

El barbecho se efectuó con un arado de disco para romper apelmazamientos de la capa arable, seguido de un paso de rastra para romper terrones. Por último, los bordos se formaron manualmente a una distancia de 1.50 m.

3.3.2.2 Acolchado

Se colocó un acolchado bicolor plata/negro en los surcos ya formados, 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.

3.3.2.3 Trasplante

El trasplante se realizó 50 días después de la siembra, estableciendo una densidad de población de 44,000 plantas ha^{-1} . Antes del trasplante se aplicó un riego para asegurar la humedad adecuada del suelo y favorecer el establecimiento de las plántulas. Posteriormente, se efectuaron perforaciones en el acolchado plástico en doble hilera, colocando las plántulas a 30 cm entre plantas y 1.5 m entre bordos.

El riego se realizó cada tres días o cuando lo requiriera el cultivo de acuerdo a las condiciones climáticas y la fertilización se llevó a cabo cada semana siguiendo la propuesta descrita por Mata *et al.* (2010).

3.4 Variables evaluadas

3.4.1 Variables Morfológicas y de rendimiento

a. Altura de la planta (cm)

La altura de la planta se tomó desde la base del tallo hasta la punta más alta de la planta. Utilizando un reflexómetro.

b. Longitud de bifurcación (cm)

La longitud de bifurcación se tomó desde la base del tallo hasta el punto donde la planta se divide en ramas.

c. Diámetro del tallo (mm)

El grosor del tallo se midió en la porción media, entre la superficie del suelo y la primera bifurcación de la planta, utilizando un vernier.

d. Largo de la hoja (cm)

Se midieron cinco hojas completamente desarrolladas de la parte central de la planta. Utilizando una regla.

e. Ancho de la hoja (cm)

El ancho de la hoja se midió en la parte media de la lámina foliar. utilizando una regla graduada.

f. Número de frutos por planta

El número de frutos se determinó mediante el conteo de los frutos obtenidos en los cuatro cortes realizados durante la cosecha.

g. Peso promedio del fruto (g)

El peso promedio de fruto se determinó dividiendo el peso total de los frutos entre el número total de frutos.

h. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$)

El rendimiento se estimó a partir del peso total de los frutos por planta, obtenido del peso total de la cosecha de cinco plantas, el cual se multiplicó por la densidad de plantación ($44,000\ plantas\ ha^{-1}$) para estimar el rendimiento por hectárea. La cosecha inició a los 80 días después del trasplante y posteriormente se realizaron cortes cada 15 días, hasta completar cuatro cortes.

3.4.2 Variables de pungencia evaluadas

a. Extracción y cuantificación de capsaicina ($mg\ g^{-1}$)

Las muestras de chile jalapeño verde se obtuvieron del segundo corte. Posteriormente se realizaron los procedimientos en el laboratorio de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento. Los frutos se picaron y secaron en horno a $70\ ^\circ C$ durante 48 h; una vez deshidratados, se molieron en mortero hasta obtener un polvo fino. Para la extracción, se pesó 1 g de muestra seca y se colocó en un tubo cónico de 10 ml, al que se añadieron 10 ml de etanol. La mezcla se sometió a extracción asistida por ultrasonido en un sonicador a 35 kHz durante 3 h, a una temperatura de $50\ ^\circ C$. Después, los extractos se centrifugaron a 4000 rpm durante 5 min, y se recuperó el sobrenadante para realizar las diluciones correspondientes. La cuantificación de capsaicina se llevó a cabo mediante espectrofotometría UV-Vis, midiendo la absorbancia a 280 nm. La concentración se determinó a partir de una curva de calibración elaborada con estándar de capsaicina al 98%. Este procedimiento se realizó con modificaciones de métodos previamente reportados para la extracción ultrasónica de capsaicinoides y su determinación espectrofotométrica a 280 nm (Maksimova *et al.*, 2014; González-Zamora *et al.*, 2015).

b. Unidades Scoville (SHU)

La pungencia se expresó en unidades Scoville (SHU) a partir de la concentración de capsaicina determinada en mg g^{-1} . La conversión se realizó multiplicando los valores de capsaicina por 16,100, de acuerdo con la equivalencia de 16.1 millones de SHU por gramo de capsaicina pura. Por tanto, la ecuación utilizada fue:

$$\text{SHU} = \text{capsaicina} (\text{mg g}^{-1}) \times 16100$$

(AOAC International, 1995; González-Zamora *et al.*, 2015).

3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, con 28 cruza y un testigo comercial, 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:

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

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 ($i = 1, 2, \dots, 29$).
- β_j = Efecto del j-ésimo bloque o repetición ($j = 1, 2, \dots, 4$).
- ε_{ij} = Error experimental asociado a cada observación.

La Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) de Fisher se estableció con la siguiente fórmula:

$$DMS = t_{\alpha/2, g/e} \sqrt{\frac{2 \cdot CME}{n}}$$

Donde:

- DMS: Diferencia Mínima Significativa
- $t_{\alpha/2, g/e}$: Valor crítico de distribución t de Student para nivel de significancia α y los grados de libertad del error (g/e)
- CME: Cuadrado Medio del Error derivado del ANOVA
- n : Número de repeticiones por tratamiento.

3.6 Diseño genético

El análisis de los cruzamientos se realizó mediante el método IV, modelo I de Griffing (1956), que considera únicamente las cruzas directas entre los progenitores, obteniéndose un total de 28 combinaciones. Se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) con el fin de evaluar el comportamiento de los progenitores al combinarse entre sí y determinar el desempeño de las cruzas. El análisis genético se utilizó el programa AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 5.0 (Rodríguez *et al.*, 2018).

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor fenotípico observado de la craza con progenitores i y j

μ =Media general

g_i = Efecto de la aptitud combinatoria general del progenitor i

g_j = Efecto de la aptitud combinatoria general del progenitor j

s_{ij} = Efecto de la aptitud combinatoria específica de la cruza (ij)

e_{ijk} = Error experimental

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables Morfológicas y de rendimiento evaluadas

4.1.1. Análisis de varianza.

En el análisis de varianza (Cuadro 4), se observa la fuente de variación repeticiones (Rep) presentó diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para longitud de bifurcación, diámetro de tallo y largo de la hoja, mientras que para altura de planta no presentaron diferencias significativas. En la fuente de variación Cruza se observa las siguientes variables altura de planta, longitud de bifurcación y diámetro de tallo no presentaron diferencias significativas entre cruza, lo que indica una baja variabilidad genética para estas características. Los coeficientes de variación fueron de 19.04%, 22.19% y 20.13%, respectivamente. Sin embargo, el largo de la hoja y ancho de la hoja presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), lo que indica cierta variabilidad genética entre los genotipos evaluados en características foliares.

Los efectos genéticos de la aptitud combinatoria general (ACG) fueron significativos ($p \leq 0.01$) únicamente para largo de hoja, lo que indica efectos aditivos y sugiere que esta variable puede responder favorablemente a procesos de selección. Sin embargo, para altura de planta, longitud de bifurcación y diámetro de tallo no se detectaron efectos significativos ni de ACG ni de aptitud combinatoria específica (ACE), lo que indica una limitada variabilidad genética y posible influencia por el ambiente en su expresión.

En los efectos genéticos de aptitud combinatoria general (ACG) fue significativa para largo de la hoja, lo que sugiere que existen efectos aditivos. Para la aptitud combinatoria específica (ACE) fue significativa para ancho de hoja, indicando que ciertos cruzamientos presentaron combinaciones particulares favorables con efectos genéticos no aditivos. Los efectos genéticos mostraron un comportamiento diferencial entre las variables de crecimiento. La aptitud

combinatoria general (ACG) fue significativa ($p \leq 0.01$) únicamente para largo de la hoja, lo que indica predominio de efectos aditivos y sugiere que este carácter puede responder favorablemente a procesos de selección. Sin embargo, para altura de planta, longitud de bifurcación, diámetro de tallo y ancho de la hoja no se detectaron efectos significativos en ACG ni de aptitud combinatoria específica (ACE), lo que indica una limitada variabilidad genética, posiblemente influenciada por el ambiente en su expresión.

Por otra parte, las variables relacionadas con los componentes del rendimiento y la productividad incluyen número de frutos por planta (NFP), peso promedio del fruto (PPF) y rendimiento (REN). Para estas variables en el factor cruza mostró diferencias altamente significativas, lo que indica una marcada variabilidad genética entre los híbridos evaluados para características directamente relacionadas con la producción. En el caso de la aptitud combinatoria general (ACG) presentó efectos altamente significativos para NFP, PPF y REN, lo que sugiere que los efectos genéticos aditivos tienen una participación importante en la expresión de estas variables, permitiendo identificar progenitores con buena capacidad para transmitir características productivas favorables a su descendencia. De igual manera, la aptitud combinatoria específica (ACE) también resultó altamente significativa para estas variables, lo que indica que además de los efectos aditivos existen interacciones genéticas no aditivas, como dominancia y epistasis, que influyen en el desempeño específico de ciertas combinaciones híbridas (Hallauer *et al.*, 2010; López-López *et al.*, 2021). Esto sugiere que algunas cruzas particulares pueden presentar un comportamiento superior debido a interacciones genéticas favorables entre los progenitores (Griffing, 1956; Mukri *et al.*, 2022).

El coeficiente de variación fue de 24.65 % para número de frutos por planta, 10.62 % para peso promedio del fruto y 23.69 % para rendimiento, valores que se consideran aceptables para variables relacionadas con la productividad en evaluaciones realizadas en condiciones de campo. Los promedios observados fueron de 14.96 frutos por planta, 44.96 g de peso promedio del fruto y 29.65 t

ha⁻¹ de rendimiento, con rangos amplios entre los valores mínimos y máximos, lo que confirma la presencia de una considerable variabilidad fenotípica entre las cruzas evaluadas.

Cuadro 4. Análisis de varianza y estimación de efectos genéticos (ACG y ACE) para variables morfológicas de crecimiento vegetativo en cruzas dialélicas de chile jalapeño.

FV	GL	AP (cm)	LB (cm)	DT (mm)	LH (cm)	AH (cm)	NFP	PPF(g)	REN (t ha ⁻¹)
Rep	3	57.55	90.84 **	18.72 **	8.40 **	1.86 **	39.79 *	72.80 *	330.78 **
Cruza	27	46.63	16.50	4.29	3.63 **	1.27 **	49.64 **	224.04 **	295.23 **
ACG	7	36.52	18.43	4.76	6.19 **	0.85	42.32 **	420.82 **	330.70 **
ACE	20	50.17	15.82	4.12	2.73 *	1.42 **	52.21 **	155.17 **	282.81 **
Error	81	50.96	16.36	3.42	1.56	0.44	13.61	22.81	49.36
C.V		19.04	22.19	20.13	12.80	13.90	24.65	10.62	23.69
Media		37.49	18.23	9.18	9.76	4.78	14.96	44.96	29.65
Mínimo		15.1	7.6	5.2	6.1	3.10	6	22.82	7.06
Máximo		58.8	27.5	16.2	16.8	8.00	32	66.44	64.45

FV: Fuentes de variación; GL: Grados de libertad; AP = Altura de planta (cm); LB = Longitud de bifurcación (cm); DT = Diámetro del tallo (mm); LH = Largo de hoja (cm); AH = Ancho de hoja (cm); NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio del fruto (g); REN = Rendimiento (t ha⁻¹); * = Significativo ($p \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

4.1.2 Efectos de aptitud combinatoria general (ACG)

En la estimación de los efectos de la ACG en las variables morfológicas, se observa que para altura de planta los progenitores 4 (1.93) y 5 (1.51) presentaron efectos positivos de ACG. Por el contrario, los progenitores 7 (-1.44) y 8 (-1.24) mostraron valores negativos. En cuanto a la longitud de bifurcación, el progenitor 4 (1.32) destacó por presentar un efecto positivo y significativo, indicando que puede transmitir genes favorables asociados a la longitud de la bifurcación, por lo que, el progenitor 7 (-1.26) presentó un efecto negativo significativo, lo que sugiere una menor contribución para esta variable.

En el diámetro del tallo, los progenitores 2 (0.44) y 5 (0.57) mostraron valores positivos, lo que indica efectos aditivos para el grosor del tallo. Sin embargo, los progenitores 3 (-0.51) y 8 (-0.56) presentaron efectos negativos, sugiriendo una menor contribución genética para esta característica. En relación con el largo de

la hoja, el progenitor 2 (0.95) mostró el efecto positivo más alto y significativo, pero en el progenitor 5 (-0.63) presentó un efecto negativo significativo, lo que sugiere una menor contribución para esta característica. Para el ancho de la hoja, el progenitor 2 y 4 (0.27, 0.22) mostró un efecto positivo significativo de aptitud combinatoria general, lo que indica que presentó efectos aditivos favorables para esta características. Sin embargo, el progenitor 8 (-0.25) presentó un efecto negativo significativo, lo que sugiere que aporta efectos aditivos desfavorables para el ancho de la hoja.

En las variables del número de frutos por planta, el progenitor 4 (1.79) presentó un efecto positivo altamente significativo, lo que indica que este material tiene una buena capacidad para transmitir genes asociados a una mayor producción de frutos. En cuanto al peso promedio del fruto, los progenitores 2 (4.31) y 4 (4.20) mostraron efectos positivos altamente significativos, indicando que pueden considerarse buenos combinadores generales para incrementar el tamaño o peso del fruto. De igual manera, para rendimiento, los progenitores 4 (5.90), presentaron efectos positivos significativos y altamente significativos, lo que sugiere que estos progenitores poseen una buena capacidad para transmitir características asociadas con una mayor productividad. En cuanto a los progenitores 3 (-2.46), 5 (-3.39) y 7 (-4.43) presentaron efectos negativos significativos, lo que indica una menor contribución genética para incrementar esta característica. Estos resultados coinciden con lo observado previamente en el análisis de varianza, donde el rendimiento mostró una importante influencia de efectos genéticos aditivos y no aditivos.

Cuadro 5. Aptitud combinatoria general (ACG) para variables morfológicas y de rendimiento en progenitores de chile jalapeño.

Progenitores	AP (cm)	LB (cm)	DT (mm)	LH (cm)	AH (cm)	NFP	PPF (g)	REN (t ha ⁻¹)
1	-0.08	-0.76	0.38	0.16	0.13	0.42	0.17	0.35
2	0.53	0.91	0.44	0.95 **	0.27 *	0.75	4.31 **	3.90 **
3	-0.57	0.29	-0.51	0.27	-0.01	-1.58 *	1.47	-2.46 *
4	1.93	1.32 *	-0.11	0.17	0.22 *	1.79 **	4.20 **	5.90 **
5	1.51	-0.46	0.57	-0.63 **	-0.19	-2.21 **	1.80 *	-3.39 **
6	-0.65	-0.41	-0.35	-0.47 *	-0.06	-0.08	-4.44 **	-2.06

7	-1.44	-1.26 *	0.13	-0.40 *	-0.11	-0.08	-7.83 **	-4.43 **
8	-1.24	0.38	-0.56	-0.04	-0.25 *	1	0.33	2.20 *

AP = Altura de planta (cm); LB = Longitud de bifurcación (cm); DT = Diámetro del tallo (mm); LH = Largo de hoja (cm); AH = Ancho de hoja (cm); NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio del fruto (g); REN = Rendimiento (t ha⁻¹); * = Significativo (p ≤ 0.05); ** = Altamente significativo (p ≤ 0.01).

4.1.3 Aptitud combinatoria específica (ACE)

En el Cuadro 6 de aptitud combinatoria específica los datos de morfología y de rendimiento muestran que ciertas cruzas poseen una interacción genética. En la variable de altura de planta las cruzas 1x6(4.94), 3x7(4.80) y 4x8(4.09) destacaron con valores positivos en ACE, sugiere la presencia de efectos genéticos no aditivos, como dominancia y/o epistasis, que favorecen la expresión de este carácter en dichas cruzas (Viana, 2023; Sprague and Tatum, 1942). La cruz 6x7 (-6.60) presentó un efecto negativo, señalando una menor ACE para altura de la planta. En la bifurcación, las cruzas 3x6 (2.44) y 2x7 (2.19) sobresalieron por sus efectos positivos, a diferencia de la cruz 7x8 (-3.64), cuyo aporte genético para esta variable fue bajo.

En el caso del diámetro del tallo, cruzas 2x5 (1.30) y 1x8 (1.39) mostraron efectos positivos, pero la cruz 6x7 (-2.26) presentó un efecto negativo significativo.

Respecto a las variables relacionadas con el desarrollo foliar, se observaron efectos positivos significativos en algunas cruzas para longitud de hoja, como 1x6 (1.38) y 1x8 (1.12) y en cambio la cruz 1x2 (-1.34) presentó un valor negativo significativo. Para el ancho de la hoja, las cruzas 3x6 (0.61), 4x6 (0.66) y 3x7 (0.59) presentaron efectos positivos significativos de aptitud combinatoria específica (ACE), presenta efectos genéticos no aditivos, como dominancia, que influyen en la expresión del ancho de hoja en dichas combinaciones, pero en el caso de las cruzas 1x3 (-0.92) presenta valores altamente significativos.

En las variables relacionadas con los componentes del rendimiento, que incluyen número de frutos por planta (NFP), peso promedio del fruto (PPF) y rendimiento (REN), se observaron varias cruzas con efectos positivos significativos, lo que indica la presencia de interacciones genéticas no aditivas favorables entre los

progenitores. Para número de frutos por planta, destacaron las cruzas 4x6 (6.83), y 2x7 (6.37), las cuales presentaron efectos positivos altamente significativos, en cambio la cruza 6x7 (-6.30) presentó valores negativos altamente significativos. En cuanto al peso promedio del fruto, las cruzas 3x6 (12.80) y 2x5 (6.32), presentaron efectos positivos altamente significativos, mientras que las cruzas 2x3 (-9.00) y 3x4 (-11.33) presentaron valores negativos altamente significativos.

Para la variable de rendimiento, destacaron las cruzas 2x7 (14.43 t ha⁻¹) y 4x6 (14.30 t ha⁻¹), las cuales mostraron efectos positivos altamente significativos, pero las cruzas. En el caso de algunas combinaciones presentaron efectos negativos significativos, como 6x7 (-13.04 t ha⁻¹) y 6x8 (-9.66 t ha⁻¹), lo que indica bajas interacciones genéticas para rendimiento en dichas cruzas.

Cuadro 6. Aptitud combinatoria específica (ACE) para variables morfológicas y de rendimiento en cruzas de chile jalapeño.

Cruzas	AP (cm)	LB (cm)	DT (mm)	LH (cm)	DH (cm)	NFP	PPF (g)	REN (t ha ⁻¹)
1x2	-2.29	0.07	-0.21	-1.34 *	-0.63 *	0.87	-4.51 *	-0.41
1x3	-1.88	0.40	-1.00	-1.24 *	-0.92 **	-2.80	-0.74	-5.49
1x4	-1.86	-1.81	-1.03	-1.02	-0.50	-3.67 *	-1.57	-7.52 *
1x5	-3.27	0.84	-0.49	0.71	0.44	-0.67	2.21	-0.26
1x6	4.94	1.29	0.61	1.38 *	0.45	2.70	3.78	7.21 *
1x7	2.38	0.62	0.71	0.38	0.42	2.20	0.95	3.52
1x8	1.98	-1.42	1.39	1.12 *	0.74 *	1.37	-0.13	2.95
2x3	-2.97	-0.83	-0.94	0.67	0.19	-1.38	-9.00 **	-7.67 *
2x4	0.90	0.18	-0.34	0.74	0.46	-4.51 **	2.48	-7.61 *
2x5	2.84	-1.61	1.30	0.29	0.32	0.49	6.32 **	4.98
2x6	0.90	-0.93	-0.10	-0.64	-0.27	0.37	-0.09	-0.25
2x7	2.39	2.19	1.14	0.29	0.23	6.37 **	3.71	14.43 **
2x8	-1.76	0.93	-0.85	-0.02	-0.30	-2.21	1.08	-3.47
3x4	-3.82	-1.51	0.14	-0.65	-0.71 *	0.33	-11.33 **	-6.37 *
3x5	3.12	1.04	0.13	-0.28	-0.22	4.08 *	4.73 *	11.62 **
3x6	-1.04	2.44	0.75	0.49	0.61 *	-0.05	12.80 **	6.82 *
3x7	4.80	-1.15	0.17	0.32	0.59 *	0.95	-0.58	1.10
3x8	1.80	-0.39	0.76	0.68	0.46	-1.13	4.11	-0.02
4x5	-2.56	-1.92	-1.07	0.27	-0.28	-2.80	6.17 **	-2.63
4x6	-0.42	1.83	1.15	-0.11	0.66 *	6.83 **	1.52	14.30 **
4x7	3.67	1.79	0.90	0.84	0.49	-1.42	3.69	-1.04
4x8	4.09	1.44	0.26	-0.07	-0.12	5.24 **	-0.97	10.87 **

5x6	2.80	-3.13	0.42	0.14	-0.43	-0.17	-8.13 **	-5.39
5x7	-2.02	1.47	0.01	-0.63	-0.06	-1.42	-6.76 **	-6.32 *
5x8	-0.92	3.30	-0.30	-0.50	0.24	0.49	-4.53 *	-2.00
6x7	-6.60 *	-1.28	-2.26 **	-0.64	-0.84 **	-6.30 **	-5.66 **	-13.04 **
6x8	-0.58	-0.22	-0.58	-0.63	-0.18	-3.38 *	-4.21 *	-9.66 **
7x8	-4.62	-3.64 *	-0.68	-0.57	-0.83 **	-0.38	4.65 *	1.34

AP = Altura de planta (cm); LB = Longitud de bifurcación (cm); DT = Diámetro del tallo (mm); LH = Largo de hoja (cm); AH = Ancho de hoja (cm); NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio del fruto (g); REN = Rendimiento (t ha⁻¹); * = Significativo ($p \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

4.1.3 Comparación de medias

En el Cuadro 7, la prueba de comparación múltiple de medias de Fisher (DMS, $p \leq 0.05$) se presenta las diferencias estadísticas entre cruzas para las variables morfológicas de crecimiento evaluadas. Las cruzas 2x5 (42.38 cm), 4x8 (42.28 cm), 4x7 (41.65 cm), 1x6 (41.70 cm), 3x5 (41.55 cm), 5x6 (41.15 cm), 2x4 (40.85 cm) y 3x7 (40.28 cm) presentan mejor desempeño en la variable altura de la planta. Sin embargo, la cruza 6x7 presentó el valor más bajo (28.80 cm) presentaron menor crecimiento. Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado para genotipos de chile jalapeño bajo condiciones de campo abierto, donde la altura puede variar (24.00 cm-42.00 cm) ampliamente dependiendo de la variedad o híbrido y manejo agronómico (Beltrán-Morales *et al.*; 2016).

Las cruzas 5x8 (21.45 cm), 4x8 (21.37 cm) y 4x6 (20.97 cm) presentaron las mayores longitudes de bifurcación, una mayor longitud de bifurcación puede favorecer una arquitectura de planta más abierta, lo que mejora la distribución de hojas y frutos. En caso de las cruzas 7x8 (13.70 cm) y 5x6 (14.22 cm) presentaron las menores longitudes de bifurcación. Lo confirma Gomes *et al* (2019), quienes obtuvieron rangos similares a su investigación (20.90-14.20).

En cuanto al diámetro del tallo se observó en la cruza 2x5 (11.50 mm), seguida por 2x7 (10.90 mm) y las cruzas 1x7 y 1x8 (10.40 mm), las cuales se ubicaron dentro de los grupos estadísticos superiores según la prueba de DMS de Fisher ($p \leq 0.05$). Un mayor diámetro del tallo se asocia generalmente con plantas más vigorosas y con mayor capacidad para transportar agua y nutrientes (Lagunes-

Fortiz *et al.*, 2021). La cruz que presentó el menor valor para esta variable fue la 6x7 (6.70 mm), lo que podría indicar menor vigor vegetativo y menor capacidad de soporte de la planta. Por lo que los resultados obtenidos difieren (12.58mm) sobre trabajos de otros investigadores (Pérez, *et al.*; 2022).

En cuestion de la variable largo de la hoja, las cruza 2x3 (11.65 cm) y 2x4 (11.62 cm) presentaron las hojas más largas, mientras que las cruza 5x7 (8.10 cm) y 6x7 (8.25 cm) mostraron los valores más bajos. Estos resultados son similares a los reportados por González *et al.* (2024), quienes encontraron que la longitud del limbo en chile jalapeño varía entre 2.00 y 11.00 cm. Esto indica que existe variación en el tamaño de las hojas entre los diferentes materiales evaluados.

La cruz 2x4 (5.72 cm) presentó el mayor ancho de hoja, seguida por 4x6 (5.60 cm) y 1x8 (5.40 cm). Estas cruza podrían presentar mayor superficie foliar, lo cual favorece la acumulación de biomasa. Las cruza 7x8 (3.60 cm) y 6x7 (3.77 cm) mostraron los valores más bajos. Diferencias en el tamaño de las hojas pueden influir directamente en el crecimiento y productividad de las plantas (Leigh *et al.*, 2017; Westoby y Wright 2003). Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por González-Pérez *et al.* (2024), quienes registraron valores de ancho del limbo entre 3.0 y 13.0 cm en chile jalapeño, lo que confirma la variación en el tamaño de las hojas entre diferentes materiales.

El mayor número de frutos por planta se observó en las cruza 4x6 (23.50 frutos), 4x8 (23.00 frutos) y 2x7 (22.00 frutos), las cuales se ubicaron en los grupos estadísticos superiores. Éste carácter es uno de los componentes más importantes del rendimiento en chile. La cruz 6x7 (8.50 frutos) presentó el menor número de frutos por planta. Estos resultados difieren de los reportados por Buelna Tarín (2023), quien obtuvo un promedio de 12.35 frutos por planta en chile jalapeño, lo cual podría atribuirse a diferencias en el material genético y en las condiciones de manejo del cultivo.

Las cruza 2x5 (57.38 g), 4x5 (57.13 g) y 2x4 (55.95 g) presentaron los mayores pesos promedio del fruto. Este carácter es un componente directo del rendimiento total del cultivo. En cuanto a la cruz 6x7 (27.03 g) presentó el menor peso

promedio del fruto. En trabajos hechos por otros investigadores concuerdan que el peso del fruto es un rasgo influenciado por la variabilidad genética y por la interacción genotipo-ambiente como lo menciona Ix-Nahuat *et al.* (2013). En comparación con otras investigaciones como la evaluación por Salguero-Alanís (2025), donde se manejan valores similares (52.71g-23.80g) en chile jalapeño, los valores obtenidos en el presente estudio resultan competitivos.

La comparación de medias mostró diferencias significativas entre las cruzas para la variable rendimiento. La craza 4x8 presentó el valor más alto (48.62 t ha⁻¹), lo que indica un mayor potencial productivo en comparación con las demás cruzas evaluadas y en cuanto la craza 6x7 mostró el rendimiento más bajo (10.12 t ha⁻¹), ubicándose en los grupos estadísticos inferiores. Estas diferencias reflejan la variabilidad genética entre los materiales evaluados. Al comparar estos resultados con lo reportado por González *et al.* (2021), quienes registraron un rendimiento promedio de 37.56 t ha⁻¹ en chile jalapeño bajo condiciones de campo abierto, por lo que difiere a los resultados obtenidos a la presente investigación.

Cuadro 7. Comparación de medias de características morfológicas en cruzas dialélicas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.).

Gen	AP (cm)		LB (cm)		DT (mm)		LH (cm)		AH (cm)		NFP	PPF (g)		REN (t ha ⁻¹)		
1	32.95	abc	13.58	c	8.98	a-e	10.00	a-e	5.38	abc	14.50	d-g	51.10	a-d	32.56	cde
9	35.65	abc	18.45	abc	9.80	a-d	9.53	b-h	4.55	c-j	17.00	c-f	44.93	d-i	33.50	cd
10	34.95	abc	18.15	abc	8.05	cde	8.95	d-h	3.98	ijk	11.00	gh	45.86	d-h	22.06	f-i
11	37.48	abc	16.98	abc	8.43	b-e	9.08	c-h	4.63	c-j	13.50	d-h	47.76	c-g	28.38	c-h
12	35.65	abc	17.85	abc	9.65	a-d	10.00	a-g	5.15	a-g	12.50	fgh	49.14	b-e	26.34	c-h
13	41.70	a	18.35	abc	9.83	a-d	10.83	abc	5.30	a-d	18.00	bcd	44.47	d-j	35.14	bc
14	38.35	abc	16.83	abc	10.40	abc	9.90	a-g	5.23	a-f	17.50	c-f	38.25	i-m	29.10	c-g
15	38.15	abc	16.43	abc	10.40	abc	11.00	ab	5.40	abc	17.75	cde	45.33	d-h	35.14	bc
16	34.48	abc	18.60	abc	8.18	cde	11.65	a	5.23	a-f	12.75	e-h	41.74	g-k	23.43	e-i
17	40.85	a	20.65	ab	9.18	a-e	11.63	a	5.73	a	13.00	d-h	55.95	a	31.84	c-f
18	42.38	a	17.08	abc	11.50	a	10.38	a-e	5.18	a-g	14.00	d-g	57.38	a	35.15	bc
19	38.28	abc	17.80	abc	9.18	a-d	9.60	b-h	4.73	b-i	16.00	d-g	44.73	d-j	31.24	c-f
20	38.98	ab	20.08	ab	10.90	ab	10.60	a-d	5.18	a-g	22.00	abc	45.15	d-h	43.56	ab
21	35.03	abc	20.45	ab	8.23	cde	10.65	a-d	4.50	c-k	14.50	d-g	50.68	a-d	32.29	cde
22	35.03	abc	18.33	abc	8.70	b-e	9.55	b-h	4.28	g-k	15.50	d-g	39.31	h-l	26.73	c-h
23	41.55	a	19.10	abc	9.38	a-d	9.13	c-h	4.35	e-k	15.25	d-g	52.96	abc	35.42	bc
24	35.23	abc	20.55	ab	9.08	a-e	10.05	a-f	5.33	a-d	13.25	d-h	54.80	ab	31.96	cde
25	40.28	a	16.10	abc	8.98	a-e	9.95	a-g	5.25	a-e	14.25	d-g	38.03	j-m	23.87	d-i
26	37.48	abc	18.50	abc	8.88	b-e	10.68	a-d	4.98	a-h	13.25	d-h	50.87	a-d	29.37	c-g
27	38.38	abc	17.18	abc	8.58	b-e	9.58	b-h	4.53	c-k	11.75	gh	57.13	a	29.54	c-g
28	38.35	abc	20.98	a	9.88	a-d	9.35	b-h	5.60	ab	23.50	a	46.24	d-g	47.80	a
29	41.65	a	20.08	ab	10.10	a-d	10.38	a-e	5.38	abc	15.25	d-g	45.02	d-h	30.09	c-f
30	42.28	a	21.38	a	8.78	b-e	9.83	b-h	4.63	c-j	23.00	ab	48.52	b-f	48.62	a
31	41.15	a	14.23	c	9.83	a-d	8.80	e-h	4.10	h-k	12.50	fgh	34.19	lm	18.81	hij
32	35.55	abc	17.98	abc	9.90	a-d	8.10	h	4.43	d-k	11.25	gh	32.17	mn	15.51	ij
33	36.85	abc	21.45	a	8.90	a-e	8.60	fgh	4.58	c-j	14.25	d-g	42.55	e-k	26.46	c-h
34	28.80	c	15.28	bc	6.70	e	8.25	gh	3.78	jk	8.50	h	27.03	n	10.12	j
35	35.03	abc	17.98	abc	7.70	de	8.63	e-h	4.30	f-k	12.50	fgh	36.63	klm	20.13	ghi
36	30.20	bc	13.70	c	8.08	cde	8.75	e-h	3.60	k	15.50	d-g	42.11	f-k	28.77	c-g

Gen=genotipo; AP = Altura de planta (cm); LB = Longitud de bifurcación (cm); DT = Diámetro del tallo (mm); LH = Largo de hoja (cm); AH = Ancho de hoja (cm); NFP = Número de frutos por planta; PPF = Peso promedio del fruto (g); REN = Rendimiento (t ha⁻¹);

4.2 Variables de pungencia evaluadas en chiles jalapeños.

4.2.1 Análisis de varianza

En cuanto a la capsaicina se observaron diferencias altamente significativas entre cruza ($p \leq 0.01$), lo que indica variabilidad genética en el contenido de compuestos responsables de la pungencia del fruto. En este caso, la ACG también tuvo una alta significancia, lo que en los efectos genéticos aditivos tienen un papel importante en la acumulación de capsaicinoides, permitiendo que ciertos progenitores transmitan características relacionadas con la pungencia a su descendencia. La ACE no mostró diferencias significativas, lo que indica que las interacciones específicas entre progenitores tuvieron poca influencia en la expresión de esta característica. Un comportamiento similar se observó para las unidades Scoville (SHU), donde se detectaron diferencias significativas entre cruza y en la ACG, mientras que la ACE no presentó significancia estadística. Esto sugiere que la pungencia del fruto está principalmente controlada por efectos genéticos aditivos, lo cual facilita la selección directa de genotipos superiores en programas de mejoramiento genético. El coeficiente de variación para ambas variables fue de 11.67 %. El contenido de capsaicina presentó una media de 0.16 mg g^{-1} , con valores que variaron entre 0.09 y 0.25 mg g^{-1} , mientras que las unidades Scoville mostraron un promedio de 2618.45 SHU, con un rango de 1480.64 a 4032.37 SHU, evidenciando variabilidad entre los genotipos evaluados.

Cuadro 8. Análisis de varianza y estimación de efectos genéticos (ACG y ACE) para variables de pungencia en cruza dialélicas de chile jalapeño.

FV	GL	Capsaicina (mg g^{-1})	Scoville (SHU)	
Rep	3	0.00	95961.74	
Cruza	27	0.00	** 886528.03	**
ACG	7	0.01	** 3229686.59	**
ACE	20	0.00	66422.54	
Error	81	0.00	93318.34	
C.V		11.67	11.67	

Media	0.16	2618.45
Mínimo	0.09	1480.64
Máximo	0.25	4032.37

FV: Fuentes de variación; GL: Grados de libertad; * = Significativo ($p \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

4.2.2 Aptitud combinatoria general

En el Cuadro 9, en la variable del contenido de capsaicina, los progenitores 4 (0.01), 5 (0.01), 6 (0.03) y 7 (0.01) presentaron efectos positivos y significativos, lo que indica que tienen la capacidad de transmitir genes asociados a un mayor contenido de capsaicinoides, compuestos responsables de la pungencia del fruto. Entre ellos, el progenitor 6 destacó por presentar el valor positivo más alto, lo que puede ser bueno para incrementar la pungencia en las cruzas donde participe. Por el contrario, los progenitores 1 (-0.03), 2 (-0.02) y 3 (-0.02) mostraron efectos negativos altamente significativos, indicando una menor contribución genética para aumentar el contenido de capsaicina en la descendencia.

Sahid *et al.* (2020) reportaron un comportamiento similar, donde algunos progenitores, como Bara y F9160291, mostraron efectos positivos de ACG y fueron considerados buenos combinadores para el contenido de capsaicina. Esto indica que existen diferencias importantes entre los progenitores de Chile, y que algunos destacan por su capacidad para transmitir esta característica, debido principalmente a la influencia de efectos genéticos aditivos.

Un comportamiento similar se observó para las unidades Scoville (SHU), donde los progenitores 6 (511.30), 4 (227.06), 7 (217.31) y 8 (174.29) presentaron efectos positivos y altamente significativos, lo que indica que estos materiales poseen una buena capacidad para transmitir niveles elevados de pungencia a su descendencia. En contraste, los progenitores 1 (-531.05), 3 (-394.75) y 2 (-317.40) mostraron efectos negativos significativos, lo que sugiere que contribuyen a disminuir la intensidad de pungencia en las cruzas en las que participan.

Cuadro 9. Aptitud combinatoria general (ACG) para variables de pungencia en progenitores de chile jalapeño.

Progenitores	Capsaicina (mg g ⁻¹)	Scoville (SHU)
1	-0.03 **	-531.05 **
2	-0.02 **	-317.40 **
3	-0.02 **	-394.75 **
4	0.01 **	227.06 **
5	0.01 *	113.23 *
6	0.03 **	511.30 **
7	0.01 **	217.31 **
8	0.01 **	174.29 **

* = Significativo ($p \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

4.2.3 Aptitud combinatoria específica

En el cuadro 10 analizado, en la variable del contenido de capsaicina, la mayoría de las cruzas no presentaron diferencias significativas, lo que sugiere que las interacciones específicas entre progenitores tuvieron poca influencia en esta variable. Sin embargo, algunas combinaciones mostraron efectos relevantes, como 2x5 (0.02) y 4x6 (0.01) con valores positivos, lo que indica una ligera tendencia a incrementar el contenido de capsaicinoides. En la craza 1x7 (-0.02) presentó un efecto negativo significativo, lo que sugiere una disminución en el contenido de capsaicina cuando estos progenitores se combinan.

Para las unidades Scoville (SHU), se observaron efectos positivos en algunas cruzas, destacando 2x5 (247.06), 1x4 (207.69) y 5x7 (125.05), lo que refleja un aumento en la pungencia de estas cruzas. En cuanto a la craza 1x7 (-271.01) presentó un efecto negativo significativo, indicando una reducción en la intensidad de pungencia en comparación con otras cruzas. En general, la mayoría de las cruzas no presentaron diferencias estadísticas significativas para esta variable, lo que coincide con los resultados observados en el análisis de varianza realizado, lo que indica que la pungencia mostró mayor influencia de efectos genéticos aditivos que de efectos de interacción específica.

En conjunto, los resultados obtenidos para la aptitud combinatoria específica (ACE) en tu estudio muestran una tendencia similar a lo reportado por Tarinta et

al. (2023) donde se evidencia que los efectos de combinación específica para el contenido de capsaicina y las unidades Scoville son, en su mayoría, no significativos, lo que indica una limitada influencia de las interacciones no aditivas en la expresión de la pungencia.

Cuadro 10. Aptitud combinatoria específica (ACE) para las variables de pungencia en cruzas dialélicas de chile jalapeño.

Cruzas	Capsaicina (mg g ⁻¹)	Scoville (SHU)
1x2	-0.01	-88.93
1x3	0.00	53.95
2x3	0.00	-27.52
1x4	0.01	207.69
2x4	0.00	-55.46
3x4	0.00	42.68
1x5	0.00	53.82
2x5	0.02	247.06
3x5	0.00	-48.10
4x5	-0.02	-244.19
1x6	0.00	45.61
2x6	0.00	-77.06
3x6	-0.01	-89.91
4x6	0.01	93.66
5x6	0.00	-62.46
1x7	-0.02 *	-271.01 *
2x7	0.00	75.51
3x7	0.00	19.39
4x7	0.00	-53.55
5x7	0.01	125.05
6x7	0.00	53.79
1x8	0.00	-1.14
2x8	0.00	-73.60
3x8	0.00	49.52
4x8	0.00	9.17
5x8	0.00	-71.17
6x8	0.00	36.38
7x8	0.00	50.83

* = Significativo ($p \leq 0.05$); ** = Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

4.2.4 Comparación de medias

La comparación de medias mostró diferencias significativas entre las cruzas para la variable contenido de capsaicina, en la que la cruz 4x6 (0.21 mg g⁻¹) se ubicó en el grupo estadístico superior, la cual presentó los valores más altos de este

compuesto responsable de la pungencia del fruto. En cuanto, las cruza 1x2 (0.10 mg g⁻¹) y 1x3 (0.10 mg g⁻¹) presentaron los valores más bajos de capsaicina. La variabilidad en el contenido de capsaicinoides entre genotipos de *Capsicum* es un rasgo ampliamente documentado y depende principalmente de la base genética del material vegetal (Kumar *et al.*, 2020). En cuanto a resultados obtenidos por Medina *et al.* (2022), obtuvieron resultados (0.583 mg g⁻¹), así como los resultados obtenidos por López-Gómez & Rosales-Castro (2025) los cuales se obtuvo un total de 0.28 mg g⁻¹ en los cuales difieren a los de la esta investigación. En relación con las unidades Scoville (SHU), la cruza 4x6 (3,450.47 SHU) presentó los valores más altos. La cruza 1x2 (1681.07 SHU) registró los valores más bajos de unidades Scoville, indicando menor nivel de pungencia. Trabajos realizados con jalapeños encontraron niveles de Scoville de 4,552 SHU (López-Gómez y Rosales-Castro, 2025), el rango de pungencia del chile jalapeño varía entre 2,500 y 8,000 SHU, dependiendo del genotipo y condiciones ambientales (Topuz y Ozdemir, 2007; Bosland y Votava 2012).

Cuadro 11. Comparación de medias de pungencia del fruto en cruza dialélicas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.).

Cruzas	Capsaicina (mg g ⁻¹)		Scoville (SHU)	
1	0.10	m	1644.80	l
1x2	0.10	m	1681.07	l
1x3	0.10	m	1746.60	l
1x4	0.15	g-j	2522.16	f-i
1x5	0.14	jkl	2254.45	ijk
1x6	0.16	e-j	2644.31	d-i
1x7	0.12	klm	2033.70	jkl
1x8	0.14	jkl	2260.55	ijk
2x3	0.11	lm	1878.77	kl
2x4	0.15	g-j	2472.65	f-i
2x5	0.16	d-j	2661.33	d-i
2x6	0.17	d-h	2735.28	d-g
2x7	0.16	f-j	2593.86	e-i
2x8	0.15	h-k	2401.73	g-j
3x4	0.15	g-j	2493.44	f-i
3x5	0.14	i-l	2288.83	h-k
3x6	0.16	d-j	2645.09	d-i

3x7	0.15	g-k	2460.40	f-j
3x8	0.15	g-k	2447.51	f-j
4x5	0.16	d-i	2714.55	d-h
4x6	0.21	a	3450.47	a
4x7	0.18	b-f	3009.27	b-e
4x8	0.18	a-e	3028.97	a-d
5x6	0.19	abc	3180.52	abc
5x7	0.19	a-d	3074.04	a-d
5x8	0.17	c-g	2834.80	c-f
6x7	0.21	ab	3400.85	ab
6x8	0.20	ab	3340.42	ab
7x8	0.19	a-e	3060.88	a-d

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron cumplir el objetivo de evaluar los efectos genéticos mediante la estimación de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) en genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.).

Se determinó que las variables de número de frutos por planta, peso promedio del fruto y rendimiento están controladas tanto por efectos genéticos aditivos como no aditivos, reflejados en la significancia de la ACG y ACE, mientras que la pungencia estuvo influenciada principalmente por efectos aditivos. Por lo que se llegó a la conclusión de que las variables morfológicas mostraron menor variabilidad genética y mayor influencia ambiental.

Con base en los efectos de ACG y ACE, se identificaron progenitores sobresalientes como el 4 (Dante) y 2 (Orizaba) para rendimiento, y el 6 (Godzila), 4 (Dante) y 7 (Raider) para pungencia. Asimismo, se identificaron cruza superiores como 4×8, 4×6 y 2×7 por su alto rendimiento, y la cruza 4×6 por su elevada pungencia.

Estos resultados permiten seleccionar materiales promisorios y establecer estrategias de mejoramiento genético, enfocadas en el uso de progenitores con alta aptitud combinatoria general y el aprovechamiento de cruza específicas con efectos favorables de ACE para incrementar el rendimiento y la calidad del fruto.

VI. LITERATURA CITADA

- Acquaah, G. (2012). *Principles of Plant Genetics and Breeding* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Aguilar-Rincón, V. H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón-Mendoza, H., & Aguilar-Castillo, J. A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI; Colegio de Postgraduados; INIFAP; IT-Conkal; UNAL; UAN.
- Aguirre-Hernández, E., & Muñoz-Ocoter, V. (2015). El chile como alimento. *Ciencia: Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 66(3), 16–23. https://amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66_3/PDF/Chile.pdf
- AOAC International. (1995). *Official Method 995.03: Capsaicinoids in capsicums and their extractives—Liquid chromatographic method*. En Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International.
- Arisha, M. H., Bardisi, E., & Zyada, H. G. (2024). Study of diallel cross for yield and fruit characters in chili pepper. *Journal of Plant Production*, 15(8), 449–454.
- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., & González-Zamora, A. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(7), 143–149.
- Bertan, I., de Carvalho, F. I. F., & de Oliveira, A. C. (2007). Parental selection strategies in plant breeding programs. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 10(4), 211–222.
- Bhutia, N. D., Seth, T., Shende, V. D., Dutta, S., & Chattopadhyay, A. (2015). Estimation of heterosis, dominance effect and genetic control of fresh fruit yield, quality and leaf curl disease severity in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 182, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.017>
- Bosland, P. W. (1992). Chiles: A diverse crop. *HortTechnology*, 2, 6–10.
- Bosland, P. W., & Baral, J. B. (2007). Capsaicinoid content of chile pepper cultivars. *HortScience*, 42(6), 1293–1296.
- Bosland, P. W., & Votava, E. J. (2012). *Peppers: Vegetable and spice Capsicums* (2nd ed.). CABI.

- Buelna Tarín, S. (2023). *Nutrición con N, P, K y bioestimulantes en la producción de chile jalapeño (Capsicum annuum L.) en el norte de Sinaloa* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Sinaloa. <https://cca.uas.edu.mx/images/posgrado/TesisDCA/COHORTE%202018-2022/TESIS%20DCA-BUELNA%20TARIN.pdf>
- Celaya Mijangos, M. S., & Ortega Ibarra, E. (2020). Los chiles que le dan sabor al mundo. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud*, 9(17), 60–61. <https://doi.org/10.29057/icsa.v9i17.6026>
- Chiou, K. L., Hastorf, C. A., Bonavia, D., et al. (2014). Documenting cultural selection pressure changes on chile pepper (*Capsicum baccatum* L.) seed size through time in coastal Peru (7,600 B.P.–Present). *Economic Botany*, 68, 190–202. <https://doi.org/10.1007/s12231-014-9270-y>
- FAOSTAT. (2024). *Cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Fennema, O. (1995). *Química de los alimentos* (2ª ed.). Acribia.
- García Sandoval, J. A., Martínez Zambrano, G., Luján Favela, M., Ramírez Meraz, M., & López Benítez, A. (2006). Análisis línea x probador: Estrategia para selección de progenitores de alto rendimiento en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Agraria*, 3(1–3), 9–17. <https://www.revistaagraria.com/index.php/agraria/article/view/525/480>
- Gomes, L. M., Ribeiro, C. S. D. C., Ragassi, C. F., Silva, L. S., & Reifschneider, F. J. B. (2019). Advanced lines of jalapeño pepper with potential for mechanical harvesting. *Ciência Rural*, 49(2), e20190222. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190222>
- González-Pérez, E., Ramírez-Meraz, M., Canul-Ku, J., Flores-López, R., & Macías-Valdez, L. M. (2021). Aportaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias al mejoramiento genético de hortalizas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(25), 1–13. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2802>
- González-Pérez, E., Villalobos-Reyes, S., Núñez-Colin, C. A., & Canul-Ku, J. (2025). Caracterización morfológica de líneas avanzadas de chiles (*Capsicum annuum* L.) del centro de México. *Agronomía Mesoamericana*, 36, Artículo 61651.

- González Tiburcio, G., González Mateos, R., Pereyda Hernández, J., & González Zavaleta, S. V. (2021). Yield and economic analysis of three chili hybrids (*Capsicum annuum* L.) in Cuatro Caminos, San Gabriel, Jalisco, Mexico. *Horticulture International Journal*, 5(1), 10–12. <https://doi.org/10.15406/hij.2021.05.00194>
- González-Zamora, A., Sierra-Campos, E., Pérez-Morales, R., Vázquez-Vázquez, C., Gallegos-Robles, M. A., López-Martínez, J. D., & García-Hernández, J. L. (2015). Measurement of capsaicinoids in chiltepin hot pepper: a comparison study between spectrophotometric method and high performance liquid chromatography analysis. *Journal of Chemistry*, 2015(1), 709150.
- 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.
- Guzmán, I., & Bosland, P. W. (2017). Sensory properties of chile pepper heat and its importance to food quality and cultural preference. *Appetite*, 117, 186–190. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.06.026>
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Filho, J. B. M. (2010). *Quantitative genetics in maize breeding*. Springer.
- Harvell, K. P., & Bosland, P. W. (1997). The environment produces a significant effect on pungency of chiles. *HortScience*, 32(7), 1292–1292.
- Herath, H. M. S. N., Rafii, M. Y., Ismail, S. I., Nakasha, J. J., & Ramlee, S. I. (2021). Improvement of important economic traits in chili through heterosis breeding: A review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96, 14–23.
- Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. D. R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972–2993. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI. <https://www.inegi.org.mx>.

INTAGRI. (2020). *Tipos de chiles*.
<https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/tipos-de-chiles>

Ix-Nahuat, J. G., Latournerie-Moreno, L., Pech-May, A. M., Pérez-Gutiérrez, A., Tun-Suárez, J. M., Ayora-Ricalde, G., & Montes-Hernández, S. (2013). Valor agronómico de germoplasma de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en Yucatán, México. *Universidad y Ciencia*, 29(3), 231–242.

Julius, D. (2013). TRP channels and pain. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 29, 355–384.

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.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11112217>

Kumar, A., Saikiran, G., Thattantavide, A., *et al.* (2020). Biosynthesis, genetic regulation and therapeutic potential of capsaicinoids. *Plant-derived bioactives: Chemistry and mode of action* (pp. 323–350). Springer.

Lagunes-Fortiz, E., Villanueva-Verduzco, C., Lagunes-Fortiz, E. R., Zamora-Macorra, E. J., Ávila-Alistac, N., & Villanueva-Sánchez, E. (2021). La densidad de siembra en el crecimiento de la verdolaga. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 317–329.

Lascurain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., Tan, R., Caballero, J., Cortés-Zárraga, L., Linares-Mazari, E., Bye-Boettler, R., López-Binnqüist, C., & de Ávila, A. (2022). Plantas americanas utilizadas como condimento en la cocina mexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e933949.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3949>

Leigh, A., Sevanto, S., Close, J. D., & Nicotra, A. B. (2017). The influence of leaf size and shape on leaf thermal dynamics. *Plant, Cell & Environment*, 40, 237–248.

Lippert, L. F. (1975). Heterosis and combining ability in chili peppers by diallel analysis. *Crop Science*, 15, 323–325.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1975.0011183X001500030012x>

López-Gómez, A., & Rosales-Castro, M. (2025). La adición de composta y té de composta incrementan el desarrollo en un cultivo de chile jalapeño

(*Capsicum annuum*). *Biotecnia*, 27, e2663.
<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v27.2663>

- 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.
- Ludy, M. J., Moore, G. E., & Mattes, R. D. (2012). The effects of capsaicin and capsiate on energy balance. *Chemical Senses*, 37(2), 103–121.
<https://doi.org/10.1093/chemse/bjr100>
- Maksimova, V., Koleva Gudeva, L., Ruskovska, T., Gulaboski, R., & Cvetanovska, A. (2014). Antioxidative effect of *Capsicum* oleoresins compared with pure capsaicin. *IOSR Journal of Pharmacy*, 4(11), 44–48.
- Márquez-Molina, O., Rojas-Contreras, I. I., & Espinosa-Ayala, E. (2025). Alimentos tradicionales: Tesoros de la cultura y pilares de la seguridad alimentaria. *Revista Investigium IRE Ciencias Sociales y Humanas*, 183–208.
- 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). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional del Noreste.
- Medina, H., González-Cruz, L., Olan-Villegas, R. G., Acosta-García, G., Flores-Martínez, N. L., & Bernardino-Nicanor, A. (2022). Modification of the nutraceutical characteristics of jalapeño chili peppers in response to hormones. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21(2).
<https://doi.org/10.24275/RMIQ/ALIM2719>
- Montaño-Lugo, M. L., Velasco Velasco, V. A., Ruíz Luna, J., Campos Ángeles, G. V., Rodríguez Ortiz, G., & Martínez Martínez, L. (2014). Contribución al conocimiento etnobotánico del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 503–511.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n3/v5n3a13.pdf>
- Mukri, G., Patil, M. S., Motagi, B. N., Bhat, J. S., Singh, C., Jeevan Kumar, S. P., ... & Simal-Gandara, J. (2022). Genetic variability, combining ability and molecular diversity-based parental line selection for heterosis breeding in field corn (*Zea mays* L.). *Molecular Biology Reports*, 49(6), 4517-4524.

- Nsabiya, V., Ochwo-Ssemakula, M., Sseruwagi, P., Ojiewo, C., & Gibson, P. (2013). Combining ability for field resistance to disease, fruit yield and yield factors among hot pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes in Uganda. *International Journal of Plant Breeding*, 7, 12–21.
- Palloix, A., Daubeze, A. M., Phaly, T., & Pochard, E. (1990). Breeding transgressive lines of pepper for resistance to *Phytophthora capsici*. *Euphytica*, 51, 141–150.
- Rajput, J., & Parulekar, P. (2004). El pimiento. En *Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas*. Editorial Acribia.
- Rochín-Wong, C. S., Gardea-Béjar, A. A., Martínez-Núñez, Y. Y., & Robles-Ozuna, L. E. (2013). Cambios en compuestos fenólicos, capsaicinoides y capacidad antioxidante del chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) durante el secado y encurtido tradicional. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(2), 227–239. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v12n2/v12n2a4.pdf>
- Rodríguez, F., Alvarado, G., Pacheco, A., Burgueño, J., y Crossa, J. 2018. AGD-R Software (analysis of genetic design in R), versión 5.0, CIMMYT. Unidad de biometría y estadística. El Batán, estado de México, México
- Scoville, W. L. (1912). Note on Capsicum. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 1, 453.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Panorama agroalimentario*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025a). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Solleiro Rebolledo, J. L. (Coord.). (2022). *Impactos y beneficios derivados del mejoramiento vegetal en México*. Asociación Mexicana de Semilleros (AMSAC). https://www.researchgate.net/publication/378899124_Impactos_y_beneficios_derivados_del_mejoramiento_vegetal_en_Mexico
- 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.
- Tarinta, T., Chanthai, S., Nawata, E., & Techawongstien, S. (2023). Influencia de la capacidad combinatoria en el rendimiento, los capsinoides y los

capsaicinoides en variedades de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Horticulturae* , 9 (9), 1043. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091043>

Topuz, A., & Ozdemir, F. (2007). Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of food composition and analysis*, 20(7), 596-602.

Tripodi, P., & Kumar, S. (2019). The *Capsicum* crop: An introduction. *The Capsicum Genome*, 1–8.

Viana, J. M. S. (2023). The impact of epistasis in the heterosis and combining ability analyses. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1168419.

Visalakshi, M., & Pandiyan, M. (2018). Crop improvement in chillies: An overview. *International Journal of Chemical Studies*, 6, 1736–1744.

Westoby, M., & Wright, I. J. (2003). The leaf-size twig-size spectrum. *Oecologia*, 135, 621–628.

Sahid, Z. D., Syukur, M., & Maharijaya, A. (2020). Combining ability and heterotic effects of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes for yield components and capsaicin content.

Zamljen, T., Jakopič, J., Hudina, M., Veberič, R., & Slatnar, A. (2021). Influence of intra and inter species variation in chillies (*Capsicum* spp.) on metabolite composition of three fruit segments. *Scientific Reports*, 11(1), 4932.