

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE SEIS GENOTIPOS Y
DOS HÍBRIDOS DE CHILE POBLANO A CAMPO ABIERTO EN SALTILLO,
COAHUILA**

Tesis

Que presenta **LETICIA JIMÉNEZ HERNÁNDEZ**
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE SEIS GENOTIPOS Y
DOS HÍBRIDOS DE CHILE POBLANO A CAMPO ABIERTO EN SALTILLO,
COAHUILA

Tesis

Elaborada por LETICIA JIMÉNEZ HERNÁNDEZ como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría.



Dr. Neymar Camposeco Montejo

Director de Tesis



Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado
UAAAAN

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por las oportunidades que me ha brindado, por permitirme haber realizado este grado

A CONACYT por la beca otorgada durante este periodo de estudios y por el financiamiento de este proyecto en el que estuve trabajando.

A mis asesores: Dr. Neymar Camposeco Montejo, Dr. Alberto Sandoval Rangel y al Dr. Valentín Robledo Torres por la paciencia en el proceso de mi formación y por sus conocimientos transmitidos, y a cada uno de los profesores que compartieron sus conocimientos en mi formación.

A los alumnos de licenciatura que apoyaron en el trabajo de campo para sacar adelante este trabajo a Miguel Vazquez y Aldo Saúl.

En especial a Marino García Guzmán por todo el apoyo y amor durante en esta etapa.

INDÍCE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
INDÍCE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRAC	x
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivo específico	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen del cultivo	4
Importancia económica mundial, nacional y local.....	4
Importancia social y cultural	8
Contenido nutricional.....	8
Problemáticas en la producción.....	9
Técnicas de mejoramiento aplicados al cultivo de chile	11
Trabajos relacionados con el mejoramiento genético de chile poblano.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Localización.....	14
Material genético	14
Producción de plántula	15
Establecimiento del cultivo	16
Nutrición y manejo del cultivo	16

Cosecha	17
Determinación de variables de rendimiento y comportamiento agronómico..	17
Análisis estadístico de los datos	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
Variables agronómicas	20
Variables morfológicas	25
Coeficientes de correlación	27
Análisis de sendero	29
DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIONES.....	31
REFERENCIAS	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Temperatura y radiación de mes de febrero a diciembre del 2023, información descargada de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos.	14
.....	
Cuadro 2. Identificación del material genético utilizado para evaluar su comportamiento agronómico y morfológico en el experimento.	15
.....	
Cuadro 3 Composición química nutrimental de la solución nutritiva utilizada en el manejo del chile poblano.	17
.....	
Cuadro 4 Análisis de varianza y comparación de medias de rendimiento y componentes, número de lóculos y sólidos solubles totales de seis genotipos y dos híbridos de chile poblano evaluados a campo abierto en Saltillo, Coahuila.	22
.....	
Cuadro 5. Análisis de varianza y comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de variables morfológicas de seis genotipos y dos híbridos de chile poblano evaluados a campo abierto en Saltillo, Coahuila.	26
.....	
Cuadro 6. Coeficientes de sendero (CS) estimados de los efectos directos e indirectos de las variables sobre el rendimiento por planta RPP (kg planta ⁻¹) en chile poblano.	29
.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie sembrada por estado de chile poblano en verde a nivel nacional de los últimos cinco años (SIAP, 2022)	6
Figura 2. Toneladas cosechadas por estado, de chile poblano en verde a nivel nacional de los últimos cinco años (SIAP, 2022)	6
Figura 3. Superficie sembradas en los últimos cinco años de chile poblano en seco <i>Capsicum annuum</i> a nivel nacional de los cinco estados que lideran la producción (SIAP, 2022).....	7
Figura 4. Toneladas cosechadas en los últimos cinco años de chile poblano en seco <i>Capsicum annuum</i> a nivel nacional de los cinco estados que lideran la producción (SIAP, 2022).....	7
Figura 5. Comparación de medias de calidad de fruto de chile poblano en campo abierto. Ancho de la base del fruto (A), Ancho medio del fruto (B), barras verticales corresponden la desviación estándar.	23
Figura 6 Comparación de medias de calidad de fruto de chile poblano en campo abierto. Longitud de fruto (A), Profundidad de cáliz (B) barras verticales corresponden la desviación estándar.	24
Figura 8. Correlograma de Pearson, PLO= peciolo, LH=longitud de hoja, AH=ancho de la hoja, ABF=ancho de la base del fruto, AMF=ancho medio del fruto, LF=, Longitud del fruto, GM= Grosor del mesocarpio, LP=Longitud de pedúnculo, NL=Número de lóculos, SST= Sólidos s solubles totales, NFP= Número de frutos por planta, RPP= Rendimiento por planta, PPF= peso promedio por fruto, GT= Grosor de tallo, AT= Altura total.	28

RESUMEN

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE SEIS GENOTIPOS Y
DOS HÍBRIDOS DE CHILE POBLANO A CAMPO ABIERTO EN SALTILLO,
COAHUILA**

Por

Leticia Jiménez Hernández

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO
(ASESOR)**

Saltillo, Coahuila

Julio 2024

Este estudio evaluó agronómica y morfológicamente seis genotipos de chile poblano en la F₂, que fueron generados a partir de la polinización manual dirigida entre un genotipo que fungió como parental hembra, con la mezcla de polen de tres genotipos que fungieron como macho, producto de esta recombinación se obtuvo la F₁ y de ahí fueron seleccionados los genotipos, se comparó con un híbrido comercial F₁ y uno experimental, con el fin de seleccionar aquellos con potencial para un programa de mejoramiento genético. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y se aplicaron análisis estadísticos al $p \leq 0.05$, la prueba de medias de Tukey $p \leq 0.05$ y un análisis de correlación de Pearson. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en varios parámetros. En rendimiento por planta, número de frutos por planta, peso promedio por fruto, altura de planta, grosor de tallo, longitud y ancho de hoja (AH) no se encontraron diferencias estadísticas. En cuanto al ancho de la base del fruto (ABF) sobresalen los híbridos, en ancho medio del fruto los genotipos G4, G6 y los híbridos, en longitud de fruto destaca G2, G5 y G6, profundidad del cáliz G1, G3 y G4, longitud del pedúnculo G4 fue diferente a los demás y grosor del mesocarpio (GM) sobresalen los genotipos G2, G4, G6 e híbridos. El rendimiento depende NFP (0.66), GM (0.46), ABF (0.38) de acuerdo con los coeficientes de correlación de Pearson. Los genotipos G2, G4 y G6 mostraron un alto potencial agronómico en comparación con los híbridos, lo que sugiere un valor genético prometedor para continuar el programa de mejoramiento genético.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, F₂, comportamiento agronómico, análisis de correlación

ABSTRAC

AGRONOMIC AND MORPHOLOGICAL EVALUATION OF SIX GENOTYPES
AND TWO HYBRIDS OF POBLANO CHILE IN OPEN FIELD IN SALTILLO,
COAHUILA, COAHUILA.

By

Leticia Jiménez Hernández

MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO
(ADVISOR)

Saltillo, Coahuila

Julio 2024

This study evaluated agronomically and morphologically six genotypes of poblano pepper at F_2 , which were generated from the manual directed pollination between a genotype that served as female parental, with the pollen bull of three genotypes that served as male, product of this recombination the F_1 was obtained and from there the genotypes were selected, it was compared with a commercial F_1 hybrid and an experimental one, in order to select those with potential for a genetic improvement program. A randomized complete block design was used and statistical analyses were applied at $p \leq 0.05$, Tukey's mean test $p \leq 0.05$ and a Pearson correlation analysis. The results showed that there were no significant differences in several parameters, in yield per plant, number of fruits per plant (NFP), average weight per fruit, plant height, stem thickness and leaf length and width (AH) no statistical differences were found. Regarding fruit base width (ABF), the hybrids stood out, in average fruit width the genotypes G4, G6 and hybrids, in fruit length G2, G5 and G6, calyx depth G1, G3 and G4, peduncle length G4 was different from the others and mesocarp thickness (GM) the genotypes G2, G4, G6 and hybrids stood out. Yield depends on NFP (0.66), GM (0.46), ABF (0.38) according to Pearson's correlation coefficients. Genotypes G2, G4 and G6 showed high agronomic potential compared to the hybrids, suggesting promising genetic value for continuing the breeding program.

Key words: *Capsicum annuum*, F_2 , agronomic performance, correlation analysis.

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre el chile poblano es crucial debido a su relevancia histórica, económica y cultural en México. Con raíces que se remontan a miles de años, este cultivo ha sido esencial en la gastronomía y la vida cotidiana de muchas comunidades mexicanas. A pesar de su importancia, las variedades nativas aún enfrentan desafíos, como su susceptibilidad a enfermedades, plagas y el cambio climático, así como la dependencia de semillas importadas, lo que representa un obstáculo para los pequeños productores (SIAP, 2022).

El chile poblano es apreciado por su importancia gastronómica, económica, social y cultural (Rodríguez *et al.*, 2007; Toledo-Aguilar *et al.*, 2011), el cultivo se adapta a diferentes condiciones ambientales de las diferentes regiones productoras del país, en donde existe diversidad morfológica de variedades nativas, que pueden ser de interés para integrarse a proyectos de conservación y mejoramiento genético (Rodríguez *et al.*, 2007; Toledo-Aguilar *et al.*, 2011; Tripodi *et al.*, 2019), no obstante, estas variedades nativas, siguen siendo muy susceptibles a plagas y enfermedades y las consecuencias derivadas del cambio climático, limitan aún más su productividad (Herrera-Fuentes *et al.*, 2023; Rodríguez *et al.*, 2007), además, la semilla para su producción generalmente es importada por empresas extranjeras, por lo que, genera altos costos a los pequeños productores antes de iniciar el cultivo (Toledo-Aguilar *et al.*, 2011).

De ahí la importancia del mejoramiento genético de cultivos, ya que, permite crear nuevas variantes a partir de materiales vegetales con diversidad genética, promoviendo la combinación de rasgos que confieren las selecciones originales, inducir mutaciones o retrocuzar variedades silvestres con comerciales (Duvick, 2007). En el mejoramiento de chile se persiguen varios objetivos como; alto rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, estrés abiótico, para plantas ornamentales y mayor pungencia para satisfacer las demandas del mercado (Padilha & Barbieri, 2016). Por lo tanto, en los chiles se han aplicado varias técnicas en la mejora del cultivo, tales como: selección masal, técnica pedigree o genealógico, descendencia de semilla única, selección recurrente,

retrocruzamiento e hibridación (K. M. R. Karim *et al.*, 2021; Srivastava & Mangal, 2019).

Por esta razón, un programa de mejoramiento genético utilizando genotipos nativos o criollos, permitirá incrementar el rendimiento, la productividad, la tolerancia a agentes abióticos y bióticos adversos, incrementar la calidad y el rango de adaptación en las diferentes zonas productoras en el mediano y largo plazo (Bailey-Serres *et al.*, 2019). Sin embargo, en cualquier programa de mejoramiento genético, es necesario evaluar agronómica y morfológicamente los genotipos, para identificar su potencial genético, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar genotipos de chile poblano en la F₂, comparado con dos híbridos y con ello seleccionar los mejores genotipos, para continuar con el programa de mejoramiento, que eventualmente permitiría la generación de híbridos o variedades sobresalientes en el mediano y largo plazo.

El mejoramiento genético ofrece una solución prometedora para abordar estos desafíos. Al aprovechar la diversidad genética de las variedades nativas, es posible desarrollar nuevas variantes que sean más resistentes y productivas. En el caso del chile poblano, este proceso implica la selección de genotipos con características agronómicas y morfológicas superiores, lo que podría conducir al desarrollo de variedades y híbridos mejor adaptados y de mayor calidad.

Este estudio se centra en la evaluación de seis genotipos de chile poblano, junto con dos híbridos comerciales, con el objetivo de identificar aquellos con el potencial más prometedor para continuar en un programa de mejoramiento genético. Utilizando un diseño estadístico robusto, se analizaron diversas variables agronómicas y morfológicas, desde el rendimiento por planta hasta la calidad del fruto, por lo tanto, los objetivos siguientes.

OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características morfológicas y agronómicas de seis genotipos de chile poblano comparado con dos híbridos bajo condiciones de campo abierto en, Saltillo, Coahuila.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Estimar el rendimiento, componentes de rendimiento y caracteres morfológicos de seis genotipos de chile poblano y dos híbridos a campo abierto en Saltillo, Coahuila.

Identificar y seleccionar los genotipos con alto potencial de rendimiento y arquitectura morfológica de planta para continuar en un programa de mejoramiento genético por selección recurrente.

Determinar la calidad de frutos de seis genotipos de chile poblano en verde fresco como “chile poblano”

Comparar la respuesta agronómica y morfológica de seis genotipos de chile poblano con un híbrido comercial y uno experimental.

Hipótesis

Al menos uno de los genotipos de chile poblano mostrará mejores características agronómicas y morfológicas a campo abierto en Saltillo, Coahuila.

REVISIÓN DE LITERATURA.

Origen del cultivo

El chile, es un cultivo emblemático en México, posee una relevancia excepcional gracias a su fascinante origen y proceso de domesticación. Pruebas arqueológicas apuntan que su cultivo se remonta a tiempos ancestrales, con evidencia que data aproximadamente del año 7000 al 2555 a.C. Estos hallazgos arqueológicos provienen de diversas regiones, incluyendo la reconocida Cueva Coaxtlán en el Valle de Tehuacán, Puebla, así como sitios en Ocampo, Tamaulipas y Mitla, Oaxaca (Kraft *et al.*, 2014; Perry & Flannery, 2007). Esta riqueza histórica y cultural del chile en México, no solo resalta su importancia como recurso alimenticio, sino que, también contribuye significativamente al patrimonio agrícola y cultural del país.

El género *Capsicum* exhibe una sorprendente diversidad, comprendiendo un total de 43 especies y cinco variedades identificadas. Entre estas, destacan cinco taxones de particular relevancia económica: *Capsicum annuum L. var. annuum*, *C. baccatum L. var. pendulum* (Willd.) Eshbaugh, *C. baccatum L. var. umbilicatum* (Vell.) Hunz. & Barboza, *C. chinense Jacq.* y *C. frutescens L.* (Barboza *et al.*, 2022; Purkayastha *et al.*, 2012). Esta diversidad genética es invaluable para la mejora genética y la selección de variedades con características deseables, lo que contribuye al desarrollo y la sostenibilidad de la industria del chile a nivel mundial.

Importancia económica mundial, nacional y local.

México es uno de los principales productores de chiles a nivel mundial, en producción de chile verde como en seco o deshidratado. De acuerdo con la base de datos estadísticos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación, el país se ubica en el segundo lugar a nivel global en la producción de chiles en verde, con una impresionante producción total de 3,113,244 toneladas (FAOSTAT, 2022). No solo resalta la importancia de la industria agrícola mexicana en la economía mundial, sino que, también subraya la relevancia cultural y gastronómica del chile en la cocina mexicana y su impacto en la escena

culinaria internacional. Además, en lo que respecta a la producción de chiles secos o deshidratados, México se posiciona en el décimo cuarto lugar a nivel mundial, con una producción significativa de 60,987 toneladas. Esta cifra demuestra la diversidad y la capacidad del país para cultivar y procesar chiles en diferentes formas, satisfaciendo tanto la demanda interna como la demanda global de estos productos (FAOSTAT, 2022).

A nivel nacional las variedades de chiles que contribuyen en gran medida a esta producción, se encuentran el jalapeño, el poblano y el serrano. Estas variedades no solo son apreciadas por su sabor único y su versatilidad en la cocina, sino que también son pilares fundamentales en la identidad culinaria mexicana. El jalapeño, conocido por su distintivo sabor picante, el poblano, utilizado en la preparación de platos emblemáticos como el chile en nogada, y el serrano, apreciado por su intenso picor y su presencia en una amplia variedad de salsas y platillos, son solo algunos ejemplos de la riqueza y la diversidad de los chiles mexicanos y su importante uso en la cocina mexicana. Para el caso del chile poblano en el año 2022 se sembró un total 16,696.88 hectáreas (Figura 1), con una producción de 414,656 toneladas (Figura 2) que corresponde a \$4,246,831 en valor de producción y rendimiento medio de 25 toneladas por hectárea a nivel nacional, además los cinco estados que encabezan la producción son Zacatecas, Guanajuato, Jalisco, Baja California Sur y Sinaloa como se observa en la Figura 3, para chile ancho o deshidratado 15,247 hectáreas y una producción de 151,270 toneladas (Figura 4) con \$2,278,853 en valor de producción y rendimiento de 9.9 toneladas por hectárea, los cinco estados de la república que lideran la producción chile deshidratado son; Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Puebla y Oaxaca como se observa en la Figura 3 (SIAP, 2022).

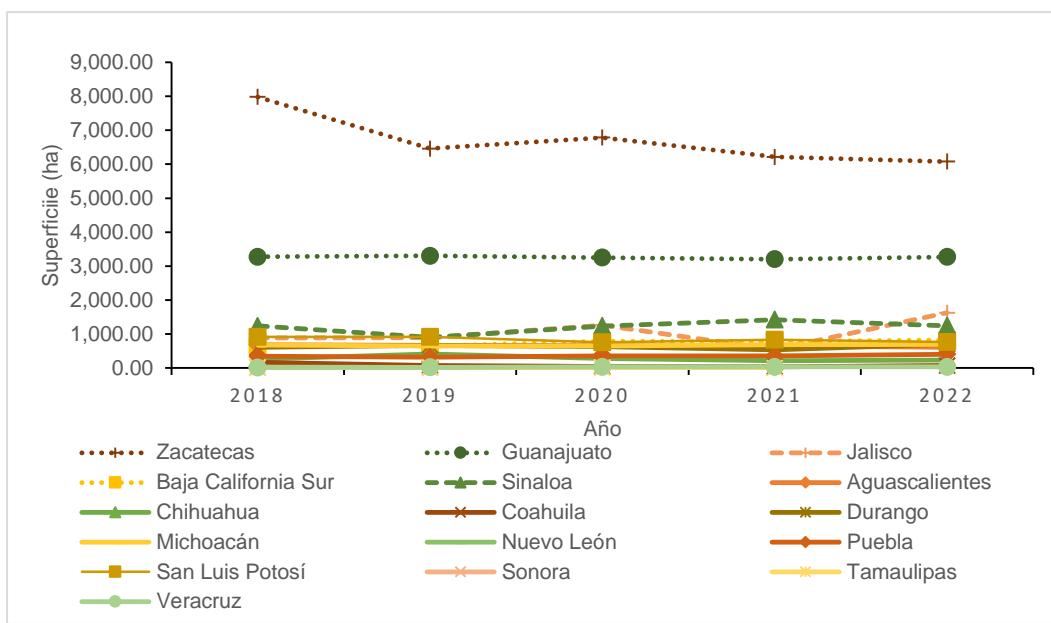


Figura 1. Superficie sembrada por estado de chile poblano en verde a nivel nacional de los últimos cinco años (SIAP, 2022).

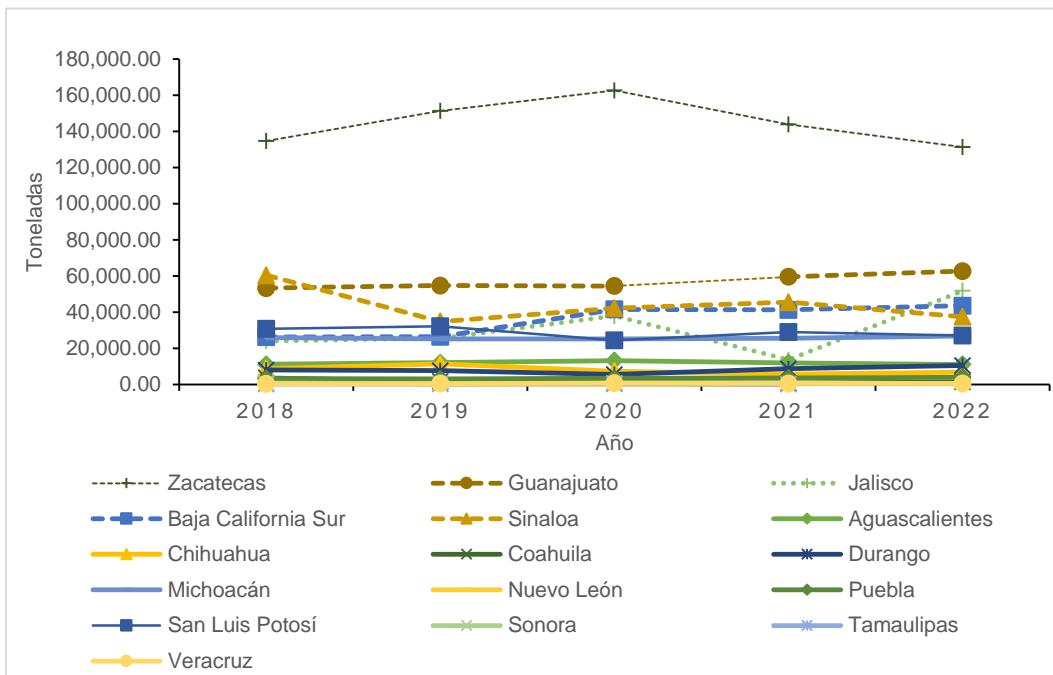


Figura 2. Toneladas cosechadas por estado, de chile poblano en verde a nivel nacional de los últimos cinco años (SIAP, 2022).

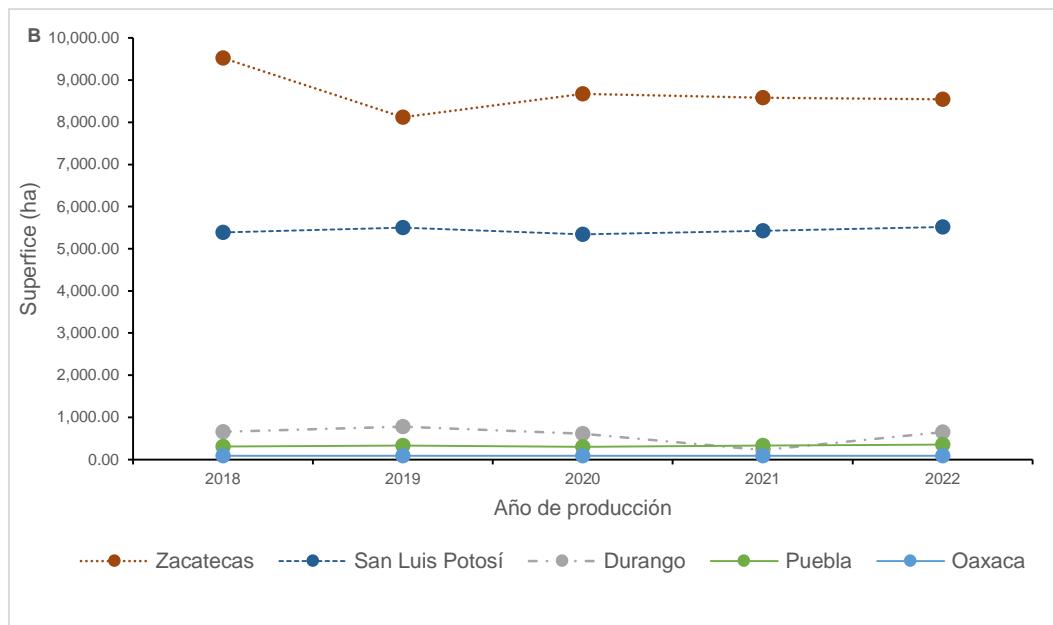


Figura 3. Superficie sembradas en los últimos cinco años de chile poblano en seco *Capsicum annuum* a nivel nacional de los cinco estados que lideran la producción (SIAP, 2022).

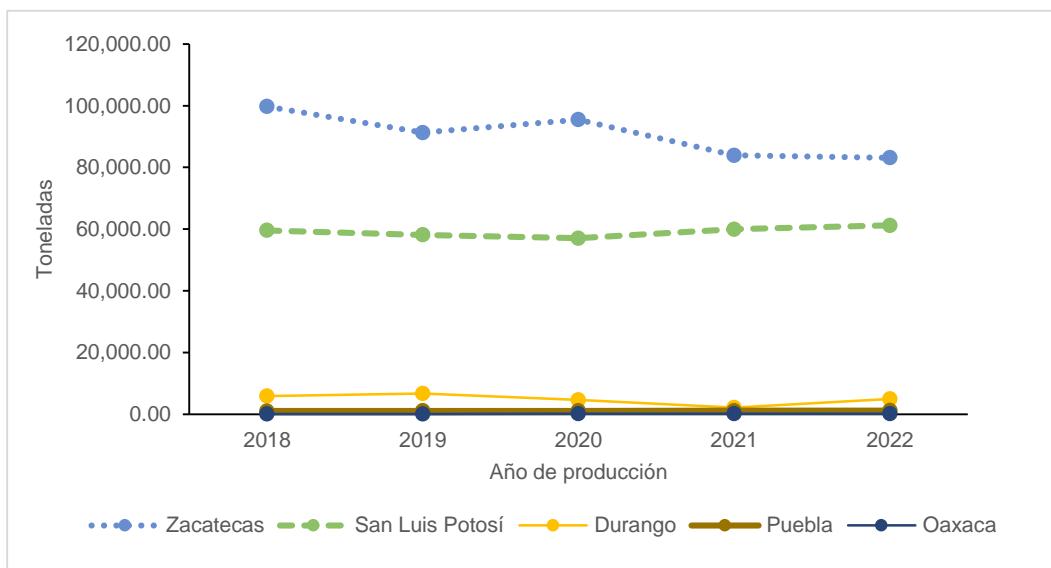


Figura 4. Toneladas cosechadas en los últimos cinco años de chile poblano en seco *Capsicum annuum* a nivel nacional de los cinco estados que lideran la producción (SIAP, 2022).

Importancia social y cultural

El chile poblano tiene una importancia social, cultural y económica significativa en México (Montalvo-González *et al.*, 2009; Santiago *et al.*, 2018; Toledo-Aguilar *et al.*, 2011). Es un ingrediente básico en los platos tradicionales mexicanos, como el mole poblano y los chiles en nogada, lo que refleja la rica herencia culinaria del país (Rodríguez *et al.*, 2007). El cultivo de chiles poblanos está profundamente entrelazado con las prácticas y tradiciones culturales de las comunidades rurales, lo que contribuye a la preservación de las costumbres culinarias. Además, el chile poblano es una fuente vital de ingresos para las familias rurales, especialmente en regiones como Sierra Nevada en Puebla, a pesar de enfrentar desafíos como la disminución de los rendimientos y la pérdida de diversidad genética, se están realizando esfuerzos para conservar y mejorar el cultivo de las variedades locales de chile poblano, asegurando la continuación de este cultivo de importancia cultural (Pérez Carrasco *et al.*, 2017).

La historia del chile en México marca su importancia cultural y gastronómica, también un testimonio vivo de la riqueza biológica y la interacción entre el ser humano y su entorno natural a lo largo de milenios.

Contenido nutricional

El chile poblano *Capsicum annuum* es rico en varios nutrientes, varios estudios han demostrado que los chiles tienen altos niveles de minerales como calcio, magnesio, potasio, hierro y cobre, además de vitaminas como A, B2, B6, B12 y C (Khan, 2019). Además, los chiles son conocidos por su alto contenido de provitamina A, con $111,4 \pm 28,2$ μg de equivalentes de retinol (RE) /100 g, lo que los convierte en una buena fuente de actividad de vitamina A (Olatunji & Afolayan, 2018), también contienen carbohidratos, grasas, proteínas y fibra dietética, lo que contribuye a su valor nutricional general (Mejía *et al.*, 1988), esta composición nutricional de los chiles los convierte en una valiosa adición a la dieta, ya que ofrecen una variedad de nutrientes esenciales para la salud y el bienestar en general de la población humana.

Problemáticas en la producción

La producción de chile poblano en México enfrenta varios desafíos, los problemas incluyen la infertilidad del suelo y la salinización debido a prácticas agrícolas intensivas, que conducen a niveles bajos de nutrientes a pesar de los niveles de pH neutros (Carrillo-Martínez *et al.*, 2022), además las enfermedades causadas por hongos, bacterias y nematodos afectan a los chiles poblanos, lo que reduce los rendimientos y las áreas de siembra (Hernández *et al.*, 2021), el uso de semillas criollas y producción convencional-tradicional contribuye a los bajos rendimientos en ciertas regiones, lo que lleva al desarrollo de variedades híbridas como la HAP14F por el Instituto Nacional de Ciencias Forestales (INIFAP) para mejorar la productividad en áreas como el Altiplano de México (Herrera-Fuentes *et al.*, 2023; Santiago *et al.*, 2018). Aunque la presencia de enfermedades como el marchitamiento en los cultivos de chile causada por un complejo de patógenos de suelo (Andrade-Hoyos *et al.*, 2019; Pons-Hernández *et al.*, 2021) son una limitante en la producción de este cultivo. Otro factor que afecta la producción del chile es el cambio climático (Medina-García *et al.*, 2017) Estos desafíos subrayan la importancia de las prácticas sostenibles y las soluciones innovadoras en la producción de chile poblano en México dentro de ello se encuentran las técnicas de mejoramiento genético.

Importancia de la evaluación de los materiales genéticos

La evaluación de los materiales criollos es crucial para los programas de mejora genética en los chiles *Capsicum annuum*, debido a su diversidad genética inherente y su potencial de adaptación a las condiciones ambientales cambiantes, estos materiales son de polinización abierta y pueden ser seleccionadas por tener fenotipos uniformes, pero que conservan la diversidad genética, lo que los convierte en valiosos recursos genéticos para los programas de mejora (Constantino *et al.*, 2020). La evaluación de la diversidad genética de los materiales criollos ayuda a identificar características morfológicas y agronómicas prometedoras para los programas de mejora para adaptación a nuevos ambientes (Lozada *et al.*, 2021; Ro *et al.*, 2021), por lo tanto, la evaluación materiales criollos desempeña un papel vital a la hora empezar a desarrollar y

mejorar las características deseables para un cultivo determinado, y ahora visto desde el punto de vista de la sostenibilidad (Ananya *et al.*, 2020). Ademas, es crucial para mejorar la resistencia al estrés biótico y abiótico, garantizar una producción sostenible y aumentar los ingresos de los agricultores (S. S. Chhapekar *et al.*, 2018) por lo tanto la evaluación de materiales que se encuentran en procesos de mejora es importante evaluar las características agronómicas y describir sus caracteres morfológicos para determinar las diferencias entre unos genotipos y otros.

El mejoramiento genético en el cultivo de chile

El mejoramiento genético en el cultivo del chile tiene varios propósitos, como mejorar el rendimiento, la resistencia al estrés biótico y abiótico y mejorar la calidad nutricional, para ello se utilizan técnicas clásicas de reproducción y mejoramiento, como lo es; la selección masal, el método genealógico o pedigrí, la descendencia con una sola semilla, el retrocruzamiento y la hibridación (Islam *et al.*, 2023; K. M. R. Karim *et al.*, 2021; Selvakumar *et al.*, 2022). Estos métodos han evolucionado desde la selección de especies silvestres hasta la utilización de la diversidad genética para nuevos reordenamientos genéticos, lo que ha dado como resultado un alto valor de rendimiento y nutricional en los frutos de chiles (Srivastava & Mangal, 2019), así mismo se menciona que los métodos de mejoramiento genético se adaptan y adoptan de acuerdo con las necesidades de la especie y del fitomejorador. Los avances recientes en la reproducción del pimiento incluyen la introgresión, la generación de variabilidad por mutaciones, la poliploidía, la haploidía, el rescate de embriones y el uso de marcadores genéticos que, cuando se combinan con tecnologías moleculares, muestran resultados prometedores en los programas de reproducción genética (S. Chhapekar *et al.*, 2016; Vinodhini *et al.*, 2019). La integración de los métodos tradicionales y moleculares, especialmente para la heterosis, es crucial para desarrollar nuevos genotipos resistentes a condiciones ecológicas adversas.

Los programas de mejoramiento genético han abordado varios desafíos de producción en el cultivo del chile poblano, problemas antes mencionados como enfermedades causadas por hongos, bacterias y nematodos, que provocan

pérdidas de rendimiento, que se han mitigado mediante el desarrollo de variedades resistentes a las enfermedades (Islam *et al.*, 2023), la implementación de métodos eficientes de propagación de las plantas, la generación de plantas haploides y doble haploides puede ser viable (González-Chavira *et al.*, 2023), los métodos de transformación genética han mejorado la reproducción de los pimientos al proporcionar formas eficaces de introducir características deseables y mejorar la eficiencia de conversión (Ramalho do Rêgo & Monteiro do Rêgo, 2016). Además, en la investigación sobre variedades criollas de chile poblano se han identificado rasgos con diferencias significativas entre las variedades, lo que ha ayudado a seleccionar los cultivares para su posterior reproducción, a fin de mejorar las características de rendimiento y calidad (Toledo-Aguilar *et al.*, 2011). Estas investigaciones genéticas han contribuido significativamente en cuatro objetivos; el primero es características agronómicas clave como rendimiento, color y forma de la fruta, hábito de la planta; el segundo la resistencia al estrés abiótico, como la sequía y la salinidad, limitando el cultivo en ciertas regiones, el tercero resistencia a la enfermedad fúngica y viral, que conduce a daños severos a la producción y a la pérdida de calidad, y el cuarto a la calidad que se centra en el desarrollo de diferentes sustancias bioactivas como capsaicinoides, isoprenoides, flavonoides y vitamina C (K. M. R. Karim *et al.*, 2021; Komala *et al.*, 2023; Mohan Rao & Anilkumar, 2020). Con ello superar los desafíos de producción y a mejorar el cultivo del chile, esta investigación plantea generar conocimiento que contribuya al a la solución de los problemas planeados en el primer objetivo.

Técnicas de mejoramiento aplicados al cultivo de chile

Como se mencionó con anterioridad los métodos clásicos o convencionales de mejoramiento, se siguen aplicando en la mejora de variedades de chiles, pero también se encuentran los métodos no convencionales. Los métodos convencionales son la selección masal ,método del pedigrí o selección de línea pura, descendencia de semilla única (SDD), Selección recurrente, retrocruzamiento, hibridación y mutación; para el caso de métodos no convencionales que son herramientas para generar nueva variabilidad de alelos

cuando se agota la variabilidad natural, entre ellos destaca la técnica de hibridación a distancia, cría por mutación, herramientas biotecnológicas en este método se encuentra el cultivo de tejidos y transformación génica y por último dobles haploides (K. M. R. Karim *et al.*, 2021; Mohan Rao & Anilkumar, 2020).

Trabajos relacionados con el mejoramiento genético de chile poblano

Los estudios de mejoramiento genético se han enfocado en atender las problemáticas del chile poblano (*Capsicum annuum* L.), incluyen la evaluación de parámetros de variación genética como los coeficientes fenotípicos y genotípicos de variación, heredabilidad y flujo de genes, así como el análisis de conglomerados (Komala *et al.*, 2023). Los estudios han utilizado la selección asistida por marcadores (MAS) y el mejoramiento convencional para introducir los principales genes de resistencia de las variedades resistentes a las enfermedades, lo que ha llevado al desarrollo de una resistencia múltiple y duradera a las principales enfermedades del ají (Lopez-Moreno *et al.*, 2023). Además, la identificación de los loci de rasgos cuantitativos (QTL) asociados con la domesticación y los rasgos agronómicos mediante el mapeo genético ha proporcionado información sobre la arquitectura genética de la domesticación del pimiento, destacando la presencia de pocos loci con grandes efectos y el predominio de alelos recesivos domesticados (K. M. R. Karim *et al.*, 2021). Además, el uso de marcadores de ADN y un mapeo fino ha facilitado la rápida introgresión de los genes diana, relacionados con la resistencia a *Phytophthora capsici* en la pimienta (Barka & Lee, 2020).

Con respecto a los estudios de mejoramiento de chiles a nivel Nacional, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha realizado diferentes trabajos de investigación y cuenta con accesiones de material genético para dicho propósito (Ramírez-Vallejo *et al.*, 2000), por lo tanto ha generado un híbrido HAM14F de chile ancho mulato, resultado de la hibridación entre la variedad AM-VR y la línea AM-97-45-21 que presenta rendimiento de 23.1 t ha⁻¹ (Santiago *et al.*, 2018), que presenta una alternativa para el Altiplano Mexicano. Otro estudio realizado por Rodríguez *et al.*, (2007) donde trabajaron con materiales criollos *in situ*, y seleccionaron los materiales

que estaban sanos, esto enfocado en la obtención de materiales para el productor.

La inducción de embriones androgénicos y la regeneración de plantas haploides en genotipos experimentales de chile poblano mediante el cultivo de anteras han investigado diferentes protocolos que incluyen tratamientos hormonales y medios de cultivo para mejorar la eficiencia de la producción de plantas haploides. Los estudios han demostrado que el uso de reguladores del crecimiento específicos, como la cinetina y el 2,4-D, junto con la colchicina para la duplicación cromosómica, que pueden mejorar significativamente las tasas de androgénesis y regeneración de las plantas (González-Chavira *et al.*, 2023; Mangal *et al.*, 2023). Por lo tanto, es indispensable seguir trabajando en el mejoramiento de chile poblano, para obtener materiales donde se aproveche la diversidad genética que cuenta México, este estudio contribuye a realizar selección de genotipos para generar líneas o híbridos que contribuyan al desarrollo de mejores materiales con superiores rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en el área experimental de campo abierto del Departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, ubicada en las coordenadas 25° 21' 23.44" Latitud Norte y 101° 2' 5.18" Latitud Oeste, con una temperatura media anual de 24°C, una precipitación media anual de 400 mm, sin embargo, las temperaturas que se presentaron durante el periodo del cultivo fue de 32.4 °C en promedio con una máxima de 36.93 °C que se muestra en el Cuadro 1. (*Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos, s/f*).

Cuadro 1. Temperatura y radiación de mes de febrero a diciembre del 2023, información descargada de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos.

Mes	Temperatura Máxima °C	Temperatura mínima	Radiación máxima W/m ²	Promedio de radiación W/m ²	Radiación mínima W/m ²
Febrero	28.11	-0.8	923.67	212.0	-6.386
Marzo	29.93	-1.6	1042.92	231.3	-4.436
Abril	30.44	7.57	1039.10	243.5	-3.5
Mayo	30.35	9.71	1002.30	230.0	-3.1
Junio	36.93	14.88	1089.90	302.9	-4.1
Julio	32.04	15.26	1041.10	270.0	-2.5
Agosto	33.22	13.23	1132.30	263.7	-2.5
Septiembre	31.82	14.66	1001.00	261.9	-2
Octubre	28.1	6.65	931.04	166.7	-2.9
Noviembre	28.16	-0.81	835.38	150.6	-4.802
Diciembre	22.89	0.93	793.90	140.3	-4.739

Material genético

Se utilizaron seis genotipos generados a partir de la polinización manual dirigida entre un genotipo que fungió como parental hembra, con el bull de polen de tres genotipos que fungieron como macho, producto de esta recombinación se obtuvo la F₁, de ahí se cultivaron en 2022, de estas se seleccionaron seis genotipos por sus características fenotípicas distintivas sobresalientes, para su posterior

evaluación en F_2 , que es la etapa que se evaluó en el 2023 en la presente investigación. Así mismo se comparó con dos híbridos, uno de ellos de la casa comercial SEMINIS Carranza F_1 , y el segundo híbrido F402 generado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, como se muestra en el Cuadro 2, mismas que se consideran como tratamientos.

Cuadro 2. Identificación del material genético utilizado para evaluar su comportamiento agronómico y morfológico en el experimento.

Clave	Descripción
G1	Genotipo 1
G2	Genotipo 2
G3	Genotipo 3
G4	Genotipo 4
G5	Genotipo 5
G6	Genotipo 6
F402	Híbrido UAAAN
CARR	Carranza F_1

Producción de plántula

La siembra del material genético se realizó el 18 de febrero del 2023, en bandejas de germinación de poliestireno de 200 cavidades, con sustrato para germinación de peat-moss y perlita con una proporción de 70:30, se sembró la semilla con una profundidad de 0.5 cm y se cubrió con una capa fina de la misma mezcla del sustrato, para inducir la germinación se cubrió con polietileno negro durante 72 horas, posteriormente se dejó en el invernadero para la emergencia y crecimiento de la planta. Para contar con planta de buena calidad se realizó la fertilización después de seis días de emergencia con triple 20 (20-20-20) soluble adicionado con microelementos gradualmente con 0.5, luego con 0.75 y 1 g L⁻¹.

Establecimiento del cultivo

El trasplante se realizó a los 60 días después de la siembra, los genotipos se distribuyeron en cuatro camas de cultivo elevadas a 30 cm de altura, por 40 cm de ancho y 15 metros de longitud, se usó acolchado plástico para prevenir la proliferación de malezas, la distancia entre camas fue de 1.8 metros, la distancia entre plantas fue a 30 cm a doble fila o hilera, con una separación de 25 cm entre hileras, con una densidad de plantación de 37,000 plantas por hectárea.

Nutrición y manejo del cultivo

La nutrición del cultivo se realizó vía fertirriego, después de los 15 días del trasplante, la aplicación estuvo en función de los requerimientos del cultivo y se usó una solución tipo Steiner modificada en concentraciones ascendentes de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo 50%, 75% y 100% como se observa en el cuadro 3., a los 5, 21 y 50 días después del trasplante respectivamente, procurando mantener en un rango de pH de 5.9 a 6.1 y una conductividad eléctrica de 1.5 a 2.7 dS/m. Así mismo se realizó el manejo del cultivo con actividades como la eliminación de malezas entre camas o en los orificios del acolchado, esto se realizó cada 15 días para evitar la propagación de estas y así reducir el riesgo de presencia de plagas o enfermedades del cultivo, para el caso del tutoreo de las plantas se colocó en función del crecimiento de la planta por el método de espaldera o tipo español, se inició cuando las plantas tenían una altura promedio de 25 cm, a fin de mantener la planta erguida durante todo el ciclo del cultivo.

Para la prevención y manejo de plagas como mosca blanca, trips y arañita roja se aplicó Spirotetramat al 15.3%, Spiromesifen al 23.1% e Imidacloprid 17% + betacylfutrin 12% a razón de 1 ml L-1 y para enfermedades como Damping-off y cenicilla (*Laveillula taurica*), se usó Metalaxil-M al 45.28%, Azoxistrobin al 50 1 ml L-1.

Cuadro 3 Composición química nutrimental de la solución nutritiva utilizada en el manejo del chile poblano.

Macroelementos mEq L-1											
SN (%)	Cl ⁻	NO ₃	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HC ₀₃ ⁻ Y CO ₃ ⁻²	K ⁺¹	Mg ⁺²	Ca ⁺²	NH ₄ ⁺	Na ⁺	
50	3.26	6	0.5	3.5	1	3.5	2	5.5	1	3	
75	3.26	8.6	0.75	5.25	1	5.25	3	8.25	1.5	3	
100	3.26	12	1	7	1	7	4	11	2	3	

Microelementos ppm											
SN (%)	Fe ⁺³	Mn ⁺²	H ₃ BO ₃	Zn ⁺²	Cu ⁺²	Mn ⁴⁺²	CE dS/m	pH			
50	1.5	0.74	0.14	0.12	0.06	0.04	1.5	5.9-6.1			
75	2.25	1.1	0.21	0.18	0.09	0.06	2.1	5.9-6.2			
100	3	1.48	0.28	0.24	0.12	0.08	12.7	5.9-6.3			

Cosecha

La cosecha se realizó cuando los frutos presentaron una coloración externa característica del genotipo, esto se realizó a los 90 días después del trasplante, se separaron y se marcaron las bolsas, para cada genotipo y por cada bloque, y su posterior evaluación en el laboratorio, se realizaron dos cortes durante el experimento.

Determinación de variables de rendimiento y comportamiento agronómico

Para determinar el rendimiento total en gramos por planta, se sumaron los rendimientos obtenidos de las cosechas realizadas para cada genotipo. Esta suma se realizó utilizando una báscula digital de la marca OHAUS® Scout®-Pro. Simultáneamente, se registró el número de frutos por planta (NFP). Para calcular el peso promedio de fruto (PPF), se dividió el rendimiento total de cada planta entre el número total de frutos recolectados de dicha planta.

La longitud del fruto (LF) medida en centímetros, se determinó utilizando un vernier de la marca Esteren®, este mismo instrumento se utilizó para medir el ancho en la base (AB), el ancho medio (AM), el grosor del mesocarpio (GM) y la

profundidad del cáliz (PC), todas expresadas en milímetros, se contabilizó el número de lóculos en cada fruto.

Para cuantificar los sólidos solubles totales en el fruto, se seleccionó al azar cuatro frutos por repetición que presentara madurez de cosecha y color verde, esta medición se realizó utilizando un refractómetro digital de la marca SOONDA®, modelo TD6010, y se expresó en grados Brix.

Con una cinta métrica graduada en centímetros de la marca Truper®, se midieron variables morfológicas y de comportamiento agronómico, como la altura total de la planta (AP) desde el suelo hasta la parte apical, así como la longitud y el ancho de la hoja (LH, AH), longitud de pedúnculo (LP). Además, se midió el grosor del tallo (GT) utilizando un vernier de la marca Truper®.

Análisis estadístico de los datos

El diseño experimental fue bloque completo al azar con tres repeticiones, el análisis de los datos se realizó utilizando un modelo estadístico de bloques completos al azar y para las variables significativas se realizó la comparación de medias, con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para resaltar la superioridad de los materiales. Para analizar las variables principales relacionadas con el rendimiento y orientar la selección de los genotipos se realizó el análisis de correlación Pearson (Shumbulo *et al.*, 2017). Además, se realizó el análisis de sendero (Espinoza-Romano, 2018) de RPP (variable dependiente), en cuyo caso se obtuvo el coeficiente de sendero (CS), tanto para los efectos directos como indirectos. Todos estos análisis se llevaron a cabo utilizando el software estadístico RStudio en su versión 2023.

Modelo estadístico de bloques completos al azar

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

Donde:

μ =media global

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} = = componente aleatorio del error

Fórmula del Coeficiente de Correlación de Pearson aplicada para a las variables

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{X})^2(y_i - \bar{Y})^2}}$$

Donde:

x_i y y_i son los valores individuales de las variables X y Y, respectivamente.

\bar{X} , \bar{Y} son las medias de las variables X y Y, respectivamente

Interpretación del Coeficiente de Correlación de Pearson

El valor de r oscila entre -1 y 1, e interpreta de la siguiente manera:

$r=1$: Correlación positiva perfecta. A medida que una variable aumenta, la otra también lo hace en una relación lineal perfecta.

$r=-1$: Correlación negativa perfecta. A medida que una variable aumenta, la otra disminuye en una relación lineal perfecta.

$r=0$: No hay correlación lineal entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables agronómicas

El análisis de varianza realizado (ANVA $p \leq 0.05$) para los genotipos e híbridos en chile poblano, en las variables de respuesta RPP, NFP y PPF no se detectaron diferencias significativas tal como se observa en el Cuadro 3, no obstante, los híbridos F402, CARR, G3 y G6, superan al G1 y G2 en más del 20%. Sin embargo comparando con otros estudios el NFP y RPP de criollos y el híbrido “Doroteo” este presentó 4.2 frutos por planta y el peso promedio por fruto oscilo de 6.69 a 24.8 g lo que sugiere que los materiales evaluados en este estudio son superiores a los que Toledo-Aguilar *et al.*, (2011b) estudiaron. Esta falta de significancia, probablemente se debe a que, los genotipos se encuentran en F_2 , por ende, es una respuesta esperada en los individuos, respuesta similar a la observada por Kesumawati *et al.*, (2023) donde sus resultados indican alta heredabilidad, consideró el peso de la fruta por planta en F_2 , de pimientos, lo que destaca es su similitud de respuesta comparado con los híbridos, además, las variables de rendimiento están en función de la genética de cada población por lo que, tiene potencial de rendimiento que es el principal objetivo en la mejora de este cultivo, además como son estadísticamente iguales a los híbridos comparados estos materiales tienen alto potencial para continuar con el programa de mejoramiento (Rodríguez Llanes *et al.*, 2014). En cuanto a número de frutos por planta, G6 es 24% superior al híbrido Carranza (CARR), lo que significa que G2 muestra potencial genético en este carácter, este atributo está directamente relacionado con el rendimiento, y es una variable determinante en la selección recurrente en los programas de mejoramiento (Monge-Pérez *et al.*, 2022), una respuesta similar se observó en la variable de peso promedio del fruto, sin embargo estudios parecidos se han realizado con la prueba de la F_2 donde los resultados indicaron que, en algunos casos, la progenie F_2 rindió tan bien como el progenitor híbrido F_1 (Bosland, 2005).

Para el caso de la variable número de lóculos (NL), existen diferencias significativas, en donde G3, G4, G5 y G6 son estadísticamente iguales a los

híbridos probados con dos lóculos en promedio por fruto (Cuadro 4), mientras que G2 y G1 tiene 2.5 y 2.2 lóculos respectivamente, en chile tipo poblano se busca que tengan dos lóculos o venas, dado que, la mayoría de los consumidores prefieren chiles poblanos con menos venas y semillas, esto puede hacer que sean más fáciles de limpiar y preparar para cocinar, no obstante, en contraste con algunos agricultores refieren que para chiles “anchos” deshidratados prefieren de tres venas, esto se debe a que los frutos con más lóculos tienden a ser más grandes y tener un mayor rendimiento en términos de peso seco (Guerra *et al.*, 2022), al final es una característica importante de seleccionar dependiendo del objetivo del mercado.

Aunque la variable de sólidos solubles totales (°Brix), no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos e híbridos tal como se observa en el Cuadro 3, es importante mencionar que, en un programa de selección y mejoramiento es importante considerar el contenido de sólidos solubles totales de los genotipos de chile poblano, especialmente si se busca aumentar su dulzura, sobre todo para chile “poblano” y picor medio si es para chile “ancho”. Por lo tanto, aunque no exista diferencias estadísticas entre los genotipos e híbridos, su inclusión en el análisis sigue siendo importante para evaluar el potencial de dulzura de los chiles poblanos y seleccionar aquellos que se alineen mejor con las preferencias de los mercados, y es una variable de calidad de fruto (Geleta & Labuschagne, 2006). De acuerdo con Geleta Geleta & Labuschagne, (2006), la heredabilidad de SST en pimientos, es un rasgo que permite la acumulación de genes favorables. Otros estudios en pimientos encontraron diferencias significativas en esta variable que oscilaba de 12 a 15 °Brix y es un factor importante para la industria (Braga *et al.*, 2013).

Cuadro 4 Análisis de varianza y comparación de medias de rendimiento y componentes, número de lóculos y sólidos solubles totales de seis genotipos y dos híbridos de chile poblano evaluados a campo abierto en Saltillo, Coahuila.

Genotipo	RPP (g – planta ⁻¹)	NFP	PPF (g)	NL (mm)	SST (°Brix)
CARR	801.53 a	14.86 a	53.62 a	2.11 b*	8.71 a
F402	694.18 a	15.16 a	67.87 a	2.03 b	8.89 a
G1	547.99 a	11.91 a	49.59 a	2.28 ab	10.43 a
G2	532.09 a	9.93 a	54.09 a	2.53 a	8.60 a
G3	693.82 a	15.81 a	44.61 a	2.22 b	8.70 a
G4	609.55 a	12.71 a	49.15 a	2.17 b	8.75 a
G5	657.33 a	13.74 a	47.11 a	2.17 b	8.68 a
G6	783.93 a	15.11 a	55.82 a	2.08 b	8.95 a
ANOVA <i>P</i> ≤	0.0515	0.3361	0.7911	0.0008	0.6674
DMS	299.28	8.94	48.84	0.28	3.58
CV %	15.61	22.73	32.15	4.48	13.85

*Letras diferentes en la misma columna, difieren estadísticamente (Tukey *p*≤ 0.05), DMS=Diferencia media significativa, CV= Coeficiente de variación, RPP=Rendimiento por planta, NFP=Número de fruto por planta, PPF= Peso por fruto, NL=Número de lóculos, SST= sólidos solubles totales

Con respecto a las variables de calidad del fruto, tal como se observa en la Figura 5A, existe diferencia significativa entre los genotipos y los híbridos en la variable de ancho de base de fruto, el híbrido CARR con 62.1 mm y F402 53.8 son estadísticamente iguales pero superiores al resto que oscilaba de 47.2 a 51.4 mm, Hernández *et al.*, (2021) reporta de 60 a 80 mm de longitud en condiciones de agricultura protegida, una tendencia similar se observó en ancho medio del fruto (Figura 5B), aunque en esta variable G4 y G6 también son similares a los híbridos probados, estas variables son de alta heredabilidad, pero también están sujetos a la variación ambiental en dónde se producen (Naegele *et al.*, 2016) ,

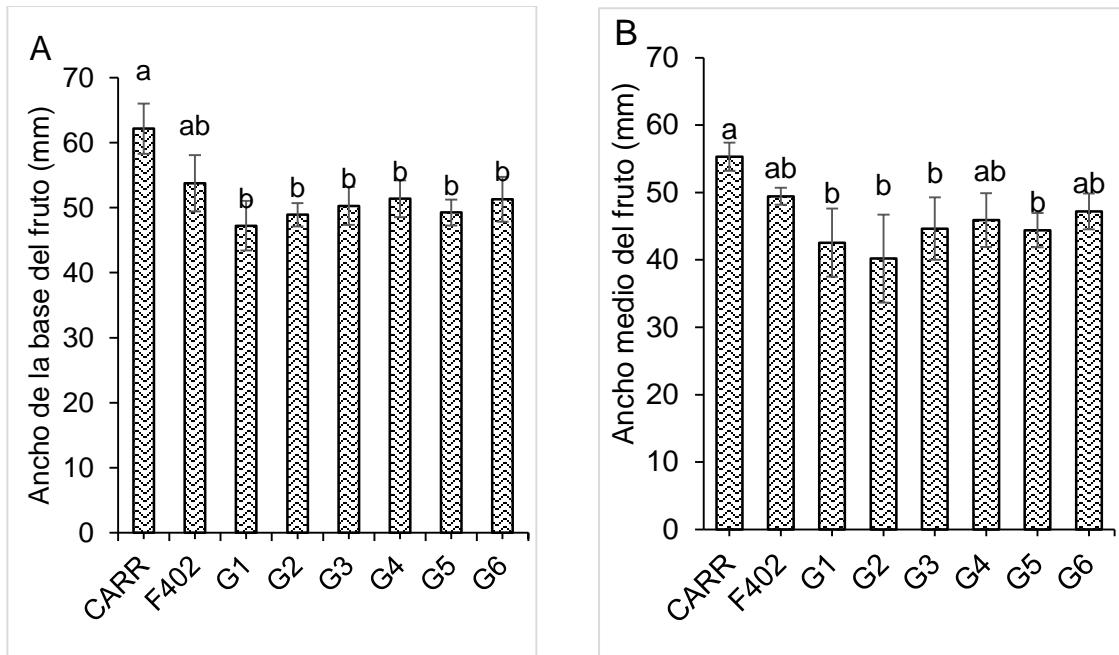


Figura 5. Comparación de medias de calidad de fruto de chile poblano en campo abierto. Ancho de la base del fruto (A), Ancho medio del fruto (B), barras verticales corresponden la desviación estándar.

En la variable de longitud de fruto (LF) de la Figura 6A, se observa que G2, G5 y G6 son estadísticamente iguales al híbrido CARR, en tanto que el resto de los genotipos y el híbrido F402 mostraron resultados inferiores cabe señalar que Santiago *et al.*, (2018) reporta que el híbrido HAP14F de 13.95 cm de largo y la variedad AP-VR de 14 cm comparado a los rangos que oscilan los genotipos evaluados, se puede concluir que hay potencial para el desarrollo de nuevos materiales. Respecto a la variable de profundidad del cáliz (Figura 6B) los genotipos G1, G3 y G4 son estadísticamente iguales al híbrido CARR, el resto de los genotipos y F402 son de menor profundidad del cáliz.

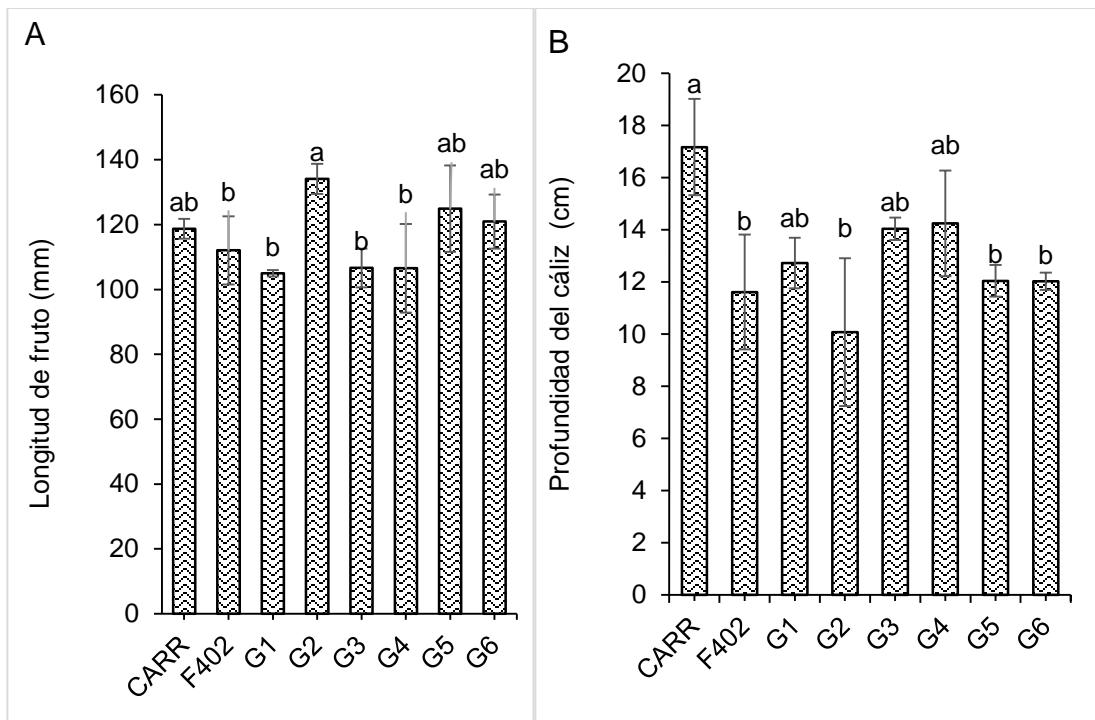


Figura 6 Comparación de medias de calidad de fruto de chile poblano en campo abierto. Longitud de fruto (A), Profundidad de cáliz (B) barras verticales corresponden la desviación estándar.

En la variable de longitud de pedúnculo (Figura 7A), se observa que, a excepción de G4, el resto de los genotipos mostraron una respuesta estadística similar entre sí, en cuanto a grosor de mesocarpio, los mejores genotipos fueron G2, G4, G6 ya que mostraron una respuesta estadística similar a los híbridos (Figura 7B) este carácter es importante porque a mayor grosor mejor calidad de fruto deshidratado(Berríos-Ugarte *et al.*, 2007; Pandiyaraj *et al.*, 2017), estas variables son de gran importancia porque son indicadores de calidad del fruto, de acuerdo a la Norma oficial Mexicana NMX-FF-025-SCFI-2014 emitida por la secretaría de economía en el 2014.

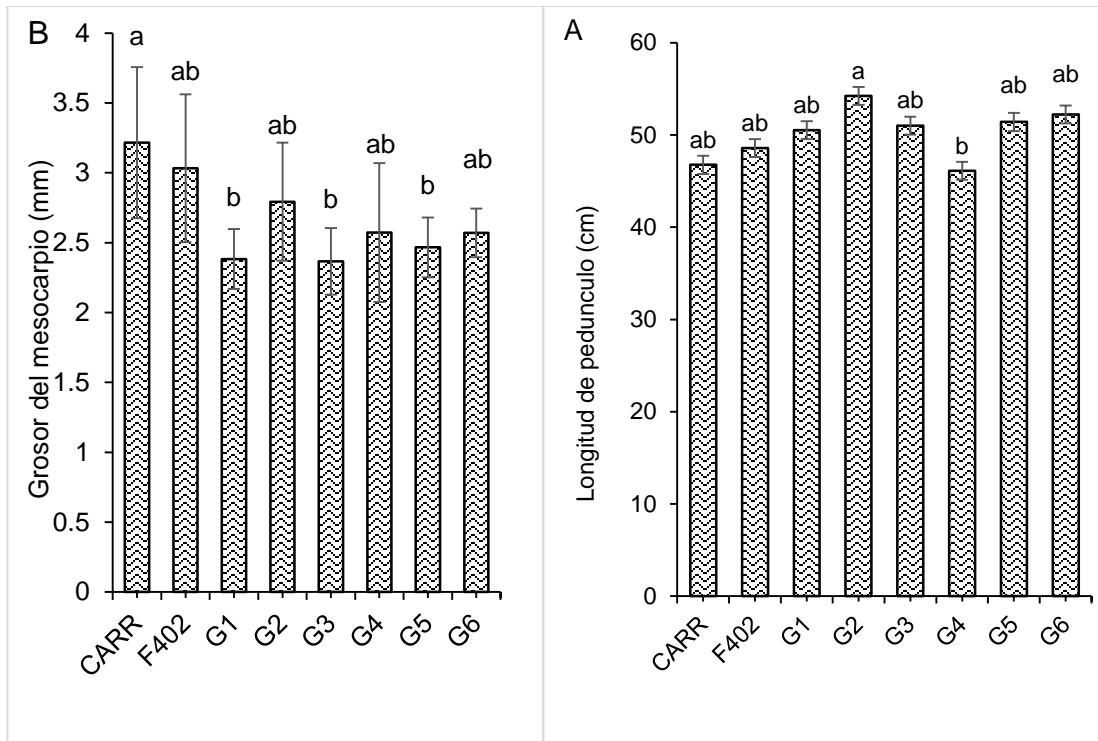


Figura 7. Comparación de medias de calidad de fruto de chile poblano en campo abierto, Longitud de pedúnculo (A), Grosor del mesocarpio (B), barras verticales corresponden la desviación estándar.

Variables morfológicas

En la variable altura de planta, no se encontró diferencia significativa entre los genotipos e híbridos evaluados, como se observa en el Cuadro 5, sin embargo, las alturas de los genotipos evaluados oscilan en 110.48 a 121.46 cm que es mayor a lo encontrado por (Toledo-Aguilar *et al.*, 2011) que reportaron 37.9 a 56.8 cm. las variables de tipo morfológica son un indicativo de producción de los cultivos, ya que, representan vigor encadenado a los procesos fisiológicos, el grosor de tallo es un ejemplo claro de ello, en donde no se detectó diferencia estadística y las medidas oscilaron de 14.9 a 16.3 mm, el grosor del tallo, es uno de los parámetros morfofisiológicos utilizados para evaluar la diversidad genética y la heredabilidad de los genotipos del chile (Pandiyaraj *et al.*, 2017). Ya que es un rasgo que puede contribuir a la selección de padres y líneas endogámicas genéticamente superiores para la reproducción debido al vigor (Vinodhini *et*

al., 2019), además, es un rasgo hortícola que puede asociarse con otras características importantes, como la altura de la planta, el número de ramas y el rendimiento (M. R. Karim & Nesa, 2021).

La longitud del pecíolo foliar se puede utilizar como parámetro para evaluar la salud y el crecimiento de las plantas, ya que, está relacionado con la respuesta de la planta a la intensidad de la luz (Tsukaya *et al.*, 2002), los resultados obtenidos en esta variable indican que a excepción de G2, todos obtuvieron el mismo resultado estadístico con valores de 59.89 a 75.07 mm, esto indica que existe potencial del material genético evaluado y comparado con el comercial y es factible incluirlos para continuar con el programa de mejoramiento genético.

Cuadro 5. Análisis de varianza y comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de variables morfológicas de seis genotipos y dos híbridos de chile poblano evaluados a campo abierto en Saltillo, Coahuila.

Genotipo	AT (cm)	GT (mm)	LH (mm)	PLO (mm)	AH (mm)
CARR	110.49 a	16.26 a	94.60 a	75.07 a*	42.03 a
F402	99.79 a	15.17 a	96.37 a	69.78 ab	42.36 a
G1	121.46 a	15.23 a	91.93 a	64.93 ab	44.33 a
G2	132.15 a	16.03 a	93.38 a	59.62 b	46.43 a
G3	120.63 a	14.94 a	90.16 a	66.59 ab	42.47 a
G4	127.98 a	14.85 a	89.23 a	67.25 ab	43.48 a
G5	122.40 a	15.38 a	92.09 a	64.98 ab	39.03 a
G6	110.48 a	15.53 a	83.40 a	59.89 a	39.41 a
ANOVA $P \leq 0.05$	0.07160	0.36015	0.40200	0.01423	0.09446
DMS	33.62	2.27	18.65	12.73	8.12
CV %	9.87	5.11	7.08	6.70	6.64

Letras diferentes en la misma columna, difieren estadísticamente (Tukey $p \leq 0.05$), DMS=Diferencia media significativa, CV= Coeficiente de variación, AT=Altura total, GT=Grosor de tallo, LH= Largo de hoja, PLO=Longitud de pecíolo, AH=Ancho de hoja.

Coeficientes de correlación

Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson de las variables evaluadas (Figura 8), tales correlaciones constituyen una medida de la magnitud de la asociación lineal entre 2 variables, sin considerar causa y efecto entre ellas, independientemente de las unidades de medida. Entre las variables de los componentes de rendimiento, la correlación más alta correspondió al rendimiento cosechado por cada planta (RPP) con el número de frutos por planta ($r=0,66^{**}$), seguido de grosor de mesocarpio (0.46**) y ancho de la base del fruto con (0.38*) de la Figura 6. Los resultados son similares a los reportados por (Monge-Pérez *et al.*, 2022), donde obtuvieron una correlación positiva y altamente significativa entre rendimiento comercial y número de frutos por planta ($r = 0,51^{**}$), lo que significa que, el rendimiento esta correlacionado en la selección de estas variables. El mejoramiento genético de los chiles también implica utilizar el análisis de correlación, para comprender las relaciones entre los diferentes rasgos para una selección eficaz y el avance generacional, varios estudios han demostrado correlaciones positivas entre características como el rendimiento, la longitud del fruto y la cantidad de semillas por fruto (Islam *et al.*, 2023; M. R. Karim & Nesa, 2021). Además, se han observado correlaciones genotípicas y fenotípicas entre características como la altura de la planta, el peso del fruto y diversos contenidos bioquímicos como el ácido ascórbico y la capsaicina (Rahevar *et al.*, 2019). Al analizar las interrelaciones entre las diferentes características fenotípicas, los fitomejoradores pueden tomar decisiones informadas para mejorar los atributos, sobre todo el rendimiento y calidad de frutos.

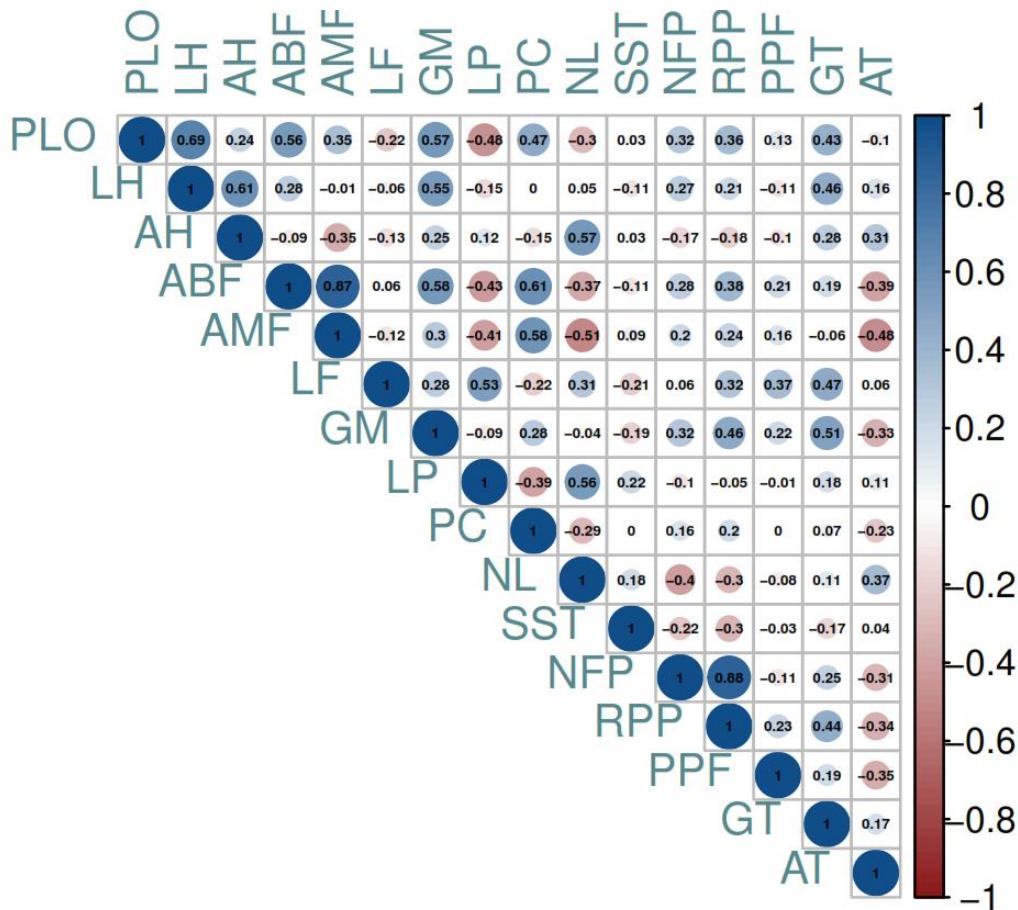


Figura 8. Correlograma de Pearson, PLO= peciolo, LH=longitud de hoja, AH=ancho de la hoja, ABF=ancho de la base del fruto, AMF=ancho medio del fruto, LF=, Longitud del fruto, GM= Grosor del mesocarpio, LP=Longitud de pedúnculo, NL=Número de lóculos, SST= Sólidos s solubles totales, NFP=Número de frutos por planta, RPP= Rendimiento por planta, PPF= peso promedio por fruto, GT= Grosor de tallo, AT= Altura total.

Análisis de sendero

En el cuadro 6 se presentan los coeficientes de sendero (CS) estimados de los efectos directos e indirectos de las variables evaluadas respecto al rendimiento de la planta y de acuerdo a las variables evaluadas, el principal efecto directo positivo fue peso promedio de fruto (CS=3.235), además el grosor de mesocarpio (CS=0.160) y número de frutos por planta (CS=0.007) esto indica que estas variables para este estudio ejercen un efecto positivo e indica que son caracteres importantes para la selección genética en las investigaciones de fitomejoramiento en esta especie (Monge-Pérez *et al.*, 2022), estudios con resultados similares destacan que es justamente peso promedio del fruto tienen un efecto positivo principal (Bundela *et al.*, 2018; Dolkar *et al.*, 2016), la variable que tiene un efecto negativo en el rendimiento por planta fue de SST(-0.061).

Cuadro 6. Coeficientes de sendero (CS) estimados de los efectos directos e indirectos de las variables sobre el rendimiento por planta RPP (kg planta⁻¹) en chile poblano.

	RPP	P(> z)
PLO	0.013	0.056 ^{ns}
LH	-0.009	0.095 ^{ns}
AH	0.004	0.721 ^{ns}
ABF	-0.010	0.436 ^{ns}
AMF	0.018	0.111 ^{ns}
LF	-0.002	0.64 ^{ns}
GM	0.160	0.029 ^{**}
LP	0.011	0.221 ^{ns}
PC	-0.011	0.321 ^{ns}
NL	0.267	0.186 ^{ns}
SST	-0.061	0.002 ^{**}
NFP	0.007	0.00 ^{**}
PPF	3.235	0.032 ^{**}
GT	0.031	0.269 ^{ns}
AT	0.003	0.189 ^{ns}

PLO= peciolo, LH=longitud de hoja, AH=ancho de la hoja, ABF=ancho de la base del fruto, AMF=ancho medio del fruto, LF=, Longitud del fruto, GM= Grosor del mesocarpio, LP=Longitud de pedúnculo, NL=Número de lóculos, SST= Sólidos s solubles totales, NFP= Número de frutos por planta, RPP= Rendimiento por planta, PPF= peso promedio por fruto, GT= Grosor de tallo, AT= Altura total, ^{ns}: no significativa; ^{*}: significativa ($p \leq 0,05$); ^{**}.

DISCUSIÓN

Con los resultados encontrados de los genotipos probados, los rendimientos y las características similares con los híbridos comparados, se indica que tienen alto potencial genético para seguir en el programa de mejoramiento por selección de individuos dentro de los genotipos. Esto reduciría los años necesarios para estabilizar líneas que servirían para generar alguna variedad o híbrido. Al igual que otras investigaciones similares que hagan frente a las problemáticas actuales puede ser factible. Estos resultados indican el potencial para coadyuvar en la problemática de baja producción, generando materiales sobresalientes. Esto también se debe a que los materiales con los que se inició el programa son materiales criollos colectados con agricultores. Además, el peso de los frutos por planta, el número de frutos por planta, el grosor del mesocarpio y el diámetro de los frutos son caracteres con altos valores de heredabilidad, por lo que pueden ser utilizados como referencia para seleccionar otros rasgos como de resistencia a virus (Kesumawati *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

La respuesta agronómica de los genotipos y los híbridos fue similar en algunas de las variables de respuesta, pero diferente en otras, en las variables morfológicas también mostraron respuesta similar, por lo tanto, se infiere que, los genotipos (G2, G4 y G6) tienen potencial genético que puede ser de utilidad para continuar con el programa de mejora genética.

La similitud en la respuesta agronómica y morfológica entre el híbrido comercial y el experimental es similar, lo que indica el potencial genético del híbrido experimental.

La correlación entre las variables evaluadas reveló que el número de frutos por planta, longitud de fruto, grosor del mesocarpo, ancho de la base del fruto son variables que contribuyen en mayor medida al rendimiento.

Estos hallazgos proporcionan información valiosa para el programa de mejoramiento genético, destacando los genotipos prometedores y las variables clave a tener en cuenta en futuras evaluaciones a fin de comprender de manera clara su desempeño.

REFERENCIAS

- Ananya, R. K., Peerajade, D. A., Satisch, D., Jagadeesha, R. C., Waseem, M. A., Shivayogi , R., & Ajjappalavar, P. S. (2020). Genetic Diversity Studies in Green Chilli (*Capsicum annuum* L.) for Growth, Yield and Quality Parameters. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(12), 3580–3586. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.912.426>
- Andrade-Hoyos, P., Luna-Cruz, A., Osorio-Hernández, E., Molina-Gayosso, E., Landero-Valenzuela, N., & Barrales-Cureño, H. J. (2019). *Antagonismo de Trichoderma spp. Vs hongos asociados a la marchitez de chile | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1326>
- Bailey-Serres, J., Parker, J. E., Ainsworth, E. A., Oldroyd, G. E. D., & Schroeder, J. I. (2019). Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*, 575(7781), Article 7781. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1679-0>
- Barboza, G. E., García, C. C., Bianchetti, L. de B., Romero, M. V., & Scaldaferro, M. (2022). Monograph of wild and cultivated chili peppers (*Capsicum* L., Solanaceae). *PhytoKeys*, 200, 1–423. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.200.71667>
- Barka, G. D., & Lee, J. (2020). Molecular Marker Development and Gene Cloning for Diverse Disease Resistance in Pepper (*Capsicum annuum* L.): Current Status and Prospects. *Plant Breeding and Biotechnology*, 8(2), 89–113. <https://doi.org/10.9787/PBB.2020.8.2.89>
- Berríos-Ugarte, M. E., Arredondo Belmar, C., & Tjalling Holwerda, H. (2007). *Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad*. <https://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/Nutricion-Vegetal-en-pimiento.pdf>

- Bosland, P. W. (2005). Second Generation (F2) Hybrid Cultivars for Jalapeño Production. *HortScience*, 40(6), 1679–1681. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.6.1679>
- Braga, T. R., Pereira, R. C. A., Silveira, M. R. S., Silva, L. R., Silva, A. R., & Oliveira, M. M. T. (2013). Caracterização físico-química de progêneres de pimentas (*Capsicum frutescens* L.) cultivadas em Paraipaba, CE. *Scientia Plena*, 9(5), Article 5. <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/846>
- Bundela, M. K., Pant, S. C., Huri, M., & Singh, K. (2018). Correlation and Path Coefficient Analysis in Chilli (*Capsicum annuum* L.) for Yield and Yield Attributing Traits. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), 77–82. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.011>
- Carrillo-Martínez, C. J., Álvarez-Fuentes, G., & Aguilar-Benítez, G. (2022). Análisis de la calidad del suelo bajo producción intensiva de chile (*Capsicum annuum* L.) en la región irrigada por el acuífero, Calera, Zacatecas, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.942>
- Chhapekar, S., Kehie, M., & Ramchiary, N. (2016). Advances in Molecular Breeding of *Capsicum* Species. *Daya Publishing House: Darya Ganj*, 233–274.
- Chhapekar, S. S., Jaiswal, V., Ahmad, I., Gaur, R., & Ramchiary, N. (2018). Progress and Prospects in *Capsicum* Breeding for Biotic and Abiotic Stresses. En S. Vats (Ed.), *Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants* (pp. 279–322). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_11
- Constantino, L. V., Fukuji, A. Y. S., Zeffa, D. M., Baba, V. Y., Erpen-Dalla Corte, L., Giacomin, R. M., Resende, J. T. V., & Gonçalves, L. S. A. (2020). Genetic variability in peppers accessions based on morphological, biochemical and molecular traits. *Bragantia*, 79, 558–571. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190525>
- Dolkar, R., Manjunath, G., Hussain, S., Madalageri, M. B., & Sunnia, G. (2016). Correlation and path analysis for growth, earliness, yield, fruit and seed

- quality parameters in Chilli (*Capsicum annuum* L.). *Ecology, Environment and Conservation*, 22, 851–857.
- Duvick, D. N. (2007). Breeding of Plants. En *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 1–12). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-226865-2/00038-9>
- Espinoza-Romano, V. (2018). Construcción y análisis de los coeficientes de sendero. *Acta Nova*, 8(4), 517–535. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1683-07892018000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- FAOSTAT. (2022). https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity
- Geleta, L. F., & Labuschagne, M. T. (2006). Combining ability and heritability for vitamin C and total soluble solids in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(9), 1317–1320. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2494>
- González-Chavira, M. M., Guerrero-Aguilar, B. Z., Pons-Hernández, J. L., Escobedo-Landín, M. de los Á., García-Reyna, J. F., Mora-Avilés, M. A., González-Chavira, M. M., Guerrero-Aguilar, B. Z., Pons-Hernández, J. L., Escobedo-Landín, M. de los Á., García-Reyna, J. F., & Mora-Avilés, M. A. (2023). Inducción de embriones androgénicos y regeneración de plantas haploides en genotipos experimentales de chile poblano a través de cultivo de anteras. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(2), 277–287. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3054>
- Guerra, M., Gómez, R. M., Sanz, M. Á., Rodríguez-González, Á., & Casquero, P. A. (2022). Effect of Fruit Weight and Fruit Locule Number in Bell Pepper on Industrial Waste and Quality of Roasted Pepper. *Horticulturae*, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050455>
- Hernández, H. B. N., Tornero, C. M. A., Sandoval, C. E., Rodríguez, M. M. de las N., Taboada, G. O. R., & Peña, P. B. V. (2021). *Crecimiento, rendimiento y calidad de chile poblano cultivado en hidroponía bajo invernadero / Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2755>

- Herrera-Fuentes, E. F., López-Sánchez, H., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Santacruz-Varela, A., Díaz-Cervantes, R., Herrera-Fuentes, E. F., López-Sánchez, H., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Santacruz-Varela, A., & Díaz-Cervantes, R. (2023). The 'Poblano' chili production system: Characteristics and stratification of farmers. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(SPE29). <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3550>
- Islam, K., Momo, J., Rawoof, A., Vijay, A., Anusree, V. K., Kumar, A., & Ramchiary, N. (2023). Integrated Use of Molecular and Omics Approaches for Breeding High Yield and Stress Resistance Chili Peppers. En S. Singh, D. Sharma, S. K. Sharma, & R. Singh (Eds.), *Smart Plant Breeding for Vegetable Crops in Post-genomics Era* (pp. 279–335). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5367-5_12
- Karim, K. M. 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), Article 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112217>
- Karim, M. R., & Nesa, M. (2021). Genetic Variability, Character Association and Path Aoefficient Analysis of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Germplasms. *Journal of Science and Technology Research*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.3329/jscitr.v3i1.62811>
- Kesumawati, E., Haidar, Y., Pohan, N. S., Hadisah, N., Jannah, R., Hayati, R., Khalil, M., Nura, N., Efendi, E., Mayani, N., Hayati, E., Nurhayati, Jalil, M., & Fitrial, F. (2023). Estimation of the genetic parameters of hybridized peppers (*Capsicum annuum* L.) F2 progeny begomovirus resistance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1183(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1183/1/012042>
- Khan, N. (2019). Comparative analysis of mineral content and proximate composition from chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) germplasm. *Pure and Applied Biology*, 8(2). <https://doi.org/10.19045/bspab.2019.80075>

- Komala, M., Lakshmi, K. S., & Madhavi, N. (2023). Recent Advances in Crop Improvement of Chilli (*Capsicum annuum* L.) for High Fruit Yield and Quality. *Journal of Experimental Agriculture International*, 45(8), 21–29. <https://doi.org/10.9734/jeai/2023/v45i82151>
- Kraft, K. H., Brown, C. H., Nabhan, G. P., Luedeling, E., Luna Ruiz, J. de J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Hijmans, R. J., & Gepts, P. (2014). Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6165–6170. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>
- Lopez-Moreno, H., Basurto-Garduño, A. C., Torres-Meraz, M. A., Diaz-Valenzuela, E., Arellano-Arciniega, S., Zalapa, J., Sawers, R. J. H., Cibrián-Jaramillo, A., & Diaz-Garcia, L. (2023). Genetic analysis and QTL mapping of domestication-related traits in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Frontiers in Genetics*, 14. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1101401>
- Lozada, D. N., Bhatta, M., Coon, D., & Bosland, P. W. (2021). Single nucleotide polymorphisms reveal genetic diversity in New Mexican chile peppers (*Capsicum* spp.). *BMC Genomics*, 22(1), 356. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07662-7>
- Mangal, M., K P, S., Srivast, A., Khar, A., Jain, N., Jain, P. K., Bharti, H., & Harun, M. (2023). *Haploid induction through microspore embryogenesis in Bell pepper genotypes*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2571870/v1>
- Medina-García, G., Mena-Covarrubias, J., Ruiz-Corral, J. A., & Rodríguez-Moreno, V. M. (2017). *El cambio climático afecta el número de horas de los rangos térmicos del chile en el norte-centro de México* Climate change affects the number of hours in the thermal ranges of chilli in North-Central Mexico.*
- Mejia, L. a., Hudson, E., De Mejia, E. G., & Vazquez, F. (1988). Carotenoid Content and Vitamin A Activity of Some Common Cultivars of Mexican Peppers (*Capsim annuum*) as Determined by HPLC. *Journal of Food Science*, 53(5), 1440–1443. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb09295.x>

- Mohan Rao, A., & Anilkumar, C. (2020). Conventional and Contemporary Approaches to Enhance Efficiency in Breeding Chilli/Hot Pepper. En S. S. Gosal & S. H. Wani (Eds.), *Accelerated Plant Breeding, Volume 2: Vegetable Crops* (pp. 223–269). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47298-6_9
- Monge-Pérez, J. E., Elizondo-Cabalceta, E., Loría-Coto, M., Monge-Pérez, J. E., Elizondo-Cabalceta, E., & Loría-Coto, M. (2022). Correlación y análisis de coeficiente de sendero en chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(1), 128–138. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5335>
- Montalvo-González, E., González-Espinoza, N. G., García-Galindo, H. S., Tovar-Gómez, B., & Mata-Montes De Oca, M. (2009). EFFECT OF EXOGENOUS ETHYLENE ON DEGREENING OF 'POBLANO' PEPPER POSTHARVEST ABSTRACT. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XV(2), 189–197. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.15.026>
- Naegele, R. P., Mitchell, J., & Hausbeck, M. K. (2016). Genetic Diversity, Population Structure, and Heritability of Fruit Traits in *Capsicum annuum*. *PLOS ONE*, 11(7), e0156969. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156969>
- Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2018). The suitability of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) for alleviating human micronutrient dietary deficiencies: A review. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2239–2251. <https://doi.org/10.1002/fsn3.790>
- Padilha, H. K. M., & Barbieri, R. L. (2016). Plant breeding of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae) – A review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*.
- Pandiyaraj, P., Lakshmanan, V., Saraladevi, D., & Juliet Hepziba, S. (2017). Analysis of Genetic Variability for Quantitative Traits in Chilli Germplasm. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12), 1648–1653. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.185>

- Pérez Carrasco, L. J., Tornero Campante, M. A., Escobedo Garrido, J. S., & Sandoval Castro, E. (2017). El chile poblano criollo en la cultura alimentaria del Alto Atoyac. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 27(49), 47–66.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-45572017000100047&lng=es&nrm=iso&tlang=es
- Perry, L., & Flannery, K. V. (2007). Precolumbian use of chili peppers in the Valley of Oaxaca, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(29), 11905–11909.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0704936104>
- Pons-Hernández, J. L., Guerrero-Aguilar, B. Z., González-Chavira, M. M., González-Pérez, E., Villalobos-Reyes, S., & Muñoz-Sánchez, C. (2021). *Variabilidad fenotípica de aislados de Phytophthora capsici en Guanajuato* / Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2618>
- Purkayastha, J., Alam, S. I., Gogoi, H. K., Singh, L., & Veer, V. (2012). Molecular characterization of “Bhut Jolokia” the hottest chilli. *Journal of Biosciences*, 37(4), 757–768. <https://doi.org/10.1007/s12038-012-9249-8>
- Rahevar, P. M., Patel, J. N., Kumar, S., & Acharya, R. R. (2019). Morphological, biochemical and molecular characterization for genetic variability analysis of *Capsicum annuum*. *Vegetos*, 32(2), 131–141. <https://doi.org/10.1007/s42535-019-00016-5>
- Ramalho do Rêgo, E., & Monteiro do Rêgo, M. (2016). Genetics and Breeding of Chili Pepper *Capsicum* spp. En E. Ramalho do Rêgo, M. Monteiro do Rêgo, & F. L. Finger (Eds.), *Production and Breeding of Chilli Peppers (Capsicum spp.)* (pp. 57–80). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8_4
- Ramírez-Vallejo, P., Barrios-Carrada, L., Jiménez-Juárez, E., & Zavala-García, F. (2000). *Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura* (Informe Nacional Primera edición; Servicio Nacional de

- Inspección y Certificación de Semillas, p. 188). Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/317882/Informe_Nacional_RFAA_2000.pdf
- Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos.* (s/f). Recuperado el 7 de marzo de 2024, de
<https://www.rua.unam.mx/index.php?page=estaciones&id=10#>
- Ro, N.-Y., Sebastin, R., Hur, O.-S., Cho, G.-T., Geum, B., Lee, Y.-J., & Kang, B.-C. (2021). Evaluation of Anthracnose Resistance in Pepper (*Capsicum* spp.) Genetic Resources. *Horticulturae*, 7(11), 460. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110460>
- Rodríguez, J., Olvera, B. V. P., Muñoz, A. G., Corona, B. M., Manzo, F., & Liendo, L. S. (2007). Rescate in situ del chile 'poblano' en Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 25–32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61030103>
- Rodríguez Llanes, Y., Depestre Manso, T. L., & Palloix, A. (2014). Comportamiento en campo abierto de nuevos híbridos f1 y variedades de pimiento (*Capsicum annuum* L.) Multirresistentes a virus. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 51–59. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362014000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Santiago, L., Ulises, Ramírez Meraz, M., & Méndez Aguilar, R. (2018). *HAP14F: Híbrido de chile ancho poblano para el Altiplano de México | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1088>
- Selvakumar, R., Manjunathagowda, D. C., Singh, P. K., Selvakumar, R., Manjunathagowda, D. C., & Singh, P. K. (2022). *Capsicum: Breeding Prospects and Perspectives for Higher Productivity.* En *Capsicum—Current Trends and Perspectives.* IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104739>

- Shumbulo, A., Nigussie, M., & Alamerew, S. (2017). Correlation and Path Coefficient Analysis of Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes for Yield and its Components in Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 05(03). <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000277>
- SIAP. (2022). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Srivastava, A., & Mangal, M. (2019). Capsicum Breeding: History and Development. En N. Ramchiary & C. Kole (Eds.), *The Capsicum Genome* (pp. 25–55). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_3
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., Antonio López, P., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Santacruz-Varela, A., & Huerta-de la Peña, A. (2011a). Características vegetativas, reproductivas y de rendimiento de fruto de variedades nativas de chile “poblano”. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(3), 139–150. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2011000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., Antonio López, P., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Santacruz-Varela, A., & Huerta-de la Peña, A. (2011b). Características vegetativas, reproductivas y de rendimiento de fruto de variedades nativas de chile “poblano”. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(3), 139–150. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2011000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Tripodi, P., Acquadro, A., Lanteri, S., & D'Agostino, N. (2019). Genome Sequencing of *Capsicum* Species: Strategies, Assembly, and Annotation of Genes. En N. Ramchiary & C. Kole (Eds.), *The Capsicum Genome* (pp. 139–152). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_8

- Tsukaya, H., Kozuka, T., & Kim, G.-T. (2002). Genetic control of petiole length in *Arabidopsis thaliana*. *Plant & Cell Physiology*, 43(10), 1221–1228. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcf147>
- Vinodhini, M., Dalvi, V. V., Desai, S. S., & Sawardekar, S. V. (2019). Genetic Diversity Analysis in CMS Lines of Chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(06), 649–654. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.075>