

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



PRODUCCIÓN DE CHILE MORRÓN (*Capsicum annuum* L.) DE
ESPECIALIDADES BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Tesis

Que presenta JOSÉ PABLO COLLAZO GÁMEZ
como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

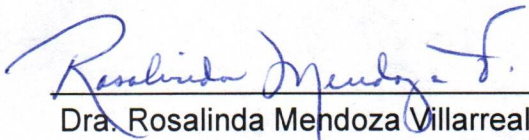
PRODUCCIÓN DE CHILE MORRÓN (*Capsicum annuum* L.) DE
ESPECIALIDADES BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Tesis

Elaborada por JOSÉ PABLO COLLAZO GÁMEZ como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría

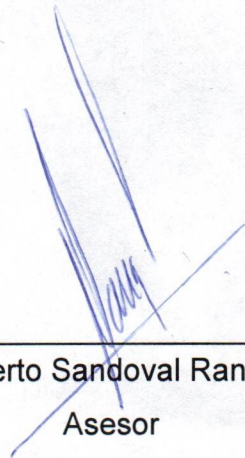


Dr. Valentín Robledo Torres
Director de Tesis



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Asesor



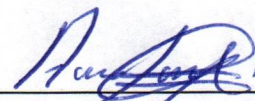
Dr. Alberto Sandoval Rangel

Asesor



Dr. Neymar Camposeco Montejo

Asesor



Dra. Areli González Cortes

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi Alma Mater la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por haberme recibido, cobijado y darme noblemente todo lo que necesitaba para realizar este postgrado.

Quedo inmensamente agradecido con mis maestros, asesores, amigos y compañeros por estar ahí cuando los necesitaba, por su apoyo, enseñanzas y sobre todo hacerme ver que hay más mundos que el mío.

Gracias infinitas a mi familia, POR TODO. Siempre los llevaré conmigo.

ÍNDICE GENERAL

Lista de Cuadros	V
Lista de Figuras	VI
Resumen	VII
Abstract.....	X
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Producción del chile en México	4
Producción del Chile en el Mundo	5
Variabilidad genética del chile y su importancia en la agricultura.....	6
Mejoramiento genético de chile	8
Importancia del uso de semillas mejoradas en la agricultura	9
Uso e importancia de especialidades en chile	10
Importancia de la agricultura protegida a nivel mundial	12
Establecimiento del experimento	16
Materiales utilizados	16
Labores de cultivo	17
Variables estudiadas	17
Días a Floración (DF)	17
Altura de la Planta (ADP)	18
Número de Frutos por Planta (NFP).....	18

Peso Promedio de fruto (PPF)	18
Rendimiento Total de Fruto (RTF).....	18
Largo de Fruto (LF)	18
Diámetro ecuatorial de Fruto (AF)	18
Sólidos Solubles Totales (SST).....	18
Vitamina C (VC)	18
Firmeza de Fruto (FF)	19
Análisis estadístico	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
Parámetros agronómicos.....	20
Días a Floración	20
Altura de la planta (ADP).....	21
Rendimiento y componentes de rendimiento.....	22
Número de Frutos por Planta (NFP).....	22
Peso Promedio de fruto (PPF)	24
Rendimiento Total de Fruto (RTF).....	25
Calidad de fruto	26
Longitud de Fruto (LF).....	26
Diámetro ecuatorial de Fruto (AF)	28
Sólidos Solubles Totales (SST).....	29
Firmeza de Fruto (FF)	33
REFERENCIAS	36

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Especies y nombres comunes de chiles utilizados en México	12
Cuadro 2. Modalidades de agricultura en México en 2022.....	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de la floración de los diferentes cultivares establecidos en invernadero y malla sombra.....	20
Figura 2. Altura promedio de la planta de los cultivares establecidos en dos ambientes de producción.....	20
Figura 3. Número de frutos por planta de los materiales establecidos en los dos ambientes de producción	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. El peso promedio de los frutos obtenidos en ambos ambientes de producción.	22
Figura 5. Rendimiento total de frutos obtenidos de los materiales establecidos en dos ambientes de producción.	25
Figura 6. Largo promedio de los frutos de chiles establecidos en invernadero y malla sombra.....	26
Figura 7. Ancho de frutos de chile obtenidos de los cultivos establecidos en invernadero y malla sombra.....	28
Figura 8. Contenido de sólidos solubles totales en frutos de chile, establecido en malla sombra e invernadero.....	29
Figura 9. Contenido de Vitamina C en frutos frescos de chiles producidos en invernadero y malla sombra.....	32
Figura 10. Firmeza de los frutos obtenidos de los diferentes chiles establecidos en invernadero y malla sombra.....	33

RESUMEN

PRODUCCIÓN DE CHILE MORRÓN (*Capsicum annum* L.) DE
ESPECIALIDADES BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Por

JOSÉ PABLO COLLAZO GÁMEZ
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRIARI ANTONIO NARRO
DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES- ASESOR

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

El chile (*Capsicum annuum* L.) es una especie de gran importancia a nivel global, por su aportación nutrimental y sus diversos usos gastronómicos, que han incrementado su demanda y como resultado, actualmente se han creado líneas llamadas “especialidades”. Otro de los efectos de la demanda de este producto, aunado a los nuevos retos que presenta el cambio climático, es el incremento del uso de la agricultura protegida en todas sus vertientes, por lo que el objetivo de esta investigación es evaluar la producción de pimientos de especialidad bajo diferentes sistemas de agricultura protegida. El trabajo consistió en la utilización de seis cultivares sometidos a dos ambientes de producción (invernadero y malla sombra). Los rendimientos observados en el presente trabajo de investigación, permiten afirmar que con el cultivar AWAKINO F1 fue posible lograr altos rendimientos en invernadero (169,776 Kg•ha⁻¹ o malla sombra (126,132 Kg•ha⁻¹), superando significativamente los rendimientos medios nacionales para el cultivo de chile. Además, se observaron diferencias significativas en atributos de calidad, sin embargo, solo en SST y VC se encontraron diferencias significativas debido al efecto ambiental generado en los dos tipos de cubiertas estudiadas.

En base a los resultados observados es posible concluir que los cultivares XALAPA, AWAKINO F1 y UANM84 mantienen su calidad y rendimiento en los dos ambientes bajo estudio. Por lo tanto, estos sistemas de producción pueden ser una buena alternativa para producción de *Capsicum annuum*.

Palabras clave: ambientes de producción, *Capsicum annuum*, sustentabilidad.

ABSTRACT

PRODUCTION OF SPECIALTY BELL PEPPER (*Capsicum annuum* L.)
UNDER DIFFERENT PRODUCTION SYSTEMS

By

JOSÉ PABLO COLLAZO GÁMEZ
MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE

AUTONOMOUS AGRARIAN UNIVERSITY ANTONIO NARRO

DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES – ADVISOR

The chili pepper (*Capsicum annuum* L.) is a species of great global importance due to its nutritional contribution and diverse gastronomic uses, which have increased its demand. As a result, specialty pepper lines have now been developed. Another effect of this growing demand, together with the new challenges posed by climate change, is the increased use of protected agriculture in all its forms. Therefore, the objective of this research is to evaluate the production of specialty peppers under different protected agriculture systems. The study involved the use of six cultivars grown under two production environments (greenhouse and shade mesh). The yields observed in this research allow us to state that the cultivar AWAKINO F1 achieved high yields in the greenhouse (169,776 kg·ha⁻¹) and under shade mesh (126,132 kg·ha⁻¹), significantly surpassing the national average yields for chili pepper cultivation. Significant differences in quality attributes were also observed; however, only in TSS and VC were significant differences found due to the environmental effect generated by the two types of covers evaluated.

Based on the results obtained, it is possible to conclude that the cultivars XALAPA, AWAKINO F1, and UANM84 maintain their quality and yield in both environments under study. Therefore, these production systems may be a good alternative for cultivating *Capsicum annuum*.

Keywords: production environments, *Capsicum annuum*, sustainability

INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo de gran importancia ya que es consumido mundialmente, además los aportes que tiene a la salud humana son muy altos. Vázquez *et al.* (2020) mencionan que dentro de las principales especies de importancia nacional e internacional del género *Capsicum*, se encuentra el chile morrón (*Capsicum annuum* L.) que destaca por su consumo en nuestro país, por su diversidad de usos, y es importante por su contenido nutricional (antioxidantes y vitamina C). Se señala que la producción año con año crece de manera exponencial. Recientemente nuestro país se ha posicionado como el principal exportador de chile morrón fresco, teniendo una participación del 29% a nivel internacional. Como principales compradores están países como, Estados Unidos, Canadá y Reino Unido (SADER, 2024). Además, México se ha mantenido como el cuarto productor de este cultivo, con 2 mil millones de toneladas, con la utilización de 147,808 ha de superficie para su producción y un rendimiento de $1.75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (FAO, 2022). Sin embargo, la creciente demanda de este cultivo nos obliga a la generación de nuevos genotipos que ayuden a incrementar su producción, dado que se estima que para el 2030 el consumo de pimientos y chiles frescos aumente a nivel mundial, pasando de 6.30 a 8.10 mil millones de toneladas lo que acumula un crecimiento del 28.57% (SAGARPA, s/f).

Gracias a la alta demanda de este producto, se ha diversificado tanto en tamaño, forma, colores y sabores, que se han creado líneas llamadas “especialidades”, estas líneas juegan un papel muy importante ya que pueden ser de interés para determinado mercado por ser innovadoras y diferentes.

Estas líneas como ya se mencionaba anteriormente, han adquirido gran importancia, por lo cual se comenzó con un proceso de mejoramiento genético de chile (*Capsicum annuum* L.) a nivel nacional en todas las razas de esta especie. Dando como resultados nuevos cultivares que han demostrado ser superiores en cuanto a rendimiento, tolerancia plagas y enfermedades, calidad nutraceútica y calidad de fruto (Ramírez y Méndez, s/f).

Como consecuencia de la demanda de este producto y los retos que presenta el cambio climático, como la elevación de las temperaturas, la falta de lluvia y los desastres naturales cada vez más frecuentes; han obligado a incrementar

el uso de agricultura protegida en todas sus vertientes. Nuestro país en 2021, registró 47 mil 795 hectáreas de superficie sembrada bajo cubierta, para la producción de hortalizas, frutales y ornamentales, superficie que registra un crecimiento de 2 mil 700 hectáreas anuales. La tecnología más utilizada es la malla sobre, con 44% de dicha superficie (más de 20 mil hectáreas), seguida del invernadero con 31% (más de 14 mil hectáreas) y el macro túnel con 25% utilizando una superficie superior a 12 mil hectáreas (SADER-AMHPAC, 2022). Por otro lado, para el año 2023 en México se usaron más de 16 millones de hectáreas de superficie sembrada a cielo abierto, teniendo un fuerte contraste con la superficie de hectáreas (6,981,062) cosechadas (SIAP, 2023). Lo cual hace imperativo el uso de diversos sistemas de agricultura protegida, para mitigar o amortiguar los retos, amenazas y debilidades que presenta actualmente la producción agrícola de nuestro país.

Debido a los avances del uso de la agricultura protegida en nuestro país, se ha optado por el uso de semilla mejorada adaptada a las condiciones de agricultura protegida y otras adaptadas a condiciones de cielo abierto. Pero la gran mayoría de la semilla que se comercializa en México es proveniente de empresas extranjeras, con precios muy elevados, de aquí nace la necesidad de trabajar en mejoramiento genético, debido a que en la actualidad es muy reducido el uso de cultivares nacionales.

Partiendo de esta problemática en años anteriores se inició un programa de mejoramiento genético en este cultivo dentro de la institución, para lograr el desarrollo de nuevos cultivares de chile (*Capsicum annuum* L.) donde fueron creados genotipos que cumplen con las características deseadas por el mercado. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo, fue evaluar estos materiales bajo diferentes sistemas de producción, para su posterior registro ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Objetivo General

Evaluar la producción de chile de especialidad bajo diferentes sistemas de producción de agricultura protegida.

Objetivos Específicos

- Identificar el cultivar con mayor rendimiento y calidad de fruto.
- Evaluar el efecto de los dos ambientes de producción sobre la calidad y rendimiento de seis cultivares.

Hipótesis

Al menos uno de los cultivares evaluados bajo los diferentes sistemas de producción tendrá mayor rendimiento y calidad de fruto que el resto de los cultivares.

Producción del chile en México

En México el chile (*Capsicum annum* L.) es utilizado como especia o condimento, posee alto valor nutritivo y bajo contenido en grasas, así como gran cantidad de agua, rico en vitaminas, minerales, carbohidratos y fibra (Vázquez *et al.*, 2020). En México se registra una superficie sembrada de 8,252.35 hectáreas de pimiento morrón (SIAP,2023) y a nivel nacional la producción de chile morrón se lleva a cabo en todos los tipos de sistemas de producción dígase en invernadero, casa malla, macro túnel y cielo abierto, además la producción de este cultivo bajo condiciones de agricultura protegida se lleva a cabo desde hace 20 años (Sánchez *et al.*, 2017). Año tras año en México la superficie sembrada se ha ido incrementando. Este cultivo se produce en 19 de los 32 estados de la república mexicana y gran parte de la producción se exporta a mercados internacionales (SADER-AMHPAC, 2022).

El rendimiento promedio nacional de pimiento morrón es de 81.94 toneladas por hectárea (SIAP, 2023). Existen producciones de alta tecnología, principalmente en el estado de Querétaro, que tienen en promedio 200 toneladas por hectáreas. Este elevado rendimiento se debe al uso de tecnologías de invernaderos con sistemas de fertirrigación, inyección de CO², entre otras prácticas avanzadas de producción (SIAP,2023).

Los principales estados productores incluyen Chihuahua, Sinaloa, Sonora, Zacatecas estos estados reportaron una cosecha de 751 mil 839 toneladas, 701 mil 392 toneladas y 480 mil 694 toneladas, respectivamente, que de manera conjunta representan el 59.7% del volumen nacional esto al término del 2023 (SADER, 2024).

SADER a través del SIAP reporta que el estado de San Luis Potosí produjo un total de 324 mil 870 toneladas; Sonora, con 187 mil 591 toneladas; Guanajuato, con 145 mil 362 toneladas; Jalisco, con 140 mil 253 toneladas, y Baja California Sur, con 83 mil 121 toneladas, también sobresalen entre las 32 entidades dedicadas al cultivo de chile verde. El consumo per cápita de chile fresco en México es de 15.7 kilogramos en México, mientras que su participación es de 19.4 por ciento en la producción nacional de hortalizas. Entre 2013 y 2022 se registró una tasa media anual de crecimiento de 3.3 %,

lo que permitió enviar importantes volúmenes a 47 mercados internacionales y hacer que (SADER, 2024).

Producción del Chile en el Mundo

El chile, género *Capsicum*, es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial por su papel en la alimentación, la industria alimentaria y los mercados de exportación. La producción global de chiles tanto frescos como en seco ha mostrado un crecimiento en las últimas décadas, impulsado por la demanda interna en países asiáticos, así como por el mercado mundial de productos procesados y secos. Datos recientes del organismo estadístico de la FAO confirman la importancia del cultivo dentro del sector hortícola mundial (FAO, 2024).

A nivel mundial, Países Bajos tiene el mayor rendimiento promedio, obtiene 28.1 kilos de pimiento por metro cuadrado, superando un 315% a España, a pesar de ser de que este último es el segundo que mejor rendimiento tiene de entre los 20 mayores productores mundiales, el cual solamente alcanza los 6.77 kilos por metro cuadrado. Turquía produce 2.88 kilos de pimiento por metro cuadrado, Egipto 1.81 y Marruecos produce 3.47 kilos de pimiento por metro cuadrado (Olmos, 2019).

En contraste la producción promedio de pimiento en México alcanza en promedio 529,859.81 t, en una superficie de 6,586.1 ha, de cualquier modalidad de agricultura (SIAP, 2025) lo cual nos da un promedio de 81 t por hectárea lo cual coloca a México como uno de los principales productores de pimiento a nivel mundial.

Por otro lado, en el año 2020 se produjeron en el mundo más de 36,000 millones de kilos de chile fresco, sobre una superficie que superó los dos millones de hectáreas (FAO, 2022).

El sector enfrenta, sin embargo, riesgos crecientes ligados al cambio climático: eventos extremos que alteran la fenología, reducen rendimiento y afectan calidad sensorial, lo que ya se está reportando en distintas regiones productoras y configura un desafío para la seguridad de suministro y precios.

Los estudios recientes llaman a combinar prácticas de adaptación agronómica con mejoramiento genético orientado a tolerancia al calor y enfermedades (Gérard, 2024).

Diversos fenómenos meteorológicos como lluvias intensas y variaciones extremas de temperatura afectaron las zonas productoras de cultivos como Chile, lo que redujo la disponibilidad del producto en el mercado internacional y generó un incremento notable en los precios, especialmente en los países europeos. China es el primer productor mundial, alcanzando la tercera parte de la producción mundial de pimiento. Por orden, le siguen México, Turquía, Indonesia y EEUU. España es el sexto productor mundial con un porcentaje similar a EEUU (FAO, 2022).

Otro aspecto relevante es la diversificación del mercado: junto al Chile fresco, el comercio internacional por productos secos, pastas, salsas y extractos de capsaicina ha aumentado la demanda de variedades específicas (alto rendimiento para secado, contenido de capsaicina consistente, color estable), lo que implica planes de selección y gestión postcosecha diferentes a los del mercado fresco. Informes de comercio y análisis de mercado durante 2023–2024 muestran incrementos en exportaciones de *Capsicum* de países andinos y de México hacia mercados de EE. UU., Europa y Asia (Tridge, 2024).

Variabilidad genética del Chile y su importancia en la agricultura

Nuestro país es reconocido como centro de origen y domesticación de la especie *Capsicum annuum*, lo cual ha permitido explotar la variabilidad genética que ofrece esta especie (Gutiérrez Burón *et al.*, 2020). Esta diversidad es muy importante para asegurar el mejoramiento genético de especies como *Capsicum frutescens* o *Capsicum annuum* (Wu, L., *et al.*, 2024).

Nuestro país presenta gran variabilidad en el cultivo de Chile, en todo el país existen diversas variantes de este cultivo el cual lo hace perfecto para adaptarse a cualquier región y sistema agroeconómico, es pieza clave en la gastronomía de muchas regiones y por eso es de suma importancia mantener y proteger los sistemas de producción de este cultivo (SAGARPA, 2010).

Cuadro 1. Especies y nombres comunes de chiles utilizados en México.

Especie (científica)	Nombres comunes (ejemplos en México)	Regiones de origen / donde más se usan
<i>Capsicum annuum</i>	Jalapeño, serrano, poblano, chile de árbol, guajillo (forma seca), chipotle (jalapeño ahumado), piquín (variedades pequeñas)	Es la especie más difundida en México; diversidad amplia y domesticación histórica en varias regiones de México (cultivada por todo el país; alta diversidad en Península de Yucatán y regiones centrales).
<i>Capsicum frutescens</i>	Chile de árbol (en su forma cultivada), tabasco (variedades), chiles picantes de uso local	Se cultiva en regiones tropicales y subtropicales de México; asociada a zonas centro-sureste.
<i>Capsicum chinense</i>	Habanero	Asociada históricamente al sureste de México — Península de Yucatán (Campeche, Yucatán, Quintana Roo) donde el habanero es emblemático.
<i>Capsicum baccatum</i>	(menos frecuente en México) — nombres como ají amarillo/ají cristal en Sudamérica; en México aparece como “ají” en colecciones locales	Es originaria y muy cultivada en la región Andina; en México su cultivo es poco frecuente comparado con <i>C. annuum</i> , <i>C. chinense</i> y <i>C. frutescens</i> .

<i>Capsicum pubescens</i>	Rocoto, manzano, perón, cera (nombres locales)	Es originaria de los Andes (Perú/Bolivia) pero tiene presencia y cultivo en México en algunas zonas altas (p. ej. Michoacán, Puebla, Veracruz y huertas locales).
Chiles silvestres / ancestrales (variedades de <i>C. annuum</i> y afines)	Chiltepín, piquín, chiles silvestres locales	Distribución amplia en costas y serranías de México; el chiltepín es muy importante como silvestre/semi- domesticado en muchas costas y zonas áridas/semidesérticas y serranías.

SAGARPA, s/f

Mejoramiento genético de chile

Desde la antigüedad los agricultores y los ganaderos ya realizaban selección de los mejores granos, animales o frutos, en la actualidad se sigue realizando esta práctica por países con poco desarrollo tecnológico y de manera empírica, mientras que en países con mayor desarrollo técnico-científico esta tarea lo desarrollan mejoradores y científicos altamente capacitados en el tema (Cubero, 2003).

El mejoramiento genético *Capsicum* spp. es una actividad estratégica para mitigar, enfrentar y disminuir los retos productivos, climáticos y comerciales de la horticultura moderna. Dado que el chile es uno de los cultivos hortícolas más diversos del mundo, su mejoramiento combina enfoques tradicionales, biotecnológicos y moleculares, con una gran interacción entre bancos de germoplasma, centros de investigación y empresas semilleras. Hablando específicamente de la especie *Capsicum annuum* la variabilidad genética es muy amplia (Bosland, 1996). Los recursos genéticos que podemos obtener del género *Capsicum* son muy diverso y con una amplia gama de características deseables como: resistencia a plagas y enfermedades, resistencia a sequias, buena capacidad nutracéutica en frutos, etc. (Gonzales y Pita, 2001). Esto es aprovechado por los mejoradores para obtener

variedades e híbridos sobresalientes que satisfacen las necesidades del mercado.

Con el mejoramiento genético de *Capsicum annuum* se busca obtener materiales con mejores rendimientos y características nutraceuticas, con el objetivo de dar un valor agregado a este producto.

En el cultivo de chile se utilizan diversos métodos convencionales de mejoramiento genético, como: selección masal, hibridación, cruza dirigida así con herramientas genómicas recientes como, lo son: selección genómica, marcadores ligados a rasgos como calidad de fruta o capsaicinoides (Hong, J. P., *et al.*, 2020). Esto último ha sido gran ayuda para predecir rasgos relacionados con fruto y calidad con lo cual se pueden ahorrar recursos y eficientizar la generación de nuevos materiales para su utilización en la agricultura.

Importancia del uso de semillas mejoradas en la agricultura

Se encuentra ampliamente demostrado que el uso de semillas mejoradas en la agricultura, otorga ventajas para la producción de cultivos, como mayor rendimiento y calidad en los productos obtenidos, además mayor tolerancia a factores bióticos y abióticos. Estudios demuestran que el uso de semillas genéticamente modificadas confiere ventajas económicas a los agricultores, por el aumento de la producción, para productores de mediana y baja tecnología, mejorando hasta en un 20% la producción (James, 2009). Por lo cual los productores pueden hacer un uso más eficiente de los recursos con los que cuentan para cultivar y así ofrecer mayor inocuidad y calidad de sus productos a los consumidores y/o beneficiarios de sus productos (Aboites y Félix, 2011).

Recientemente se demostró que la utilización de materiales adaptados a ambientes protegidos (invernadero, casa malla, micro túneles, macro túneles, etc.) va en aumento: hay trabajos sobre tolerancia a estrés, control y manejo de plagas y enfermedades en sistemas protegidos de producción hortícola, y además de trabajos enfocados a la adaptación de cultivos en sistemas de producción como hidroponía y fertirrigación (Pramanik, K, *et al.*, 2020).

Con la utilización de herramienta biotecnológicas se expande la posibilidad de explotar esta variabilidad genética que ofrece el género *Capsicum* lo que abre una ventana muy amplia de posibilidades para explorar el mejoramiento genético de las especies pertenecientes a este género (Carrodegua González y Zúñiga Orozco, 2023).

En el caso de semillas híbridas en la producción de chile representa un avance fundamental para incrementar la competitividad del sector hortícola. Estos materiales genéticos combinan el vigor híbrido y la resistencia a factores bióticos y abióticos, permitiendo obtener rendimientos más altos, frutos de calidad uniforme y una mejor adaptación a las condiciones de agricultura protegida. En cultivos como el chile morrón y el chile verde, el uso de híbridos ha favorecido la estabilidad productiva, la eficiencia en el manejo agronómico y la satisfacción de los estándares de calidad exigidos por los mercados nacionales e internacionales (SADER-AMHPAC,2022).

Uso e importancia de especialidades en chile

En la actualidad el uso de especialidades comienza a tener una relevancia significativa en todo el mundo por ser novedosas y sobre todo tener otras cualidades buscadas por el mercado. Algunos mercados exigen estas especialidades ya que pueden ser atractivas para consumo en fresco, asados o fritos, por poseer características que las hacen diferentes de las tradicionales, por su aportación nutrimental.

Estos productos son de gran interés para los agricultores por que representan un fuerte ingreso, para su economía, al ser productos novedosos los consumidores los adquieren a pesar de tener un precio más elevado.

De los principales tipos de especialidades de chiles existen pimientos morrón variedades gourmet, colores inusuales y minipimiento, chiles frescos “para mesa” con los jalapeños de alta calidad, snack peppers, etc. Chiles que se desecan y comercializan de esa forma o se industrializan para obtener el “polvo de chile” de donde se obtiene características de color y sabor específicas. Chiles habaneros, picantes con características muy específicas como aroma, una elevada pungencia y colores muy característicos. Chiles procesados (aptitud para salsas, pastas, polvo pH, sólidos solubles, colores

estables). Además de chiles ornamentales / exóticos (formas y colores para nichos) que son muy importantes por su valor estético (SADER-INIFAP, 2024).

Las ventajas que ofrecen este tipo de especialidades permiten diversificar la producción además de reducir riesgos fitosanitarios y abren la puerta a un mercado más diverso y competitivo donde pagan más por atributos y características específicas (Lancaster, 2019).

Algunas especialidades de Chile permiten producirlos en ambientes protegidos con mejores eficiencias (más rendimiento por m²) y explotando una mejor calidad de fruto. Además, permite la conservación de variedades locales, identidad gastronómica y cadenas cortas acercando más al productor con el consumidor (Volssi, 2022).

Con todo lo anterior se puede estimular la investigación en genética, postcosecha y manejo de microclima.

Importancia de la agricultura protegida en México

La agricultura protegida es aquella que se realiza bajo algunas cubiertas que ayudan a minimizar los efectos de diversos factores del abióticos o bióticos, abióticos como los efectos del clima que restringen la producción de cultivos. Estos sistemas de producción proporcionan ventajas como ofrecer mejores empleos, alimentos más inocuos, incrementos en la producción y un manejo más sustentable de los recursos (AMHPAC, 2023).

Del total de la superficie sembrada de chile morrón, solo el 22% se cultiva bajo invernaderos. El 44% de la superficie del también llamado “bell pepper” se cultiva bajo malla sombra. Estas modalidades de producción, permiten reducir el efecto negativo de las inclemencias del clima, plagas y enfermedades. El resto de superficie se cultiva a cielo abierto.

Por el contrario, en nuestro país solo 30 hectáreas se registran en la modalidad de temporal. El resto cuenta con un sistema de riego para garantizar e incrementar la eficiencia del uso de agua. Producir en la modalidad de temporal representa un riesgo considerablemente alto para la producción agrícola (SADER, 2023).

Para asegurar una correcta y óptima producción es importante saber diseñar y adecuar tu sistema de agricultura protegida al entorno y a las necesidades del cultivo (Vargas Canales *et al.*, 2024).

Cuadro 2. Modalidades de agricultura protegida en México en 2022.

Sistema	Porcentaje
Invernadero	28.1%
Malla sombra	27.9%
Macro túnel	20.1%
Casa malla	10.4%
Micro túnel	5.1%
Otras	8.4%

Como se muestra en la tabla anterior el sistema que más se utiliza es el de invernaderos, aunque principalmente con sistemas de baja tecnología (SADER, 2024). El estado que más superficie siembra bajo sistemas protegidos es Sinaloa, con alrededor de 9000 hectáreas, seguido por Jalisco con más de 7000 hectáreas. En contraste los estados de los de Campeche y Tabasco no reportan ninguna superficie con algún tipo de agricultura protegida (SIAP, 2016).

Importancia de la agricultura protegida a nivel mundial

En los últimos años el aumento del uso de la agricultura protegida a nivel mundial ha ido en aumento, demostrando así que es uno de las estrategias

para producir alimentos de manera más sustentable y eficiente actualmente la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, apunta que las superficie que se trabaja bajo un sistema de agricultura protegida, ronda las 58 millones de hectáreas a nivel mundial, lamentablemente es difícil obtener un dato conciso ya que la superficie aumenta rápidamente año con año (FAO, 2021).

La utilización de nuevas tecnologías como semillas mejoradas genéticamente, sensores climáticos para controlar el clima dentro de invernaderos, películas plásticas más modernas y eficientes, sistemas de riego inteligentes y sistemas hidropónicos para el uso eficiente y sustentable del agua, son la mejor estrategia para enfrentar los retos que implica el cambio climático, a fin de salvaguardar la seguridad alimentaria (Nickel, 2021).

Producción en ambientes protegidos: ventajas y desventajas económicas y técnicas

La producción en ambientes protegidos ofrece muchas ventajas desde el punto de vista técnico, entre las ventajas que ofrece se puede señalar mayor control macro climático en las áreas de producción (temperatura, humedad relativa, precipitaciones, radiación, horas luz y velocidad de viento) el cual se traduce en mejor calidad de las cosechas, una producción agrícola más sustentable y eficiente (FAO, 2024).

Otra de las ventajas técnicas que ofrece la agricultura protegida es la intensificación de la producción, es decir obtener productos en menor tiempo y en menos espacio de producción, con este sistema de producción se pueden obtener mayores rendimientos por metro cuadrado, esto a través de sistemas como hidroponía, podas y tutore, fertirrigación, utilización de estimulantes, etc. Lo cual mejora en calidad y cantidad los productos obtenidos (Farvadin, *et al.*, 2024)

Además, dentro de las ventajas que ofrece la producción en ambientes protegidos es el acceso a mercados más especializados y selectivos con lo cual la remuneración económica es más redituable, además de la capacidad de exportar al extranjero sus productos y así diversificar su mercado (Bajare, *et al.*, 2024).

Por otro lado, la utilización de la agricultura protegida también conlleva algunas desventajas técnicas como lo dicen Farvadin *et al.*, (2024) donde mencionan la alta demanda energética necesaria para el funcionamiento el sistema y esta demanda aumenta más cada vez que el sistema se tecnifica hacia un enfoque más tecnológico de alta especialidad. Además, otra limitante técnica es la necesidad de capacitación y de recurso humano altamente capacitado para el manejo del sistema, y el uso de herramientas específicas para el manejo de los cultivos establecidos (Allali *et al.*, 2025).

La inversión económica inicial, aparte de la inversión en recursos (agua, suelo, etc.), insumos (semillas, fertilizantes, pesticidas) y mano de obra es otra de las desventajas económica que presenta la agricultura protegida (Pratt, *et al.*, 2019).

Impacto ecológico y sustentabilidad en la utilización de agricultura protegida

La agricultura protegida (invernaderos, malla sombra, túneles, micro túneles) puede aumentar rendimiento y eficiencia en el uso de recursos, pero también presenta retos ambientales, especialmente consumo energético, huella de carbono, demanda de fertilizantes y generación de residuos plásticos, que requieren estrategias integradas para reducir este impacto ambiental (Gargaro *et al.*, 2024).

Uno de los componentes ambientales más importantes, como ya me menciono, es el consumo energético en aspectos como climatización activa o sistemas de control ambiental intensivos. En diversos estudios enfocados a la huella de carbono de muestran que la energía es el principal contribuyente a la huella de carbono en sistemas de producción de alta tecnología principalmente invernaderos, principalmente la electricidad proviene de fuentes fósiles (Martin *et al.*, 2024). La transición hacia energías renovables, la mejora de materiales de cubierta para aislamiento térmico se ha identificado como estrategias muy importantes para reducir emisiones de carbono u otros contaminantes, además se busca aumentar la eficiencia energética del sistema con este tipo de estrategias (Cavallo, *et al.*, 2025).

En cuanto al uso del agua la agricultura protegida presenta ventajas significativas frente a la agricultura a campo abierto, los sistemas cerrados o

con uso de sistemas de riego localizado o automatizado reducen hasta en un 80–90 % el consumo hídrico en cultivos hortícolas (Pennisi, 2025). La eficiencia hídrica disminuye la presión sobre acuíferos, además contribuye a reducir la eutrofización en ecosistemas cercanos, este siendo uno de los impactos más señalados en evaluaciones ambientales.

Dentro de las estrategias que ofrece la agricultura protegida es el Manejo Integrado de Plagas (MIP), que permite disminuir el uso de insecticidas y fungicidas mediante la combinación de control biológico, monitoreo y barreras físicas. Algunos estudios recientes destacan que los invernaderos y casas sombra tienen y favorecen las condiciones ideales para el establecimiento de enemigos naturales y el manejo preventivo (Zhou, *et al.*, 2024). Esto contribuye a reducir significativamente la contaminación del suelo y del agua, y mejora la inocuidad alimentaria.

La sostenibilidad de la agricultura protegida también depende de la gestión de materiales y residuos, especialmente plásticos utilizados en cubiertas, sustratos y sistemas de riego. Algunas investigaciones han demostrado que la adecuada gestión de estos materiales, así como la transición hacia polímeros reciclables o biodegradables, pueden disminuir significativamente la huella ambiental del sistema (Gargaro, *et al.*, 2024).

La evidencia reciente confirma que la agricultura protegida puede avanzar hacia modelos altamente sostenibles cuando integra tecnologías eficientes, energías limpias, recirculación de recursos y prácticas agroecológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue realizado en el Departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). En un invernadero de mediana tecnología y en una casa sombra. En el periodo comprendido de marzo a octubre del 2024, se evaluaron genotipos de chile morrón, uno generado en la UAAAN y dos híbridos comerciales y dos jalapeños desarrollados en la misma universidad y uno tipo chilaca bajo los dos ambientes (invernadero y casa sombra).

El invernadero utilizado fue tipo túnel modificado, el cual está cubierto por una película de polietileno calibre 7200 de alta difusividad, anti UV y de tipo térmico, además cuenta con extractores, pared húmeda, calefactores. Cuenta con control térmico registrando una temperatura mínima de 18 °C y una máxima de 34°C, presentando una humedad relativa de 60% en promedio. Además, se utilizó un macro túnel de malla color negro antiáfidos con un porcentaje de sombreado del 65%.

Establecimiento del experimento

El trabajo fue establecido bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se establecerán 8 plantas por unidad experimental, tomando 6 plantas como parcela útil, todo esto bajo los dos ambientes (invernadero y malla).

Materiales utilizados

Se utilizaron materiales tanto de uso comercial como materiales generados en la institución: AITANA F1 híbrido color rojo dulce y adaptado a siembras tardías, XALAPA variedad tipo chilaca adaptado a ambientes protegidos y a cielo abierto, UANM74 material tipo minipimiento naranja, UANJ111 este es un material tipo chile jalapeño de vida de anaquel prolongada que en madurez fisiológica toma un color amarillo, AWAKINO F1 híbrido altamente adaptado a ambientes protegidos (color amarillo), UANJ84 material tipo chile jalapeño de vida de anaquel prolongada (color rojo).

Labores de cultivo

La siembra fue realizada el miércoles 6 de marzo del 2024, en charolas de polietileno de 200 cavidades con un sustrato de Turba (Premier Sphagnum Peat Moss®) mezclado con perlita mineral (Hortiperl de Termolita®) en una proporción de 70:30 respectivamente. Se colocó una semilla por cavidad; posteriormente se colocaron en una cámara germinadora por cuatro días hasta que emergieron las plántulas y posteriormente se retiraron las charolas de la cámara germinadora.

A los 50 días después de la siembra se realizó el trasplante (24 abril) en camas con acolchado plástico bicolor (negro y plateado) y cintilla, con una separación de goteros de 30 cm, para riego localizado. Las camas con una altura de 25 cm y una separación de 1.5 metros, estableciéndose en una sola hilera con 30 cm de separación entre plantas.

La nutrición que se utilizó fue la propuesta por Steiner (1984) ajustada a un análisis de suelo donde se estableció el cultivo.

Variables estudiadas

Las variables evaluadas fueron: Días a floración (DF), Altura de la Planta (ADP), Número de Frutos por Planta (NFP), Peso Promedio de Fruto (PPF), Rendimiento Total del Fruto (RTF), Largo de Fruto (LF), Ancho de Fruto (AF), Sólidos Solubles Totales (SST), Vitamina C (VC), Firmeza de Fruto (FF).

Las variables de calidad de fruto fueron estimadas en el laboratorio de Nutrición Vegetal y Cultivo de Tejidos del Departamento de Horticultura de la UAAAN. Estos son los procedimientos que se siguieron:

Días a Floración (DF)

Se contabilizarán los días transcurridos desde el trasplante hasta que al menos el 50% de las plantas de cada unidad experimental haya llegado a este estado fenológico.

Altura de la Planta (ADP)

La altura de la planta se midió con una cinta métrica (PRETUL), desde la base de la planta, a los 120 días después del trasplante, fue tomada desde la base del tallo hasta el ápice.

Número de Frutos por Planta (NFP)

Se estimó mediante el conteo de frutos de cada cosecha, y se sumaron a lo largo de todo el ciclo de cultivo y dividido entre el número de plantas cosechadas.

Peso Promedio de fruto (PPF)

Se sumó el peso total de frutos y se dividió entre el número total de frutos obtenidos a lo largo del ciclo.

Rendimiento Total de Fruto (RTF)

Se obtuvo pesando todos los frutos obtenidos durante el ciclo de producción, en una balanza electrónica (VELAB, Scientific, México®) con capacidad de 1 Kilogramo y con una precisión de 0,001 Kg, posteriormente se sumó el peso de todos los frutos conseguidos a lo largo del ciclo de cultivo.

Largo de Fruto (LF)

Esta variable fue medida con un vernier digital de la marca Autotec®, desde la base del fruto hasta el ápice del mismo, tomando 5 frutos por corte por unidad experimental, para después estimar la longitud promedio, las lecturas fueron tomadas en milímetros (mm).

Diámetro ecuatorial de Fruto (AF)

Al igual que en la variable anterior, en el AF se utilizó el vernier digital para medir el diámetro ecuatorial de cada fruto tomando 5 frutos por cada parcela, posteriormente se calculará el diámetro promedio reportándolo en milímetros (mm).

Sólidos Solubles Totales (SST)

Se determinaron mediante un refractómetro (ATAGO, MOD HSR-500) en el cual se colocó una gota del extracto del pimiento, se cubrió con la tapa y se tomó una lectura en la escala de grados Brix.

Vitamina C (VC)

Se tomarán frutos frescos para la estimación de esta variable. Para ello se utilizó la metodología para la determinación del Contenido de vitamina C (VC) reportada por Padayatt *et al.*, (2001). Se pesaron 10 g de peso fresco de fruto

y se colocaron en un mortero, se trituro con 10 ml de ácido clorhídrico al 2% (v/v). Se homogeneizó la mezcla en 40 ml de agua destilada. Se filtró a través de gasa y se colectó en un matraz Erlenmeyer. Se tomaron 10 ml del sobrenadante y se titularon con 2,6-diclorofenolindofenol ($1 \times 10^{-3} \text{ N}$), cuando la solución alcanzó un color rosa. El contenido de VC se determinó utilizando la siguiente fórmula:

"Vitamina C " ("mg 100 g Peso Fresco del Fruto") ="ml utilizados de 2.6 diclorofenolindofenol x 0.088 x volumen total x 100" /"Volumen de la alícuota X peso gr. de la muestra"

Y se reportó en mg/100g de peso fresco de fruto.

Firmeza de Fruto (FF)

La firmeza de fruto fue estimada mediante un penetrómetro de la marca Fruit Pressure Tester (FT), usando una puntilla del número ocho y se reportó en Kg/cm^2 .

Análisis estadístico

El análisis de varianza se llevará a cabo por medio del paquete estadístico SAS® V.9.1 (SAS Institute Inc., 2002) usando los comandos para un diseño de bloques completos al azar en parcelas subdividas. Además, se realizó por medio de la prueba Tukey ($P \leq 0.05$), usando el mismo software.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros agronómicos

Días a Floración

El análisis de varianza no muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en la variable DAF, entre el cultivar que inició la floración más temprana y el más tardío solo se tuvieron 8 días. El cultivar AWAKINO F1 en malla sombra fue el que se comportó más tardío (33.4 DAF), mientras que el más precoz fue el cultivar XALAPA, el cual solo requirió 25 días para llegar a la floración (Figura 1).

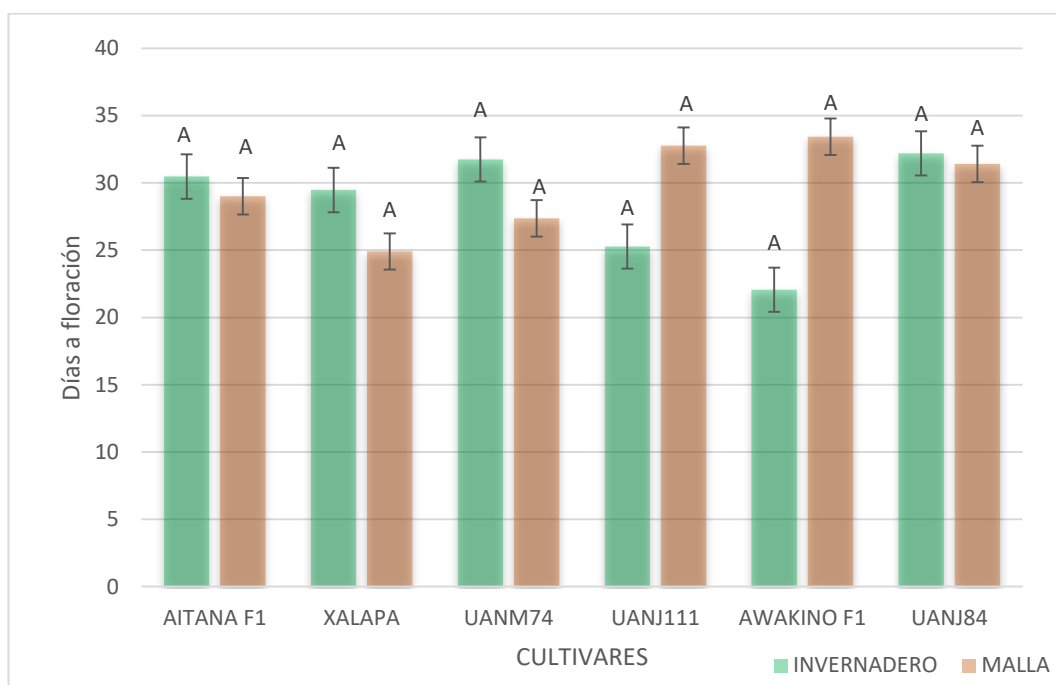


Figura 1. Días a floración después del trasplante, de los cultivares establecidos en invernadero y malla sombra en Saltillo, Coahuila.

El hecho que el periodo a floración sea corto, permite la producción más precoz y tener ventaja de salir tempranamente al mercado y alcanzar los mejores precios. La menor luminosidad en agricultura protegida puede provocar el retraso en la aparición de las flores, como lo menciona Blanco Valdés (2019). Lo anterior concuerda con Hwang et al., (2020), quienes

indican que una prolongada exposición a intensidad lumínica alta acelera la floración, mientras que a intensidades lumínicas bajas esta etapa fenológica se puede ver atrasada por varios días. Además, Andrés, *et al.*, (2012) mencionan que el gen FT (florigen) es activado en respuesta a la intensidad de la luz que afecta actividad reproductiva de las plantas. Además, la composición espectral de la luz también influye en la floración y la calidad del botón floral (Xiaojuan *et al.*, 2022).

Altura de la planta (ADP)

En la variable ADP se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre cultivares. El cultivar Xalapa fue el que presentó la mayor ADP y fue superior significativamente al cultivar Aitana F1, en 181% en invernadero, mientras que en malla solo fue en 67.6%. Aunque el cultivar Xalapa fue significativamente igual al resto de los cultivares bajo estudio (Figura 2).

El genotipo UANJ111 tuvo un comportamiento muy similar en los dos ambientes bajo estudio con una diferencia del 1.25% en ADP, lo anterior indica que es un material con alta adaptación, manteniendo una altura muy similar en los dos ambientes, si se considera que la altura está relacionada con el número de entrenudos, y en cada entrenudo hay un botón floral el rendimiento también podría ser muy similar en los dos ambientes, lo cual es una gran ventaja, ya que normalmente en cada entrenudo puede haber una flor y por lo tanto un fruto, por lo tanto regularmente se buscan entrenudos cortos para la aparición de más flores (Ramírez *et al.*, 2012). Este comportamiento puede estar relacionado con la intensidad lumínica que ofrecen los dos tipos de cubierta, aunque en este caso la floración no fue afectada por la radiación transmitida por la cubierta de cada estructura bajo estudio.

Nico *et al.*, (2019) señalan que la partición de foto asimilados en estructuras vegetativas o reproductivas se ve directamente afectada por el fotoperiodo pasando la floración, lo cual afecta la generación de nuevas flores y entrenudos. El comportamiento uniforme en cuanto a crecimiento y desarrollo entre ambos ambientes se puede deber a floración uniforme de los materiales, esto concuerda con Elkins e Iersel (2020) quien menciona que las plantas de Chile (pimiento) son receptivas al fotoperiodo lo cual puede mejorar y adelantar la producción de estos cultivos. Otro de los efectos que uniformizaron el

crecimiento de la planta, es la estación y la influencia del fotoperiodo en el crecimiento de los entrenudos, pero no en la aparición de la floración (Chelsea *et al.*, 2023).

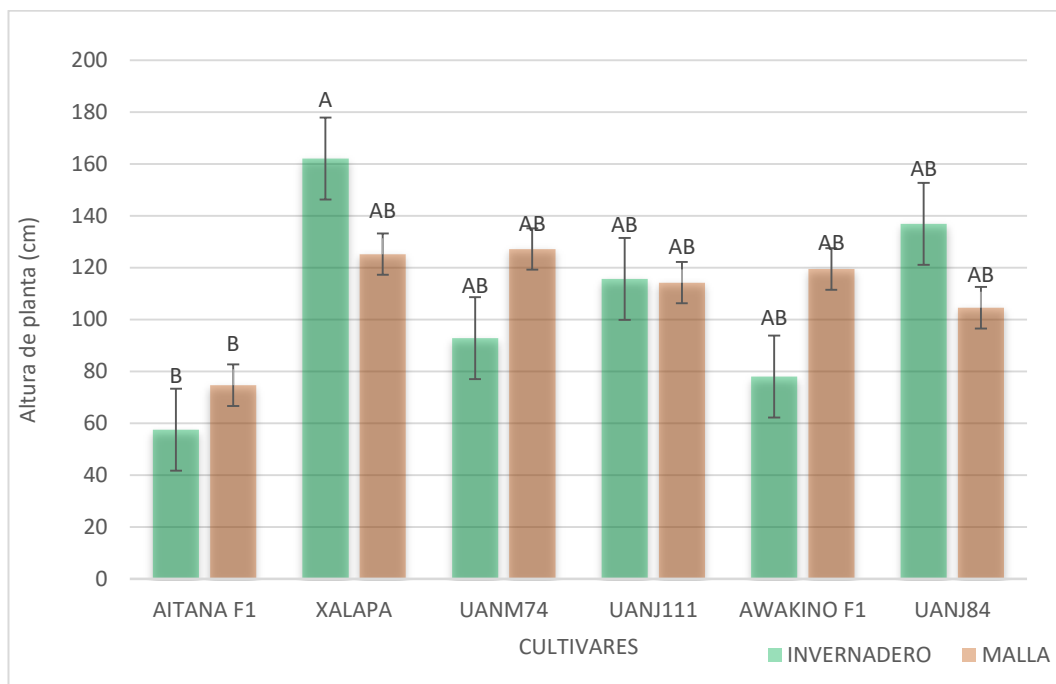


Figura 2. Altura promedio de la planta de los cultivares establecidos en dos ambientes de producción.

Rendimiento y componentes de rendimiento

En cuanto a las variables en relación al rendimiento.

Número de Frutos por Planta (NFP)

La variable NFP el análisis de varianza muestra una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los diferentes cultivares establecidos en los dos ambientes (figura 3), en el caso del cultivar AWAKINO F1 fue significativamente igual al genotipo UANJ111 tanto en invernadero como en malla sombra (Tukey 0.05), en invernadero supero en 51.9% al híbrido AITANA F1 y en 145.2% en malla sombra.

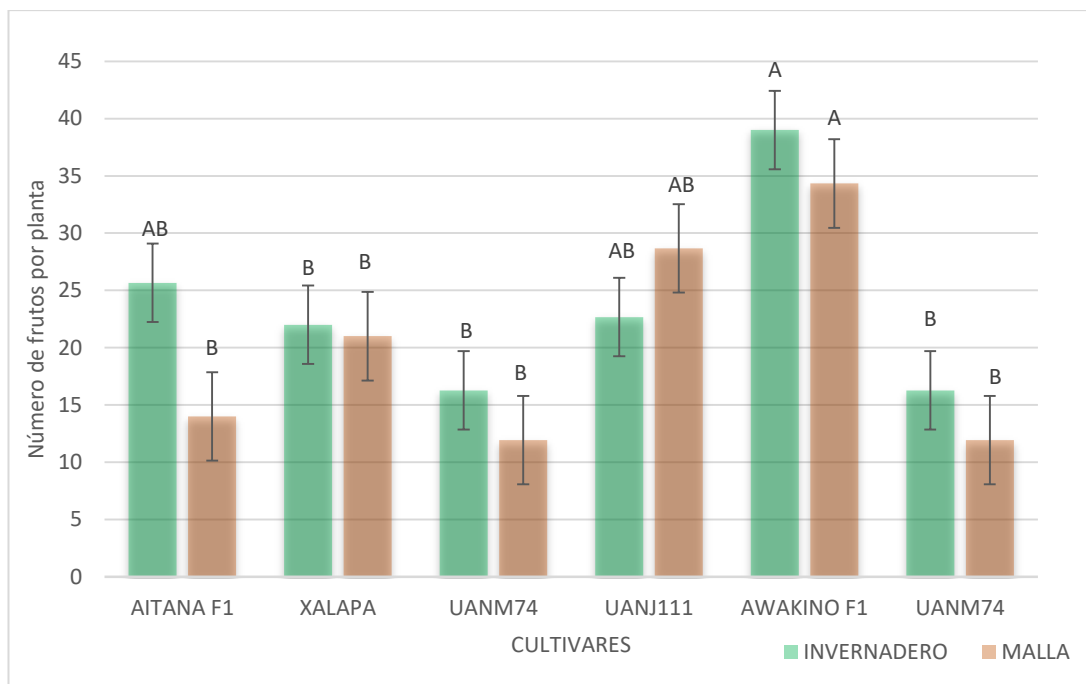


Figura 3. Número de frutos por planta de los materiales establecidos en los dos ambientes de producción.

El cultivar AWAKINO F1 en invernadero supera en 13.6% al establecido en malla sombra. Esto indica que este cultivar de pimiento es mejor establecerlo en invernadero, ya que se puede incrementar el NFPP en comparación con las siembras en malla sombra. Cedeño *et al.*, (2020) indican que el uso de invernaderos beneficia la producción de pimientos de especialidad, además de incrementar la producción, también mejora la calidad de los frutos; los demás cultivares establecidos en invernadero excepto UANJ111, presentaron un número de frutos inferior a AWAKINO F1 esto puede deberse a la adaptación que tiene este cultivar a los ambientes de producción protegida, como ya se mencionó anteriormente. Mientras que los demás materiales no respondieron favorablemente al uso de invernadero, el AWAKINO F1 al ser un material para ambientes protegidos puede desarrollarse y crecer de manera más rápida y eficiente en este tipo de sistemas de producción, como lo mencionan Cedeño *et al.*, (2020). AWAKINO F1 de igual manera bajo malla sombra también fue significativamente (Tukey 0.05) igual a UANJ111, pero significativamente superior a los demás cultivares, aunque; este material está muy bien adaptado a los ambientes protegidos lo vuelve prometedor para

sistemas de producción de alta, mediana y baja tecnología, lo cual lo hace muy atractivo para productores de pequeña y media escala. Además, Mendoza Elos *et al.*, (2020) señalan que la exploración de genotipos mejorados es muy importante para la agricultura sustentable ya que mejora la calidad las cosechas y ayuda a eficientizar el uso de los insumos necesarios en la producción agrícola.

Peso Promedio de fruto (PPF)

En cuanto la variable PPF, cultivar AWAKINO F1 fue el que exhibió el mayor valor y fue significativamente superior ($p \leq 0.05$) al resto de los cultivares en ambos ambientes (invernadero y malla), mientras que el cultivar UANJ84 fue significativamente inferior al cultivar AWAKINO F1, pero fue significativamente igual al híbrido AITANA F1 en los dos ambientes bajo estudio.

Este comportamiento se puede deber a que el material AWAKINO F1 es un híbrido altamente adaptado a condiciones protegidas, como lo señalan Sharma *et al.*, (2021) quienes indican que la utilización de materiales mejorados en ambientes protegidos como invernaderos es de gran ventaja para la producción ya que permite utilizar de manera más eficiente los insumos para la producción de cultivos como chiles, tomates, berenjenas o lechugas.

En el caso de del material UANJ84 presenta un bajo peso promedio de frutos este comportamiento se debe a las características propias del genotipo, como lo menciona Rivera Trujillo *et al.*, (2023), además el peso de los frutos está estrechamente relacionado con el potencial genético de las diferentes líneas de chiles y su interacción con el ambiente en el cual son cultivadas (Congcong *et al.*, 2024).

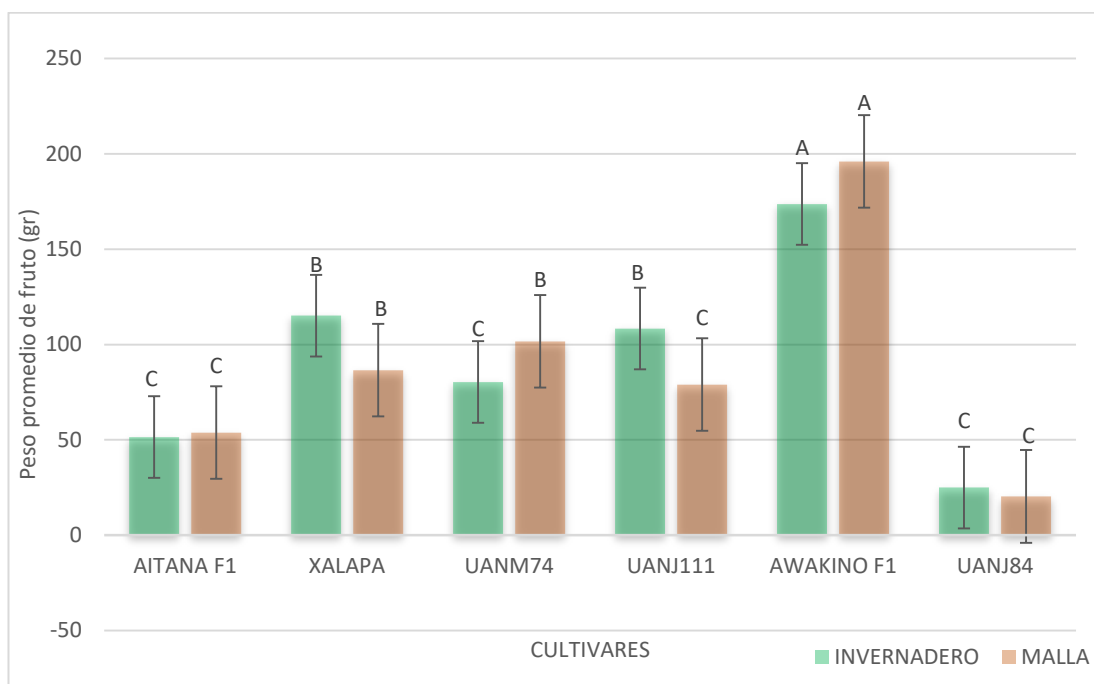


Figura 4. Peso promedio de los frutos obtenidos en invernadero y malla sombra en Saltillo, Coahuila.

Rendimiento Total de Fruto (RTF)

En la variable RTF el análisis de varianza muestra que el cultivar AWAKINO F1 fue significativamente ($p \leq 0.05$) superior al resto de los genotipos bajo estudio, con un rendimiento de $169.864 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en invernadero y $126.069 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ bajo malla sombra (Figura 5). Mientras que los demás cultivares fueron significativamente iguales, en los ambientes bajo estudio. Según datos del SIAP (2023) el rendimiento promedio por hectárea de chile jalapeño es de $31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ lo cual indica que el cultivar UANJ111 está por arriba de la producción media nacional ya que en invernadero alcanza un rendimiento de $46.261 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y en malla sombra $70.147 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ por lo tanto es una opción para producción en ambientes protegidos y posiblemente duplicar los rendimientos de fruto, incrementando la densidad de población. Coincidiendo con lo señalado por Luna García *et al.*, (2021) que mencionan las ventajas de del uso de semillas y cultivares mejorados en ambientes protegidos o sistemas de agricultura protegida.

La utilización de materiales mejorados en ambientes protegidos coincide lo dicho por Hernández-Hernández *et al.*, (2021), quienes mencionan que la utilización de cultivares de chile mejorado genéticamente, en agricultura protegida pueden ser una alternativa ante los efectos de factores bióticos y abióticos que afectan a la agricultura a cielo abierto. Escamirosa Tinoco *et al.*, (2021) señalan que las cubiertas plásticas para la producción de *Capsicum annuum* L. mejoran significativamente los rendimientos y calidad de fruto, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio. Esto permite confirmar las ventajas que tiene el uso de utilizar semillas mejoradas de *Capsicum* en sistemas agrícolas protegidos, con el fin de satisfacer las necesidades y retos de la actualidad.

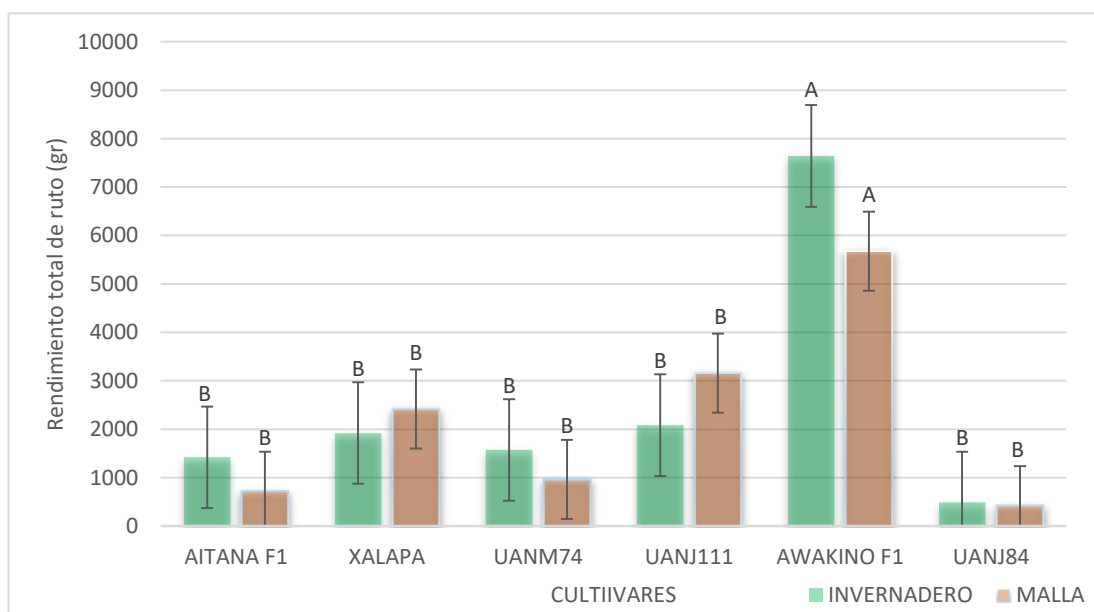


Figura 5. Rendimiento total de frutos obtenidos de los cultivares establecidos en dos ambientes de producción.

Calidad de fruto

Longitud de Fruto (LF)

Se encontró que los cultivares UANJ111 y XALAPA fueron significativamente iguales ($p \leq 0.05$) en la variable LF, con valores de 6.1 a 7.3 cm, mostrando una longitud ligeramente mayor en invernadero que en malla sombra (Figura 6), esto puede ser debido a que el cultivar XALAPA es un chile tipo chilaca, cuyos frutos son de una forma alargada y cónica, mientras que el cultivar UANJ111

es un jalapeño, de ahí que fue seleccionado para este proyecto, lo cual les da una ventaja en esta variable. Mientras que AITANA F1 y AWAKINO F1 al ser los dos pimientos tipo California, podemos señalar su similitud en cuanto al largo de sus frutos, mientras que para UANM74 es menor su tamaño por ser un material tipo minipimiento, aunque fue significativamente igual a AITANA F1, AWAKINO F1 y UANJ84.

En el caso del cultivar UANJ111 tanto en invernadero como en malla sombra, exhibió una longitud de fruto muy similar, lo cual indica la alta estabilidad este cultivar a través de ambientes o sistemas de producción, ya que en ambos ambientes se pudieron presentar diferentes condiciones de luminosidad, temperatura, humedad y el cultivar fue muy estable, coincidiendo con lo señalado por Jiménez *et al.*, (2023), quienes señalan que el uso de materiales mejorados es muy importante para la producción agrícola en ambientes como invernaderos o casa mallas ya que permite explotar más eficientemente el potencial de estos cultivares mejorados.

El cultivar UANJ111 en ambos ambientes presento un tamaño de fruto muy similar, mostrando la estabilidad en dos ambientes de producción, que pude permitir su uso por productores que no cuentan con sistemas de alta tecnología, sin embargo, en estos ambientes pueden mantener la calidad de fruto, respecto a esta variable.

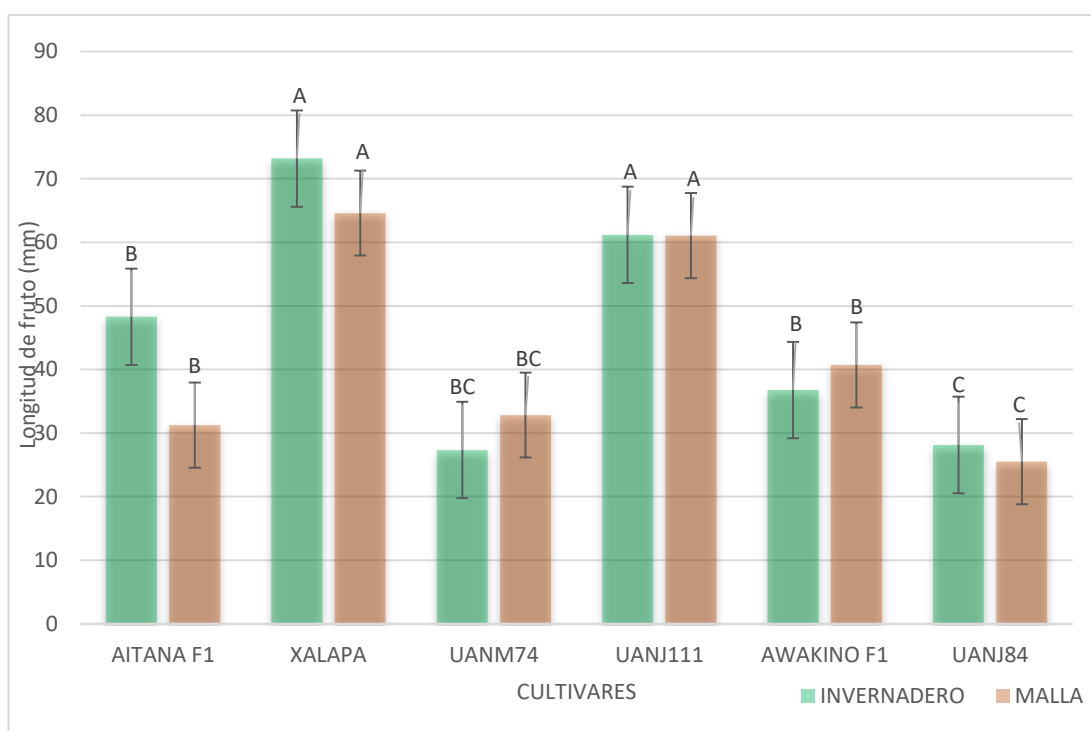


Figura 6. Longitud promedio de frutos de chiles establecidos en invernadero y malla sombra.

Diámetro ecuatorial de Fruto (AF)

Respecto a la variable AF el análisis de varianza muestra que no se encontraron diferencias significativas en la variable AF, el mayor valor fue mostrado por el cultivar UANJ 111 (35 mm) en malla sombra, mientras que el más bajo fue presentado por el cultivar AITANA F1 (29.7mm) en invernadero (Figura 7). Lo observado respecto a la variable AF, indica que el ambiente no afectó de forma significativa a esta variable, aunque en otros trabajos de investigación se ha observado un comportamiento diferente entre ambientes, ya que el ambiente puede afectar la fisiología de la planta, y el crecimiento del fruto se ve afectado por diversos aspectos fisiológicos (Pyo-Hong *et al.*, 2020). Entre estos aspectos podemos mencionar el llenado de fruto se ve influenciado por las cubiertas de polietileno o de malla, aunque la producción de chiles bajo cubierta puede mejorar en la calidad fruto respecto al tamaño, lo cual es una característica deseada por los productores de este producto, por ser más atractiva para el mercado (Gonzales-Real, *et al.*, 2020).

Además, como se puede notar los cultivares AITANA F1 y UANJ111, obtenidos en malla, son ligeramente superiores en AF a los mismos materiales obtenidos en invernadero, mostrando una mejor adaptación al ambiente creado por el uso de malla.

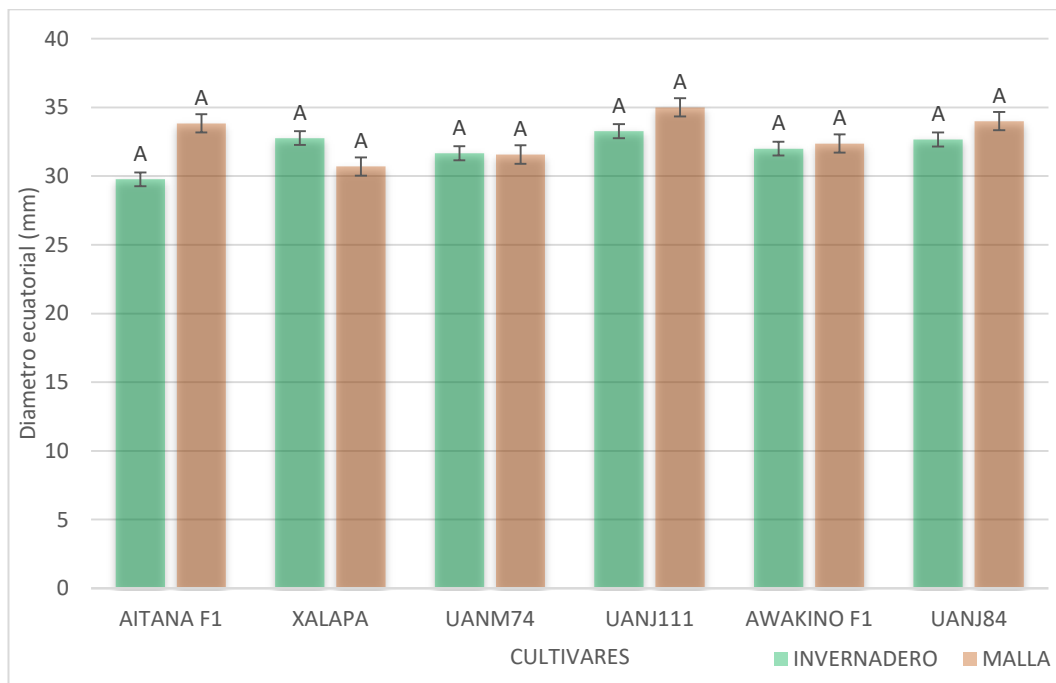


Figura 7. Ancho de frutos de chile obtenidos de los cultivos establecidos en invernadero y malla sombra.

Sólidos Solubles Totales (SST)

En cuanto a la variable SST el análisis de varianza muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre cultivares, mostrando que los cultivares AITANA F1 y XALAPA exhibieron los valores más altos en invernadero, mientras que el valor más alto en malla fue el mostrado por UANM74. El valor observado en XALAPA en invernadero fue significativamente superior (68%) al valor observado en malla, mientras que AITANA en invernadero mostró 13.96% más $^{\circ}$ Brix en invernadero que en malla sombra y fueron significativamente iguales. En cambio, UANM 74 en malla sombra supero en 16.38% al valor registrado por el mismo cultivar en invernadero. También se encontraron diferencias significativas entre ambientes, los frutos obtenidos de invernadero superaron significativamente en 13.79% más $^{\circ}$ Brix que los obtenidos en malla sombra, lo anterior es importante ya que a mayor es valores de $^{\circ}$ Brix los frutos

presentaran mayor cantidad de azúcares, mejorando el sabor de los frutos. Es importante mencionar que el sabor está relacionado con la calidad del fruto y en los ambientes protegidos se ha demostrado que es posible incrementar la calidad y rendimiento, logrando frutos con menor uso de agua y agroquímicos, lo cual contribuye a la sustentabilidad agrícola y mejora en la calidad de los productos hortofrutícolas (FAO, 2018). Nguyen et al., (2022) mencionan que el uso de diversas cubiertas plásticas mejora significativamente la calidad de los frutos específicamente de tomate y pimientos. El efecto de los plásticos sobre la fisiología de las plantas de Chile es muy importante para la calidad y aspecto de los frutos, la concentración de azúcares en fruto también puede ser afectada positivamente por la radiación y esto puede favorecer la calidad del fruto (Chi Liu et al., 2022). Finger y Pereira (2016) mencionan que uno de los efectos de luz sobre el fruto es la liberación de etileno el cual propicia el aumento de los azúcares en fruto, esto depende mucho de la época del año, fotoperiodo o estación del año en que se tiene el cultivo en campo.

En el caso de la malla la mayoría de los materiales muestran menor contenido de SST esto se debe a la reducción de la luz y por la temperatura que se presentó durante todo el experimento esto concuerda con lo reportado por Kwon *et al.*, (2023), quienes encontraron que el contenido de sólidos solubles totales se vio reducido por la baja radiación. En tomates y chiles cultivados bajo radiación óptima (400 a $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), los frutos suelen mostrar valores de SST más altos que los producidos con luz insuficiente (debido a menor fotosíntesis y transporte de azúcares (Ke *et al.*, 2021).

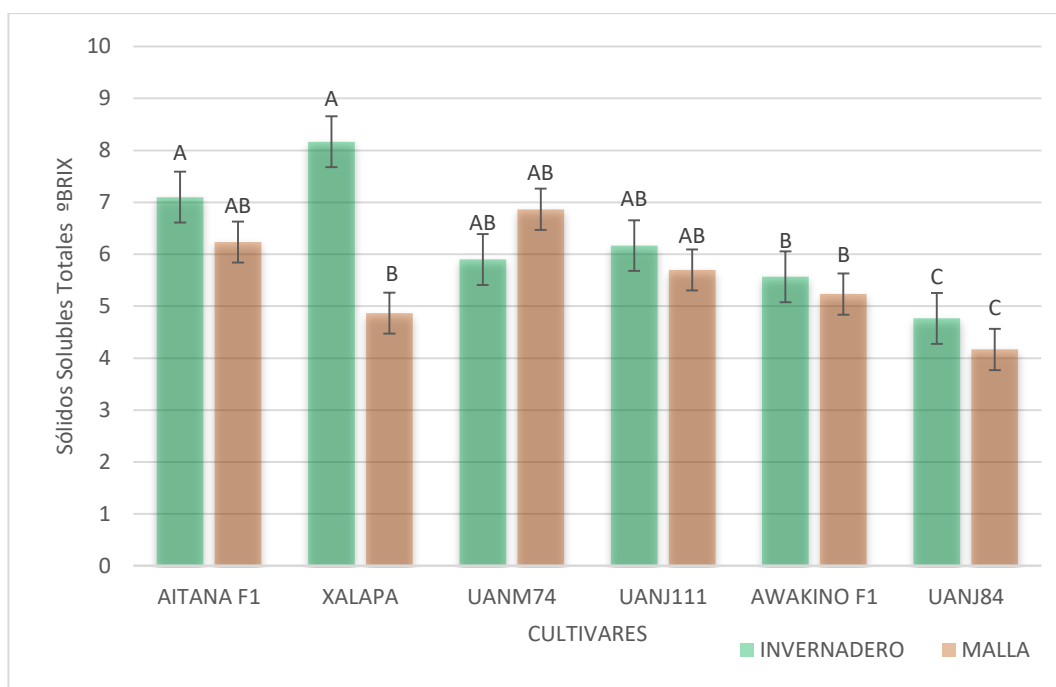


Figura 8. Contenido de sólidos solubles totales en frutos de chile, establecido en malla e invernadero.

Vitamina C (VC)

Se encontraron diferencias significativas entre ambientes, respecto a VC, el contenido de VC en invernadero fue significativamente ($p \leq 0.05$) superior al observado en malla sombra. Así mismo también se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre cultivares. La prueba de medias (Figura 9) muestra que la concentración de vitamina C en el cultivar XALAPA en invernadero fue significativamente superior en 16.93% al cultivar AWAKINO F1, que fue el cultivar que se ubicó en el segundo lugar. De acuerdo a lo observado en el presente trabajo, el ambiente generado en invernadero indujo un mayor contenido de VC, generando frutos de mejor calidad nutracéutica. Además, según lo mencionado por Vázquez, *et al.*, (2020) la presencia de vitamina C mejora el sabor y la firmeza de un fruto, lo cual aumenta su calidad y vida postcosecha, los mismos autores reportan que en promedio la concentración de vitamina C en 0.1 Kg de es de 96 mg, mientras que en este trabajo el cultivar XALAPA exhibió 34.33 mg. Además, la VC en invernadero supero en 12.16% a la cantidad de VC observada en malla sombra, también

se observa que todos los cultivares exhibieron un mejor comportamiento en invernadero que en malla sombra, respecto al contenido de VC

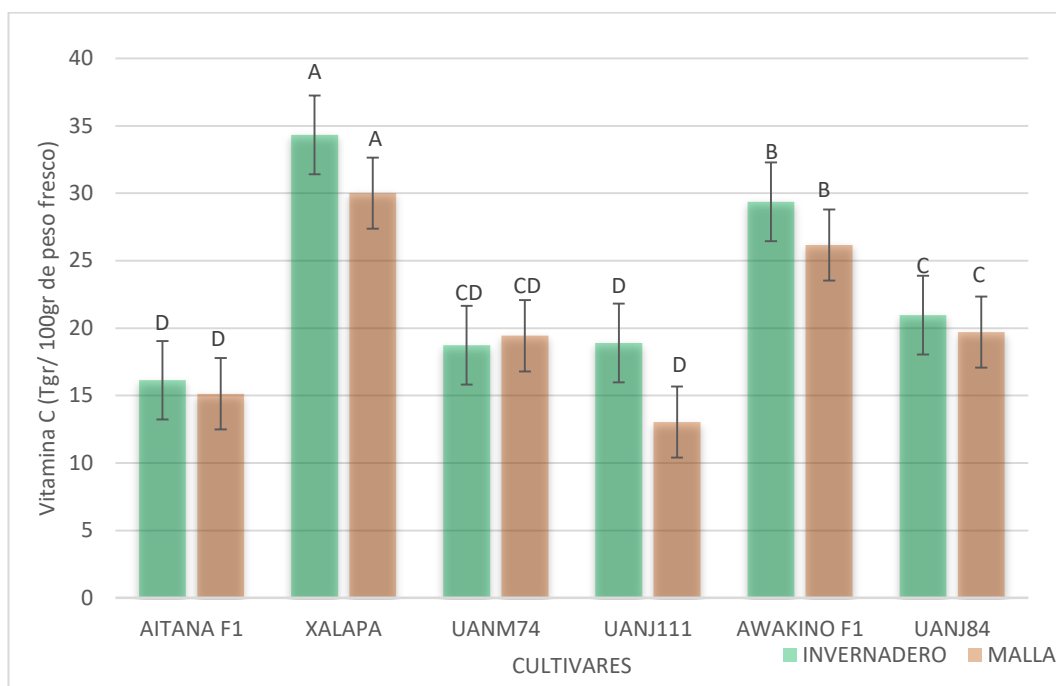


Figura 9. Contenido de Vitamina C en frutos frescos de chiles producidos en invernadero y malla, en Saltillo, Coah.

Los resultados obtenidos para las variables de SST y VC son muy similares lo cual indica que la condiciones en las que fueron establecidos los materiales favorecen a la calidad de fruto en sus contenidos fotoquímicos. La modificación ambiental generada por el uso de invernadero favoreció la acumulación de VC, en respuesta a algún factor físico generado por la cubierta del invernadero como lo indican Panthee *et al.*, (2012) de ahí los resultados de que ambas variables son similares. La intensidad lumínica y el tipo de cubierta favorece o afecta negativamente el contenido de VC y SST (Palmitessa, *et al.*, 2021) ya que la modificación del rango de luz, su calidad (longitud de onda), y el tipo de cubierta bajo la cual están establecidos los

materiales, además de como la luz penetra en el dosel de la planta (Loi, *et al.*, 2021) además de la síntesis de vitamina C la luz influye mucho en la síntesis de SST por su relación directa con la fotosíntesis.

Loi *et al.*, (2021) mencionan que, aunque la concentración de SST y VC son independientes una de la otra, si se ven afectadas por el entorno donde están establecidas las plantas. Factores como la luz (presencia/ausencia, intensidad y espectro) es un factor ambiental que influye fuertemente en la calidad del fruto. En numerosos cultivos (tomate, pimiento, fresa, hoja verde) se ha observado que mayor irradiancia y determinadas fracciones espectrales (especialmente luz azul) tienden a aumentar la acumulación de ácido ascórbico en tejidos de fruto y hoja; por otro lado, los SST (medidos como °Brix) responden tanto a la luz como a factores asociados (materia seca, estrés hídrico, balance fuente/vasija). Estas tendencias han sido demostradas experimentalmente y revisadas en la literatura reciente (Ntagkas, *et al.*, 2019). La luz eleva la demanda antioxidante y la capacidad antioxidante total del tejido; AsA forma parte del sistema antioxidante y puede acumularse como respuesta a un aumento de especies reactivas inducidas por luz (fotoprotección). Revisiones recientes sintetizan estos mecanismos moleculares y regulatorios. La luz eleva la demanda antioxidante y la capacidad antioxidante total del tejido; AsA forma parte del sistema antioxidante y puede acumularse como respuesta a un aumento de especies reactivas inducidas por luz (Zheng, *et al.*, 2022).

Firmeza de Fruto (FF)

En la variable FF el análisis de varianza muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los cultivares bajo estudio. El cultivar UANM 74 fue significativamente superior al genotipo UANJ 84, al cual supero en 53.9% bajo condiciones de invernadero y en 126% bajo condiciones de malla sombra (Figura 10). En malla sombra el cultivar Xalapa fue el que registro el valor mas alto con de 7.2 kg•cm⁻². La figura 10 muestra que algunos cultivares responden mejor al uso de invernaderos, pero otros responden mejor con el uso de malla sombra, afectando la firmeza de fruto, lo cual se traduce a una ventaja en cuestiones de exportación de este tipo de producto (SADER, 2025).

Además, lo anterior concuerda con lo dicho por Luna García *et al.*, (2021) quienes mencionan que la utilización de cultivares mejorados de chile exhiben mayor calidad y vida de anaquel, lo cual contribuye en dar un valor agregado a los productos obtenidos.

Como se puede observar cómo los cultivares UANJ111 y XALAPA establecidos en malla, superaron al mismo material establecido en invernadero, mientras que los cultivares AITANA F1, UANM 74, AWAKINO F1 y UANM84, mostraron un mejor comportamiento en invernadero; indicando que los materiales bajo estudio responden de forma diferente a los ambientes de producción bajo estudio. La temperatura afecta directamente la calidad de frutos de chile, entre más altas sea puede disminuir la firmeza de fruto (Cheng, *et al.*, 2023) los frutos de chile se ven mejorados en su calidad de fruto cuando son producidos en ambientes protegidos, como en invernaderos de alta tecnología (Jiménez- León *et al.*, 2013).

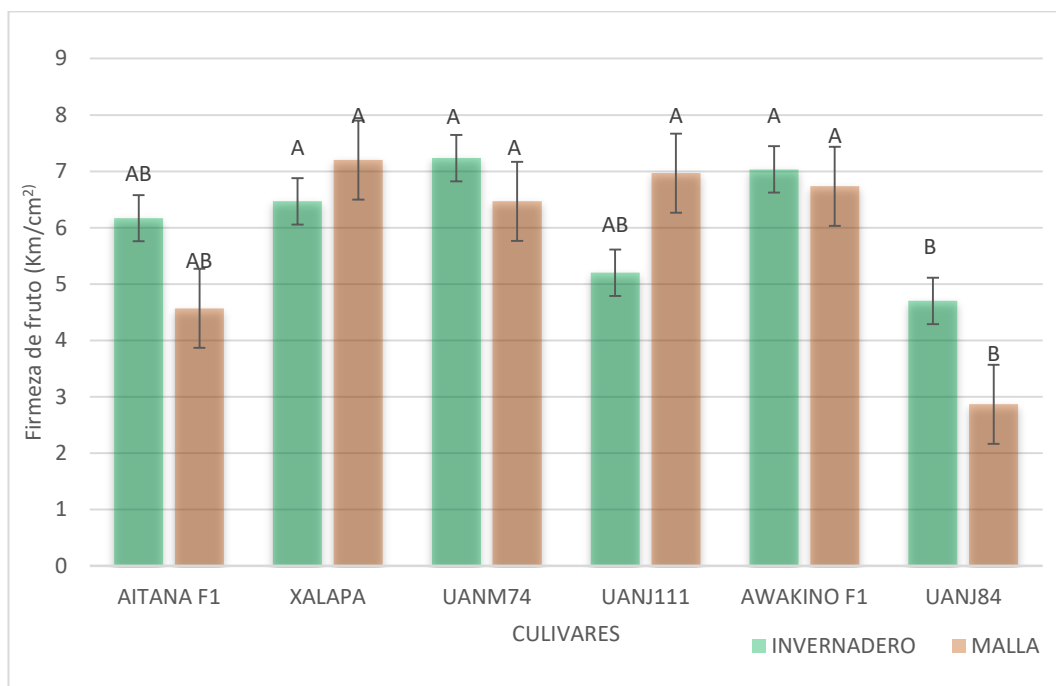


Figura 10. Firmeza de los frutos obtenidos de los diferentes chiles establecidos en invernadero y malla, en Saltillo, Coahuila.

CONCLUSIONES

Los cultivares de *Capsicum annuum* estudiados bajo invernadero y malla sombra respondieron de forma diferente a las condiciones generadas por cada ambiente de producción.

Los rendimientos observados en el presente trabajo de investigación, permiten afirmar que en invernadero o malla sombra se pueden lograr rendimientos significativamente superiores a los rendimientos medios nacionales para el cultivo de Chile.

El Cultivar AWAKINO F1 y UANJ 111, fueron los cultivares que presentaron los mayores rendimientos, superando significativamente los rendimientos promedios reportados a nivel nacional para el cultivo de Chile.

Entre cultivares se observaron diferencias significativas en atributos de calidad, sin embargo, solo en SST y VC se encontraron diferencias significativas debido al efecto ambiental generado en los dos tipos de cubiertas estudiadas.

REFERENCIAS

- Aboites Manrique, G., Félix Verduzco, G. (2011). Centroamérica: uso de semillas genéticamente mejoradas e incremento del ingreso de los agricultores. CEPAL, Naciones Unidas. Pag.: 7-8.
- Ahmed, S., Roro, AG, Beshir, HM y Haile, A. (2023). Respuestas fisiológicas, de crecimiento, rendimiento y calidad del chile picante según el nivel de sombra. *Revista Internacional de Ciencias Vegetales* , 29 (5), 375–402. <https://doi.org/10.1080/19315260.2023.2233955>
- Allali, F. E., Fatnassi, H., Demrati, H., Errais, R., Boulard, T., & Bekkaoui, A. (2025). Greenhouse cooling systems: A systematic review of research trends, challenges and recommendations for improving sustainability. *Cleaner Engineering and Technology*, 26, 100973. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.100973>
- AMHPAC. (2023). *Horticultura protegida en México*. (Consultado el 15 de noviembre del 2023). <https://amhpac.org/es/index.php/en>
- Andrés F, Coupland G. The genetic basis of flowering responses to seasonal cues. *Nat Rev Genet*. 2012 Sep;13(9):627-39. doi: 10.1038/nrg3291. PMID: 22898651.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. No. C/630.240 O3/2000.
- Banjare, C., Mahanta, D., Sahu, P., & Choudhary, R. (2024, 26 de junio). Una revisión exhaustiva sobre el cultivo protegido: importancia, alcance y situación actual. *Revista Internacional de Medio Ambiente y Cambio Climático*, 14(7).
- Bennett, D. J. and Kirby, G. W. 1968. *Constitution and biosynthesis of capsici*. *Journal of the Chemical Society C: Organic*. 442-446 pp. <https://doi.org/10.1039/J39680000442>.
- Blanco-Valdés, Yaisis, (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. *Cultivos Tropicales*, vol. 40, núm. 4, e09, 2019. Ediciones INCA.
- Bosland, W.P. (1996). Capsicums: Innovative, Uses Of An Ancient Crop. Pp.: 479-487. In: Janik (ed.), *Progress In New Crops*. Ashs Press, Arlington, Va.

- Carrodeguas-Gonzalez, A., & Zúñiga-Orozco, A. (2023). Métodos utilizados para la selección de parentales en pre-mejoramiento genético de plantas. *Cultivos Tropicales*, 43(2), e15. Recuperado a partir de <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1666>
- Castillo González, A. M., Ortiz Mendoza, E., Valdez Aguilar, L. A., Avitia, G. E., García Mateos M. R., Ybarra Moncada, Ma. C. Crecimiento, rendimiento y calidad de chile habanero bajo condiciones de malla sombra de diferentes colores. Growth, yield and quality of habanero chili grown under shade nets of different colors. *TECNOCIENCIA CHIHUAHUA*. Vol. 19 (1): e1662 (enero-abril. 2025).
- Cavallo, A. C., Tonelli, F., & Sala, S. (2025). Life cycle assessment of land use trade-offs in indoor agriculture. *Applied Sciences*, 15(8), 8429. <https://doi.org/10.3390/app15088429>
- Cedeño Guerra, J. L., Héctor Ardisana E. F., Torres García A., Fosado Téllez O. (2020). Respuestas del crecimiento y el rendimiento en pimiento (*Capsicum annum* L.) híbrido Nathalie a un lixiviado de vermicompost bovino. Growth and yield responses of pepper (*Capsicum annum* L.) hybrid Nathalie to a bovine vermicompost leachate. *LA TECNICA: la revista de las agrociencias*. La Técnica. Publicación semestral. Vicerrectoría Académica. Universidad Técnica de Manabí, ECUADOR.
- Cheng Y, Gao C, Luo S, Yao Z, Ye Q, Wan H, Zhou G, Liu C. Effects of Storage Temperature at the Early Postharvest Stage on the Firmness, Bioactive Substances, and Amino Acid Compositions of Chili Pepper (*Capsicum annum* L.). *Metabolites*. 2023 Jul 5;13(7):820. doi: 10.3390/metabo13070820. PMID: 37512527; PMCID: PMC10385654.
- Dedo, F., & Pereira, G. M. (2016). Fisiología y poscosecha de frutos de pimiento. En *Producción y cultivo de chiles (Capsicum spp.)* (pp. 27–40). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8>
- Elkins C., Iersel MWv (2020). Fotoperiodos más largos con la misma integral de luz diaria mejoran el crecimiento de plántulas de rudbeckia en invernadero. *HortScience* 55 (10), 1676–1682. doi: 10.21273/HORTSCI115200-20

- Escamirosa-Tinoco, Cirenio, Martínez-Gutiérrez, Gabino A., Morales, Isidro, Aquino-Bolaños, Teodulfo, Cortés-Martínez, Carlos I., & Cruz-Andrés, Oscar R.. (2021). Rendimiento de chile de agua bajo diferentes cubiertas de macrotúnel. *Revista fitotecnia mexicana*, 44(3), 333-340. Epub 31 de octubre de 2023. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.333>
- FAO. 2018. El futuro de la alimentación y la agricultura Vías alternativas hacia el 2050.
- FAO. 2022. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación.
- Farvardin, M., Taki, M., Gorjian, S., Shabani, E. y Sosa-Savedra, J.C. (2024). Evaluación de los aspectos físicos y ambientales del cultivo en invernadero: una revisión exhaustiva de los métodos convencionales e hidropónicos. *Sustainability*, 16 (3), 1273. <https://doi.org/10.3390/su16031273>
- Farvardin, M., Taki, M., Gorjian, S., Shabani, E. y Sosa-Savedra, J.C. (2024). Evaluación de los aspectos físicos y ambientales del cultivo en invernadero: una revisión exhaustiva de los métodos convencionales e hidropónicos. *Sustainability* , 16 (3), 1273. <https://doi.org/10.3390/su16031273>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *FAO Strategy on Climate Change 2022–2031*. Rome: FAO
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *World food and agriculture — Statistical yearbook 2024*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cd2971en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Introduction and advantages of protected cultivation systems [Infographic]. FAO. <https://www.fao.org/plant-production-protection/resources/publications/technical-factsheets-series-on-horticulture-crops-management/en>
- Gargaro, M., Van Straten, G., Hoogendoorn, J., & Hemming, S. (2024). A cradle-to-customer life-cycle assessment case-study of lettuce production in a commercial vertical farm. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143324>

- Gérard, M. (2024, octubre 18). 2024, un año de calamidades agrícolas impulsadas por el cambio climático. Le Monde. <https://www.lemonde.fr/> (Actualizado el 19 de octubre de 2024)
- Guan C, Jin Y, Zhang Z, Cao Y, Wu H, Zhou D, Shao W, Yang C, Ban G, Ma L, Wen X, Chen L, Cheng S, Deng Q, Yu H, Wang L. Fine Mapping and Candidate Gene Analysis of Two Major Quantitative Trait Loci, qFW2.1 and qFW3.1, Controlling Fruit Weight in Pepper (*Capsicum annuum*). *Genes (Basel)*. 2024 Aug 20;15(8):1097. doi: 10.3390/genes15081097. PMID: 39202456; PMCID: PMC11353679.
- Hernández Hernández, Brenda Nataly, Mario Alberto Tornero Campante, Engelberto Sandoval Castro, María de las Nieves Rodríguez Mendoza, Oswaldo Rey Taboada Gaytán, y Benjamín Valeriano Peña Olvera. 2021. «Crecimiento, Rendimiento Y Calidad De Chile Poblano Cultivado En hidroponía Bajo Invernadero». *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 12 (6). México, ME:1043-56. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2755>.
- Hong, J.-P., Ro, N., Lee, H.-Y., Kim, G. W., Kwon, J.-K., Yamamoto, E., & Kang, B.-C. (2020). Genomic selection for fruit-related traits in pepper (*Capsicum* spp.). *Frontiers in Plant Science*, 11, 570871. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.570871>
- Hwang, H., An, S., Pham, MD, Cui, M. y Chun, C. (2020). Las condiciones combinadas de fotoperiodo, intensidad lumínica y temperatura del aire controlan el crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate y pimiento rojo en un sistema cerrado de producción de trasplantes. *Sustainability*, 12 (23), 9939. <https://doi.org/10.3390/su12239939>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2025, octubre 21). Evalúan variedades e híbridos de chile en Valles Centrales de Oaxaca. <https://www.gob.mx/inifap/prensa/evaluan-variedades-e-hibridos-de-chile-en-valles-centrales-de-oaxaca?idiom=es>
- Jiménez-Viveros, Y., y Valiente-Banuet, JI (2023). Las mallas de sombreado de colores afectan de forma diferencial el perfil fitoquímico, la capacidad antioxidante y la calidad del fruto del chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabrusculum*). *Horticulturae*, 9 (11), 1240. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111240>

- Ke X, Yoshida H, Hikosaka S, Goto E. Optimization of Photosynthetic Photon Flux Density and Light Quality for Increasing Radiation-Use Efficiency in Dwarf Tomato under LED Light at the Vegetative Growth Stage. *Plants (Basel)*. 2021 Dec 31;11(1):121. doi: 10.3390/plants11010121
- Kwon YB, Lee JH, Roh YH, Choi IL, Kim Y, Kim J, Kang HM. Effect of Supplemental Inter-Lighting on Paprika Cultivated in an Unheated Greenhouse in Summer Using Various Light-Emitting Diodes. *Plants (Basel)*. 2023 Apr 17;12(8):1684. doi: 10.3390/plants12081684. PMID: 37111907; PMCID: PMC10143467.
- Lancaster, N. A. y Torres, A. P. (2019). Investigación de los factores que impulsan la diversificación agrícola en las explotaciones de frutas y hortalizas de Estados Unidos. *Sustainability*, 11 (12), 3380. <https://doi.org/10.3390/su11123380>
- León, JJ, Elías, JL, Huez López, MA, García López, AM, Ortiz, RS y Escoboza García, LF (2013). Calidad poscosecha y vida útil del pimiento verde (*Capsicum annum* L.) cultivado a campo abierto e invernadero. *Idesia*, 31 (4), 35-41. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000400005>
- Liu, X., Shi, R., Gao, M., He, R., Li, Y. y Liu, H. (2022). Efectos de la calidad de la luz LED en el crecimiento de plántulas de pimiento (*Capsicum* spp.) y su desarrollo tras el trasplante. *Agronomía*, 12 (10), 2269. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102269>
- Loi M., Villani A., Paciolla F., Mul G., Paciolla C. Retos y oportunidades de los diodos emisores de luz (LED) como clave para modular los compuestos antioxidantes en plantas: una revisión. *Antioxidant*. 2021;10:42. doi: 10.3390/antiox10010042
- Luna García, L. R., Robledo Torres, V., Ramírez Godina, F., Mendoza Villarreal, R., Pérez Rodríguez, M. Á., & Gordillo Melgoza, F. A. (2021). Comportamiento agronómico y nutracéutico de poblaciones F₂ desarrolladas de cruza interracial de Chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 1–14.
- Maier, C. R., Chavan, S. G., Klause, N., Liang, W., Cazzonelli, C. I., Ghannoum, O., Chen, Z.-H., & Tissue, D. T. (2023). Light-blocking film in a greenhouse differentially affects yield of *Capsicum annum* L.

- throughout the growing season. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1277037. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1277037>
- Martin, M., Abdallah, M., & Williams, H. (2024). Environmental life cycle assessment of an on-site modular vertical farm producing lettuce and basil. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1403580. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.140358>
- Mendoza-Elos, Mariano, Zamudio Alvarez, Luis Felipe, Cervantes Ortiz, Francisco, Chable Moreno, Francisco, Frías Pizano, Jesús, & Gámez Vázquez, Alfredo Josué. (2020). Rendimiento de semilla y calidad de fruto de chile habanero con fertilización química y orgánica. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1749-1761. Epub 13 de diciembre de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1960>
- Narayana Swamy, G., Srinivasulu, B., Madhumathi, C., & Tirupal, D. (2015). Evaluation of certain varieties and hybrids of *Capsicum* for quality attributes under shade net. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 5(3), 207–210.
- Nguyen GN, Lantzke N. Mitigating the Adverse Effects of Semi-Arid Climate on Capsicum Cultivation by Using the Retractable Roof Production System. *Plants (Basel)*. 2022 Oct 21;11(20):2794. doi: 10.3390/plants11202794. PMID: 36297818; PMCID: PMC9608960.
- Nico M., Miralles DJ, Kantolic AG (2019). Fotoperiodo natural postfloración y sensibilidad al fotoperiodo: Papel en los procesos que determinan el rendimiento en soja. *Field Crops Res.* 231, 141–152. doi: 10.1016/j.fcr.2018.10.019
- Ntagkas, N., Woltering, E., Bouras, S., de Vos, RCH, Dieleman, JA, Nicole, CCS, Labrie, C. y Marcelis, LFM (2019). La acumulación de vitamina C inducida por la luz en las frutas de tomate es independiente de la disponibilidad de carbohidratos. *Plantas*, 8 (4), 86. <https://doi.org/10.3390/plants8040086>
- Olmos Soto, X. (2019). La sostenibilidad en el comercio internacional: instrumentos y práctica utilizadas por productores y empresas. CEPAL, Naciones Unidas. N.:1. Pag.: 12-16.
- Palmitessa OD, Durante M, Caretto S, Milano F, D'Imperio M, Serio F, Santamaria P. Supplementary Light Differently Influences Physico-

- Chemical Parameters and Antioxidant Compounds of Tomato Fruits Hybrids. *Antioxidants* (Basel). 2021 Apr 27;10(5):687. doi: 10.3390/antiox10050687. PMID: 33925644; PMCID: PMC8145936.
- Panthee, DR, Cao, C., Debenport, SJ, Rodríguez, GR, Labate, JA, Robertson, LD, Breksa, AP, van der Knaap, E. y McSpadden Gardener, BB (2012). Magnitud de las interacciones entre genotipo y ambiente que afectan la calidad del fruto del tomate. *HortScience* , 47 (6), 721–726. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.6.721>
- Payili, P. (2025). AI in agriculture: Smart greenhouses and indoor farming systems. *International Journal of Science and Research Archive*, 14(1), 315-322. <https://doi.org/10.30574/ijra.2025.14.1.0054>
- Pennisi, G. (2025). Vertical farming: Productivity, environmental impact, and perspectives. *Agronomy for Sustainable Development*, 45(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s13593-025-01055-w>
- Pramanik, K., Mohapatra, P. P., Pradhan, J., Acharya, L. K., & Jena, C. (2020). Factors influencing the performance of capsicum under protected cultivation: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 10(12), 572–588. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2020/v10i1230339>
- Pratt, C., Gutiérrez, C., & Vásquez, E. (2019). Protected Agriculture in Mexico. *Inter-American Development Bank*. <https://publications.iadb.org/en/protected-agriculture-mexico>
- Ramírez, M. y Méndez, R. (s/f). Mejoramiento genético de los chiles comerciales en México.
- Ramírez-Luna, E.; Castillo-Aguilar, C. de la C.; Aceves-Navarro, E.; Carrillo-Avila, E. EFECTO DE PRODUCTOS CON REGULADORES DE CRECIMIENTO SOBRE LA FLORACIÓN Y AMARRE DE FRUTO EN CHILE 'HABANERO' REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA, vol. 11, núm. 1, enero-junio, 2005, pp. 93-98 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México
- Rivera Trujillo, A. J., Camposeco Montejo, N., Gordillo Melgoza, F. A., & Álvarez Vázquez, P. (2023). Chile pimiento morrón. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- SADER (2022,13 de febrero) México, principal exportador mundial de pimientos frescos: Agricultura. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado el 11 de septiembre del 2023. https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal_exportador-mundial-de-pimientos-frescos
[agricultura#:~:text=Agricultura%20destac%C3%B3%20que%2C%20en%20el,participaci%C3%B3n%20de%2023.6%20por%20ciento.](https://www.gob.mx/agricultura#:~:text=Agricultura%20destac%C3%B3%20que%2C%20en%20el,participaci%C3%B3n%20de%2023.6%20por%20ciento.)
- SADER (2022,13 de febrero) México, principal exportador mundial de pimientos frescos: Agricultura. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado el 11 de septiembre del 2023. https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal_exportador-mundial-de-pimientos-frescos
[agricultura#:~:text=Agricultura%20destac%C3%B3%20que%2C%20en%20el,participaci%C3%B3n%20de%2023.6%20por%20ciento.](https://www.gob.mx/agricultura#:~:text=Agricultura%20destac%C3%B3%20que%2C%20en%20el,participaci%C3%B3n%20de%2023.6%20por%20ciento.)
- SADER- AMHPAC. (2023). Producción Agrícola: agricultura protegida. (Consultado el 15 de noviembre del 2023). <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- SADER.2021. PROYECCIÓN DE LA PRODUCCION Y CULTIVO DEL CHILE 2030.
- SAGARPA (s/f) *Chiles y pimientos mexicanos*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado el 11 de septiembre del 2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257072/Potencial-Chiles_y_Pimientos-parte_uno.pdf
- Sanchez del Castillo, F., Moreno-Pérez, E., Reséndiz- Melgar, C., Colinas-León, M. T., Rodríguez Pérez, J.E. (2017). *Producción de pimientos morrón (Capsicum annum L.) en ciclos cortos*. Agrocienca vol.51 no.4
- SAS. 2002. Statistical Analysis System. Institute. User's Guide of SAS. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 550 p.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Agricultura protegida ubica a México entre los principales productores de frutas y hortalizas*. [Comunicado de prensa]. Consultado el 6 de octubre del 2023.

<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/agricultura-prottegida-ubica-a-mexico-entre-los-principales-productores-de-frutas-y-hortalizas>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Agricultura protegida ubica a México entre los principales productores de frutas y hortalizas. [Comunicado de prensa]. Consultado el 6 de octubre del 2023.

<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/agricultura-prottegida-ubica-a-mexico-entre-los-principales-productores-de-frutas-y-hortalizas>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, 28 de enero). México, entre los principales productores de chile verde en el mundo: Agricultura. Gobierno de México.

<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-entre-los-principales-productores-de-chile-verde-en-el-mundo-agricultura>

Sharma, P., Kaur, M., Shilpa, Sharma, A., & Bhardwaj, N. (2021). Breeding SIAP. (2023). *Avance de Siembras y Cosechas*. Consultado el 6 de octubre del 2023). https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

SIAP. (2023). *Avance de Siembras y Cosechas*. Consultado el 6 de octubre del 2023). https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Silverstein, R. M.; Webster, F. X. and Kiemle, D. J. 1998. Infrared spectrometry. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 7th. edition; John Wiley. New York. 72-108 pp.

Steiner-Abram A. (1984). The universal nutrient solution. In: Proc. International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. 6th. Edition. 633-650 pp

Tridge. (2024). Global market report: Dried and fresh chili peppers—Export trends 2023–2024. Tridge. <https://www.tridge.com>

Vargas-Canales, J. M., de Gortari-Rabiela, R., Estrada, S., & Hernández-Hernández, B. (2024). Diseño metodológico para la evaluación de impactos de la agricultura protegida en México. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 29, 1–11. Recuperado a partir de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4608>

Vázquez, D., Salas-Pérez L., González J. A., De la Cruz E., Sánchez E. y Preciado P. 2020. Commercial and nutraceutical quality Jalapeño pepper affected by salicylic and acid levels. *Interciencia* 45(9):423-427

- Vázquez, D., Salas-Pérez L., González J. A., De la Cruz E., Sánchez E. y Preciado P. (2020). Commercial and nutraceutical quality Jalapeño pepper affected by salicylic and acid levels. *Interciencia* 45(9):423-427
- Vázquez-Vázquez, C., García-Hernández, J. L., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., Valdez-Cepeda, R. D., Orona-Castillo, I., & Preciado-Rangel, P. (2011). Aplicación de estiércol solarizado al suelo y la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 17(SPE1), 69-74.
- Volsi, B., Higashi, GE, Bordin, I. *et al.* La diversificación de especies en la rotación de cultivos aumenta la rentabilidad de los sistemas de producción de granos. *Sci Rep* 12, 19849 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23718-4>
- Wu, L., Qiu, Y., Lin, S., Zhang, R., Wang, L., Li, Y. y Cao, Y. (2024). Análisis de la diversidad genética de *Capsicum frutescens* basado en la tecnología de secuenciación genómica simplificada. *Horticulturae*, 10 (9), 1004. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10091004>
- Zheng, X., Gong, M., Zhang, Q., Tan, H., Li, L., Tang, Y., Li, Z., Peng, M. y Deng, W. (2022). Metabolismo y regulación del ácido ascórbico en frutas. *Plants*, 11 (12), 1602. <https://doi.org/10.3390/plants1112>
- Zhou, W., Li, Y., & Zhao, J. (2024). Integrated pest management: An update on the sustainability of pest control in agriculture. *ACS Omega*, 9(5), 40560–40574. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>