



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD OAXACA**

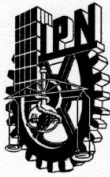
**DOCTORADO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN
Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES
(PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL)**

**Manejo intensivo del chile de agua en ambientes protegidos,
para mejorar su rendimiento, la calidad y propiedades nutricionales
del fruto**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA
OSCAR ROBERTO CRUZ ANDRÉS

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, diciembre de 2019



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca siendo las 13:30 horas del día 27 del mes de noviembre del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR OAXACA para examinar la tesis titulada:
Manejo intensivo del chile de agua en ambientes protegidos, para mejorar su rendimiento, la calidad y propiedades nutricionales del fruto.

Presentada por el alumno:

Cruz
Apellido paterno
Nombre(s): Oscar Roberto

Andrés
Apellido materno

Con registro:

B	1	5	0	5	6	4
---	---	---	---	---	---	---

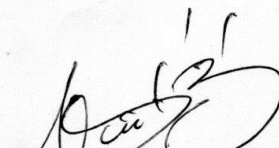
aspirante de:

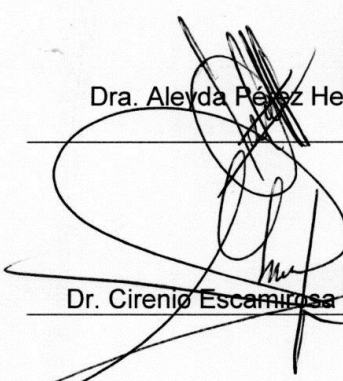
Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

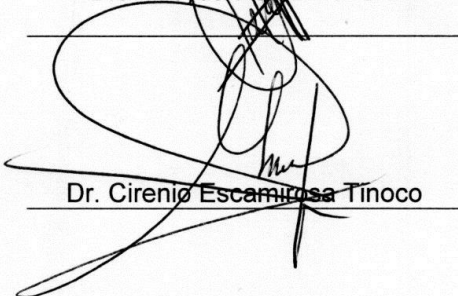
LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis


Dr. Gabino Alberto Martínez
Gutiérrez


Dra. Aleyda Pérez Herrera



Dr. Jaime Ruiz Vega

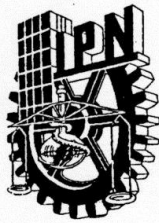

Dr. Cirenio Escamilla Tinoco


Dr. Isidro Morales García

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez


CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca el día 27 del mes de noviembre el año 2019, el (la) que suscribe Oscar Roberto Cruz Andrés alumno(a) del Programa de Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales con número de registro B150564, adscrito a Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez y de la Dra. Aleyda Pérez Herrera y cede los derechos del trabajo titulado: Manejo intensivo del chile de agua en ambientes protegidos, para mejorar su rendimiento, la calidad y propiedades nutricionales del fruto al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección inayotl@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

Oscar Roberto Cruz Andrés

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca 423967, otorgada para efectuar mis estudios de doctorado y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, del Instituto Politécnico Nacional, institución que me permitió llevar a cabo mi formación doctoral en sus instalaciones.

A mi tutor y amigo, Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez por todo su apoyo y enseñanzas durante estos años en que he trabajado con él. A la Dra. Aleyda Pérez Herrera por facilitarme el acceso para trabajar en el Laboratorio de Nutrigenómica del CIIDIR-Oaxaca, por su asesoría en las técnicas analíticas y sus amables observaciones.

Al Dr. Isidro Morales García por su apoyo, por su amistad y por todas las enseñanzas en cuestiones agronómicas y estadísticas. Al Dr. Cirenio Escamirosa Tinoco por su ayuda en el procesamiento de datos microclimáticos, así como por alentarme para finalizar este trabajo. Al Dr. Jaime Ruiz Vega por sus valiosas y acertadas observaciones para mejorar esta tesis.

Al Dr. Teodulfo Aquino Bolaños por su amistad, buen humor y sus observaciones para mejorar el trabajo. Al Dr. David Martínez Sánchez por proporcionarme las semillas del genotipo “Ejutla”, por sus consejos agronómicos y por su amistad.

Al Dr. Marco Antonio Sánchez Medina por los análisis que se realizaron en el Laboratorio de Alimentos del Instituto Tecnológico de Oaxaca.

Al Sr. Arnulfo Andrés Gutiérrez por proporcionarme las semillas del genotipo “Abasolo” que fueron utilizadas en este trabajo

A todos los estudiantes y trabajadores externos que me ayudaron en el campo experimental: Antonio, Edgar, Jesús, Erasmo, Olga, Uriel, Alfonso, Roberto, Salomón, Adolfo, Sofía, Martín, Jorge, Cástulo, Carrillo y Edmundo

A los trabajadores y ex trabajadores del CIIDIR-Oaxaca que me ayudaron en el trabajo cotidiano y me brindaron su amistad: Néstor Pérez Paz, Ricardo Sandoval Delgado y Enrique Frasco Tapia.

A mis compañeros de generación: Sahylín, Gloria, Elia, Hugo, Jonás, Octavio, Toño y Edwin, por su amistad y apoyo.

DEDICATORIA

A mis padres: Petra Candelaria Andrés Gutiérrez y Amador Cruz Morales, que siempre serán mi ejemplo de vida.

A mi esposa, amiga y colega: Rocío García Paz, que con su sonrisa y su amor incondicional es mi más bella motivación para seguir adelante, día con día.

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE CUADROS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo general	3
3.2. Objetivos particulares	3
4. HIPÓTESIS	3
5. REVISIÓN DE LITERATURA	3
5.1. Clasificación taxonómica	3
5.2. Importancia del género <i>Capsicum</i>	4
5.3. El chile de agua (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	4
5.4. Descripción botánica	5
5.5. Compuestos nutraceuticos en <i>Capsicum annuum</i>	6
5.6. Importancia del cultivo de chile de agua.....	7
5.7. Usos del chile de agua	8
5.8. Comercialización del chile de agua	9
5.9. Condiciones ambientales para el cultivo del chile de agua	9
5.9.1. Temperatura	9
5.9.2. Humedad relativa	10
5.9.3. Déficit de presión de vapor (DPV).....	10
5.9.4. Radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI)	11
5.10. Agricultura protegida	12
5.10.1. Los plásticos en la agricultura protegida.....	14
5.11. Crecimiento de las plantas	17
5.12. Rendimiento	17
5.13. Calidad	18
5.13.1. Calidad comercial	18
5.13.2. Calidad nutrimental.....	19

6.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
6.1.	Ubicación.....	25
6.2.	Genotipos	25
6.3.	Germinación y trasplante.....	26
6.4.	Construcción de los macrotúneles.....	26
6.5.	Fertirriego	28
6.6.	Diseño experimental.....	29
6.7.	VARIABLES EVALUADAS	29
6.7.1.	VARIABLES MICROCLIMÁTICAS.....	29
6.7.2.	Crecimiento de las plantas.....	31
6.7.3.	Rendimiento.....	31
6.7.4.	Calidad comercial del fruto.....	32
6.7.5.	Calidad nutrimental del fruto	32
6.8.	Análisis de datos	36
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
7.1.	VARIABLES MICROCLIMÁTICAS	37
7.1.1.	Temperaturas y humedad relativa	37
7.1.2.	Déficit de presión de vapor	38
7.1.3.	Radiación fotosintéticamente activa integrada.....	39
7.2.	Crecimiento de las plantas	40
7.2.1.	Diámetro del tallo y altura de la planta	40
7.3.	Rendimiento	42
7.3.1.	Peso promedio del fruto y rendimiento	42
7.4.	Calidad comercial del fruto	45
7.4.1.	Diámetro y longitud del fruto	45
7.4.2.	Calidades.....	46
7.5.	Calidad nutrimental del fruto.....	49
7.5.1.	Humedad y cenizas	50
7.5.2.	Acidez titulable, pH y sólidos solubles totales.....	51
7.5.3.	Proteína, fibra, grasas, carbohidratos y contenido calórico.....	55
7.5.4.	Fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante.....	58
8.	CONCLUSIONES.....	60

9. LITERATURA CITADA.....	62
---------------------------	----

RESUMEN

El chile de agua es una hortaliza de importancia económica y social en la región Valles Centrales de Oaxaca. Sin embargo, en los últimos quince años ha sufrido una significativa disminución tanto en superficie sembrada como en producción. Los principales problemas que han contribuido a su declive son la incidencia de enfermedades, el ataque de plagas, la escasez de agua para riego y el incremento en los costos de su producción por el uso indiscriminado de agroquímicos. Los macrotúneles son estructuras de protección de cultivos, de fácil instalación y manejo, que pueden ayudar a paliar algunos de los problemas actuales que presenta el cultivo del chile de agua a campo abierto. En este trabajo se evaluaron los cambios microclimáticos al interior de tres macrotúneles con distintos materiales plásticos de cubierta: malla antifríos (M), polietileno transparente (PT) y polietileno verde (PV); así como su efecto sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de chile de agua cultivados en su interior, en comparación al cultivo a campo abierto (CA). Los macrotúneles cubiertos con M, PT y PV, aumentaron la temperatura diurna, sin generar inercia térmica nocturna. No modificaron la humedad relativa, pero disminuyeron la radiación fotosintéticamente activa integrada incidente al cultivo y el déficit de presión de vapor aumentó significativamente. El rendimiento, diámetro, longitud de los frutos, así como los porcentajes de frutos de primera y de segunda calidad comercial fueron mayores bajo las tres cubiertas. En cuanto a la calidad nutrimental, el contenido de sólidos solubles totales fue mayor en los frutos cultivados dentro de las cubiertas M y PT; el contenido de fibra dietética fue mayor debajo de M; el contenido de fenoles totales, flavonoide y capacidad antioxidante fue mayor en los frutos cultivados dentro del macrotúnel con la cubierta PT; el contenido de proteína y el contenido calórico fueron mayores en los frutos cultivados en CA y dentro de las cubiertas PT y PV. No se encontraron diferencias en el contenido de humedad, cenizas, ácido cítrico, pH, grasas y carbohidratos, entre los frutos cultivados bajo las cubiertas plásticas y los frutos cultivados a campo abierto.

Palabras clave: Macrotúneles, *Capsicum annum*, cubiertas plásticas, calidad comercial, calidad nutrimental, variables microclimáticas, chile de agua.

ABSTRACT

The “chile de agua” is a crop of economic and social importance in the Central Valleys region of Oaxaca. However, in the last fifteen years it has suffered a significant decrease in cultivated area and production. The main problems that have contributed to this decline are the incidence of diseases, the attack of pests, the shortage of water for irrigation and the increase in production costs due to the indiscriminate use of agrochemicals. The macro-tunnels are crop protection structures, easy to install, easy to use and that can help mitigate some of the problems of growing “chile de agua” in the open field. In this work, microclimatic changes within three macro-tunnels with different plastic cover materials were evaluated: anti-aphids mesh (M), transparent polyethylene (PT) and green polyethylene (PV); as well as the effect on the yield and quality of “chile de agua” fruits grown inside, compared to open field cultivation (CA). The macro-tunnels covered with M, PT and PV increased the daytime temperature without generating nocturnal thermal inertia. The covers did not modify the relative humidity, but decreased the photosynthetically integrated radiation incident on the crop and the vapor pressure deficit increased significantly. The yield, diameter, length of the fruits and the percentages of fruits of first and second commercial quality were higher under the three covers. Regarding nutritional quality, the total soluble solids content was higher in fruits grown under the M and PT covers; dietary fiber content was higher within M; the total phenolic content, flavonoid content and antioxidant capacity was higher in fruits grown inside the macro-tunnel with the PT cover; protein and caloric contents were higher in fruits grown in CA and under the PT and PV covers. No significant differences were found in the moisture content, ashes, citric acid, pH, fats and carbohydrates, between fruits grown under plastic covers and fruits grown in open field.

Keywords: Macro-tunnels, *Capsicum annum*, plastic covers, commercial quality, nutritional quality, microclimatic variables, chile de agua.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Municipios productores de chile de agua y hectáreas cultivadas en cada uno de ellos en 2017.	7
Cuadro 2. Propiedades de los materiales plásticos utilizados como cubierta para la construcción de los macrotúneles	27
Cuadro 3. Proporción de cationes y aniones de la solución nutritiva utilizada para el fertirriego de las plantas de chile de agua cultivadas dentro de los macrotúneles y a campo abierto	28
Cuadro 4. Valores promedio de temperatura diurna, temperatura nocturna, humedad relativa, déficit de presión de vapor y radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI), durante cada uno de los experimentos.....	37
Cuadro 5. Valores promedio de diámetro del tallo y altura de la planta de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.....	40
Cuadro 6. Análisis combinado del diámetro de tallo y altura de la planta.....	41
Cuadro 7. Valores promedio de peso del fruto y rendimiento de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.	42
Cuadro 8. Análisis combinado del peso del fruto y rendimiento.	44
Cuadro 9. Valores promedio de diámetro y longitud del fruto de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.	45
Cuadro 10. Análisis combinado del diámetro y longitud del fruto.	46
Cuadro 11. Porcentaje de frutos de cada categoría de calidad comercial, de cada genotipo y en cada uno de los experimentos.....	47
Cuadro 12. Análisis combinado de los porcentajes de frutos de cada categoría de calidad comercial.	49
Cuadro 13. Valores promedio de porcentaje de humedad y contenido de cenizas de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.	50
Cuadro 14. Análisis combinado del porcentaje de humedad y contenido de cenizas.	51
Cuadro 15. Valores promedio de acidez titulable, pH y sólidos solubles totales de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.	52
Cuadro 16. Análisis combinado de acidez titulable, pH y sólidos solubles totales.	53
Cuadro 17. Matriz de valores P del análisis de regresión múltiple y coeficientes de determinación (R^2) para la relación de las variables de crecimiento de la planta, de rendimiento, de calidad y fisicoquímicas, con las variables microclimáticas.	54
Cuadro 18. Valores promedio de proteína, fibra, grasas, carbohidratos y contenido calórico del genotipo Ejutla, en cada uno de los experimentos.	55
Cuadro 19. Análisis combinado de proteína, fibra, grasas, carbohidratos y contenido calórico.	56
Cuadro 20. Matriz de valores P del análisis de regresión múltiple y coeficientes de determinación (R^2) para la relación de las variables bromatológicas y de compuestos bioactivos, con las variables microclimáticas.....	58

Cuadro 21. Valores promedio de contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante del genotipo Ejutla, en cada uno de los experimentos.	58
Cuadro 22. Análisis combinado del contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante.	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. a) Flor y b) fruto del chile de agua (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	6
Figura 2. Tipos de estructuras de protección utilizadas en la agricultura protegida mexicana y porcentaje de cada una con respecto al total nacional (SIAP, 2015)	13
Figura 3. a) Vista panorámica de los macrotúneles construidos en el campo experimental del CIIDIR-Oaxaca. b) Vista exterior, con medidas, de uno de los macrotúneles construidos.	27
Figura 4. Distribución de los tratamientos y sus repeticiones. El cuadro rojo muestra las cinco plantas que constituyen la unidad experimental.	29
Figura 5. Curva estándar utilizada para determinar el contenido de fenoles totales en las muestras.....	34
Figura 6. Curva estándar utilizada para determinar el contenido de flavonoides en las muestras.....	35
Figura 7. Curva estándar utilizada para determinar la capacidad antioxidante en las muestras.	36

1. INTRODUCCIÓN

Según datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SAGARPA, 2018), el chile es uno de los cultivos más importantes a nivel nacional, ya que en el año de 2017 se cultivaron cerca de 2.8 millones de toneladas de esta hortaliza, con un valor estimado en poco más de 29 mil millones de pesos, lo que representa el 19.3% del valor total de la producción hortícola del país.

La adaptabilidad de las distintas variedades de chile a los diversos climas y tipos de suelo permite que se pueda cultivar en los 32 estados de la República Mexicana, lo que contribuye a que nuestro país posea la mayor variabilidad genética del género *Capsicum* (Aguirre y Muñoz, 2015). El chile, además de ser un condimento muy popular, también es fuente de colorantes naturales y compuestos que se utilizan en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica a nivel mundial.

El chile de agua (*Capsicum annuum* L.) tiene una amplia demanda durante todo el año por parte de los consumidores de la región Valles Centrales de Oaxaca, debido a que presenta características organolépticas como sabor, olor, color, forma y tamaño que permiten que pueda ser preparado en una gran variedad de formas para su consumo (Castellón-Martínez *et al*, 2012).

La mayoría de los productores de dicha región siguen cultivando el chile de agua como se ha venido haciendo desde la década de 1970, es decir, sembrando las semillas en almácigos de tierra para posteriormente trasplantar las plántulas al suelo, a cielo abierto y regándolas por gravedad con canales de tierra (Castañeda, 2005).

Lo anterior ha ocasionado que la producción del chile de agua se vea afectada por distintos problemas, entre los más importantes la incidencia de enfermedades virales (Guichard, 1996; Vásquez *et al.*, 2009), fungosas y bacterianas; el ataque de insectos fitófagos y vectores de enfermedades (Aragón, 2002); el deterioro de los suelos agrícolas por el uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos y la pérdida de materia orgánica; el incremento en los costos de su producción debido al uso intensivo de insecticidas, fungicidas, antibióticos y fertilizantes (Bravo y López, 2007). Estos problemas han contribuido a una disminución en su cultivo, pues en 2003 la superficie estatal sembrada era de 401 hectáreas, con una producción de 2,160 toneladas,

mientras que para 2017 la superficie disminuyó a 248 hectáreas con una producción de 1,679 toneladas, es decir, un decremento de 38.15% y 22.27% en superficie sembrada y producción, respectivamente (SAGARPA, 2018).

A pesar de las limitantes que tiene el agroecosistema del chile de agua en los Valles Centrales de Oaxaca, este cultivo está fuertemente ligado a la calidad de vida de las familias campesinas, pues genera un alto número de empleos para las comunidades que lo producen (López, 1986) y es una buena fuente de ingresos para las familias de la región al ser un cultivo redituable por su constante demanda en el mercado regional (Virgen, 2006; Ambrosio, 2007).

Aunque en México existe la tendencia al aumento de la producción agrícola bajo estructuras de protección, su uso es muy bajo en el estado de Oaxaca. En 2017, de las 5,165 hectáreas de la superficie sembrada con hortalizas solo en el 10% se utilizaron invernaderos, siendo el tomate rojo (*Solanum lycopersicum*) la especie que se cultivó en la totalidad de dichas estructuras (SAGARPA, 2018).

En algunas investigaciones previas sobre el cultivo chile de agua se han utilizado invernaderos con cubierta de polietileno e invernaderos con cubierta de cristal a dos aguas para el estudio de aspectos tales como la caracterización de distintos genotipos (Martínez, 2010), la evaluación del vigor de algunos híbridos (Castañeda, 2013), la producción utilizando distintas concentraciones de solución nutritiva de Steiner en cultivo hidropónico (Domínguez, 2012; Aparicio 2013), para cuantificar la concentración de capsaicinoides y otros compuestos en frutos en cultivo hidropónico (Vázquez, 2005), el crecimiento en asociación a micorrizas (López, 2013), su rendimiento bajo poda (Zúñiga, 2012) o la aplicación de homeopáticos para el control de plagas (Martínez-Tomás et al., 2015). Sin embargo, ningún estudio previo se ha enfocado a evaluar los cambios fisiológicos, de rendimiento y nutricionales de este chile al ser cultivado dentro de estructuras de protección tipo túnel alto o macrotúnel, con distintos materiales de cubierta.

2. JUSTIFICACIÓN

Un tipo de estructuras de protección que podrían ser usadas para el cultivo del chile de agua en la región de los Valles Centrales son los macrotúneles. Los macrotúneles son estructuras de instalación y manejo relativamente fáciles, y tienen un costo menor que los invernaderos.

Los macrotúneles podrían representar una opción más accesible para muchos de los agricultores de la región que buscan un aumento en la productividad de sus cultivos de chile de agua. Sin embargo, no hay información técnica específica acerca del uso de este tipo de estructuras para el cultivo de chile de agua, ni cómo influyen en el rendimiento de su producción y en la calidad de sus frutos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Caracterizar los cambios sobre el crecimiento de la planta, el rendimiento y calidad de los frutos de dos genotipos de chile de agua cultivados al interior de macrotúneles con distintos materiales de cubierta.

3.2. Objetivos particulares

Caracterizar los cambios en el microclima de los macrotúneles, inducidos por los distintos materiales de cubierta.

Caracterizar las diferencias en el crecimiento de las plantas de chile de agua cultivados bajo macrotúneles con distintas cubiertas, en comparación a las cultivadas a cielo abierto.

Caracterizar las diferencias en el rendimiento del chile de agua cultivado bajo macrotúneles con distintas cubiertas, en comparación al cultivado a cielo abierto.

Caracterizar las diferencias en la calidad de los frutos de chile de agua cultivados bajo macrotúneles con distintas cubiertas, en comparación a los cultivados a cielo abierto.

4. HIPÓTESIS

El rendimiento y la calidad de frutos de chile de agua aumentan cuando son cultivados en macrotúneles.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Clasificación taxonómica

Según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos (NRCS-USDA 2019), el chile de agua se puede clasificar taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Familia: Solanaceae

División: Magnoliophyta

Género: *Capsicum* L.

Clase: Magnoliopsida

Especie: *Capsicum annuum* L.

Orden: Solanales

5.2. Importancia del género *Capsicum*

Todas las especies del género *Capsicum* tuvieron su origen en el continente americano y antes de la llegada de los españoles su distribución abarcaba desde el extremo meridional de lo que actualmente es Estados Unidos hasta la zona cálido-templada de Sudamérica. El chile, junto con la calabaza, el maíz y el frijol constituyeron la base alimentaria de las culturas mesoamericanas desde tiempos inmemoriales, evidencia de ello son los vestigios arqueológicos que han demostrado que el chile fue cultivado desde el año 7,000 al 2,555 a. C. en las localidades de Tehuacán y de Ocampo, en los actuales estados de Puebla y Tamaulipas, respectivamente (Aguirre y Muñoz, 2015).

El género *Capsicum* pertenece a la familia de las Solanáceas y está conformado por 31 especies, de las cuales cinco han sido domesticadas para su cultivo: *Capsicum chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. annuum*.

Capsicum annuum es la especie más importante no solo por la extensión de su cultivo y el valor económico de su producción, sino porque también agrupa a la mayor variedad de chiles cultivados y silvestres. Aunado a ello el centro de diversificación y de domesticación de esta especie se originó en el sureste mexicano (Kraft *et al.*, 2013).

5.3. El chile de agua (*Capsicum annuum* L.)

El chile de agua debe su nombre a que es un chile que requiere de mucha agua para su producción. Es considerado como un cultivo endémico de la región Valles Centrales del estado de Oaxaca, ya que es la única región del país donde se cultiva (Aparicio-del Moral *et al.*, 2013; Montaña-Lugo *et al.*, 2014).

Existen dos explicaciones acerca del origen del cultivo chile de agua en la región, en una, mencionada por productores de algunas comunidades productoras del distrito de Tlacolula, se menciona que fue traído de los estados de Sonora y Sinaloa por jornaleros agrícolas temporales que laboraban en la pizca del algodón y el tomate en la década de los 50.

En la otra versión, que es la que apoyan la mayoría de los productores, es que es un chile originario de los Valles Centrales, y que sus ancestros ya practicaban su cultivo, al menos desde hace un siglo. Esto coincide con lo que se mencionó antes, que en la actualidad no se conocen otros estados del país donde se cultive, salvo en el estado de Puebla, donde en años recientes se ha comenzado la producción de almácigos, pero con semilla adquirida en las comunidades y mercados del Valle de Oaxaca (Llescas, 2001; López, 2007; Jiménez, 2010).

5.4. Descripción botánica

El chile de agua es una planta herbácea anual, con ramificación dicotómica, altura promedio de 60 cm, raíz típica con un promedio de 27 cm y un gran número de raíces secundarias; tallo erecto, hojas alternas y ovaladas, con ápice acuminado, base atenuada, borde liso, pinnadamente nervadas y glabras en haz y envés.

Las flores son axilares, solitarias, completas y perfectas. Hay una flor por axila, su posición es pendiente, intermedia y erecta, su corola es acampanulada, fusionada hacia la base, los pétalos son blancos deciduos y en número de 5 a 8 pétalos de color blanco, su cáliz tiene margen entero, las anteras son de color azul con el filamento blanco (Valeriano *et al.*, 2014). El peciolo mide 3 cm de largo, cáliz gamocépalo, formado por siete sépalos y es membranoso corto y resistente. El ápice está formado de lóbulos acutados y redondeados, epipétalos, hipogíneos y de seis estambres con filamentos cortos. Las anteras son dehiscentes, longitudinales y basificadas. El gineceo es súpero y el estilo corto. Sus estigmas son capitados y de placentación axilar (Figura 1a).

El fruto es una baya de forma cónica alargada con un tamaño medio de 14 cm de largo, 6 cm de diámetro en su base, de color verde amarillo, verde oscuro, rojo intenso o brillante en su madurez (Figura 1b). El pericarpio mide de 1 a 3 mm de espesor, tiene un pedúnculo grueso (4 a 10 mm), glabro y de aproximadamente 3 cm de largo.

Las semillas son de forma reniforme, lisas y sin brillo, de color blanco en el fruto fresco y amarillentas en el fruto seco. Su diámetro promedio es de 4 mm, un gramo contiene de 160 a 170 semillas. Conservan su poder germinativo hasta por diez meses y posterior a este lapso la tasa de germinación va disminuyendo (López, 1999; Llescas, 2001; Castro, 2007).



Figura 1. a) Flor y b) fruto del chile de agua (*Capsicum annuum* L.)

5.5. Compuestos nutracéuticos en *Capsicum annuum*

Los chiles contienen una amplia variedad de compuestos bioactivos como el ácido ascórbico, vitaminas C, A y E, carotenoides, capsaicinoides y compuestos fenólicos (Guil-Guerrero *et al.*, 2006; Bae *et al.*, 2014;).

Los compuestos fenólicos poseen propiedades antioxidantes que pueden ayudar a reducir los daños causados por los procesos de oxidación de los radicales libres en el organismo y las enfermedades asociadas a esos daños (Hervert-Hernández *et al.*, 2010; Figueroa *et al.*, 2015), mientras que, en las plantas, los fenoles tienen funciones específicas como pigmentación, crecimiento y adaptación a condiciones de estrés (Mínguez *et al.*, 2005; Tucuch-Haas *et al.*, 2017).

Estos compuestos y sus proporciones en los frutos de *Capsicum* spp., pueden variar debido a distintos factores, tales la variedad o genotipo, la temporada de siembra, las condiciones ambientales en que se cultivan y las prácticas agronómicas (Deepa *et al.*, 2007), por ejemplo,

el manejo de la luz solar en las plantas puede aumentar el rendimiento en biomasa y la acumulación de componentes químicos (Nishimura *et al.*, 2007), y como la fotosíntesis en la mayoría de las plantas C3 se satura a los 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, tanto las mallas como las películas plásticas reducen la intensidad de la radiación solar, al mismo tiempo que modifican la temperatura y humedad relativa; con lo cual se modifica la transpiración, fotosíntesis, respiración y otros procesos fisiológicos (Chang *et al.*, 2008).

Asimismo, Rivera-Pastrana (2007) reportó que los rayos ultravioleta modifican las propiedades nutricionales de frutas y hortalizas al favorecer la acumulación de fitoalexinas y el incremento de algunas vitaminas y antioxidantes. Pese a esto, no existe suficiente información acerca del contenido nutricional del chile de agua, cuando se cultiva bajo estructuras de protección.

5.6. Importancia del cultivo de chile de agua

El chile de agua es una hortaliza de importancia económica y social en la región Valles Centrales de Oaxaca. En el año 2017, fueron 36 los municipios productores (Cuadro 1), su cultivo abarcó una superficie total de 248.5 hectáreas, con un rendimiento promedio de 6.74 toneladas por hectárea y un valor total de poco más de 21.1 millones de pesos (SAGARPA, 2018).

Cuadro 1. Municipios productores de chile de agua y hectáreas cultivadas en cada uno de ellos en 2017.

Municipio	Superficie (Ha)	Municipio	Superficie (Ha)	Municipio	Superficie (Ha)	Municipio	Superficie (Ha)
Ayoquezco de Aldama	1.70	San Bernardo Mixtepec	21.20	San Sebastián Abasolo	26.20	Santa María del Tule	4.05
Cuilápam de Guerrero	6.25	San Francisco Lachigoló	8.00	San Sebastián Teitipac	4.50	Santiago Suchilquitongo	4.25
Ejutla de Crespo	21.65	San Jacinto Tlacotepec	5.25	Santa Cruz Papalutla	4.50	Santo Domingo Teojomulco	2.70
Miahuatlán de Porfirio Díaz	2.75	San Jerónimo Tlacoahuaya	22.25	Santa Cruz Xoxocotlán	6.25	Santo Tomás Jalieza	2.20
Ocotlán de Morelos	4.75	San Mateo Yucutindoo	3.30	Santa Cruz Zenzontepec	9.80	Taniche	2.25
Rojas de Cuauhtémoc	5.75	San Miguel Ejutla	3.50	Santa María Atzompa	4.75	Trinidad Zaachila	3.25
San Andrés Ixtlahuaca	3.00	San Pablo Huitzo	3.50	Santa María Guelacé	3.00	Villa Sola de Vega	4.75

San Antonino Castillo Velasco	6.80	San Pablo Huixtepec	21.25	Santa María Sola	2.80	Yaxe	1.15
San Baltazar Chichicápam	3.90	San Pedro Ixtlahuaca	1.50	Santa María Zoquitlán	3.50	Zimatlán de Álvarez	12.25

SAGARPA, 2018

El cultivo del chile de agua es una fuente importante de ingresos económicos para un gran número de familias campesinas, ya que alcanza mejores precios en comparación con el chile ancho, guajillo y jalapeño, que también se cultivan en la región. Asimismo, este chile requiere de hasta 228 jornales de trabajo por hectárea al año, por lo que su cultivo tiene importancia social al ser generador de fuentes de trabajo para la población de la región (Ramos, 2001; López, 2002; Aparicio-del Moral *et al*, 2013), con lo que se consigue retener, en cierta medida, a la población en sus comunidades ante la cada vez mayor tasa de migración hacia los núcleos urbanos de México y Estados Unidos.

5.7. Usos del chile de agua

El principal uso de este chile es como comestible, ya que forma parte importante de la gastronomía de los Valles Centrales al ser preparado en una gran diversidad de guisos y salsas. Pero también se han documentado otros cuatro usos tradicionales: medicinal, ritual, como amuleto y ornamental (Montaño-Lugo *et al*, 2014).

El uso medicinal se refiere a la utilización del fruto seco en sahumeros, junto con hojas secas de aguacate (*Persea americana*) para tratar enfermedades espirituales de los niños pequeños; para prevenir el cáncer, detener la caída del cabello, disminuir los efectos de la gripa, prevenir la gastritis, para curar quemaduras, piquetes de insectos ponzoñosos, controlar los fuegos labiales y eliminar las erupciones cutáneas de los párpados.

En el uso ritual se utiliza como copa para servir mezcal y así brindar para agradecer a la madre tierra por los frutos recibidos, antes del primer corte de cada ciclo de cultivo. Como amuleto se forma un racimo con los frutos más grandes, rojos y pungentes para colocarlo detrás de la puerta de entrada al hogar y así proteger a sus habitantes de todo perjuicio o mal deseado por otras personas.

También se elaboran manualidades con chiles de agua secos barnizados con una mezcla de café y pegamento, o como parte de arreglos florales para centros de mesa en bodas, bautizos y otras festividades.

5.8. Comercialización del chile de agua

Los productores de chile de agua lo comercializan al mayoreo en una medida de unidad regional denominada “carga”, compuesta por dos canastos. Cada canasto, dependiendo de la calidad, contiene 400 frutos de primera; 450 a 500 frutos de segunda y de 550 a 600 frutos de tercera. El precio de cada carga es de \$1,200 de primera, \$900 de segunda y \$600 de tercera.

El período de mayor demanda regional es durante la semana santa, y es entonces cuando las esposas de los productores se encargan de su comercialización al menudeo por ciento, medio ciento o en charolas de 8 piezas de primera calidad, estas últimas con un costo de 20 a 30 pesos en los mercados de la región. Aunque su principal mercado es el regional, el chile de agua ha aumentado su demanda entre la población migrante de Estados Unidos y Europa, lo que constituye una nueva oportunidad de negocio para los productores de esta hortaliza (Hernández, 2018).

5.9. Condiciones ambientales para el cultivo del chile de agua

5.9.1. Temperatura

El crecimiento de las plantas, sin importar la cantidad de luz y la humedad del suelo, cesa cuando la temperatura disminuye por debajo de un valor mínimo o excede un valor máximo. Entre estos dos límites existe una temperatura óptima para que el crecimiento de las plantas se lleve a cabo con mayor rapidez (Villa *et al.*, 2005).

Capsicum annuum es una especie exigente en cuanto a la temperatura, dependiendo de las distintas etapas de su desarrollo. La temperatura óptima en la etapa de crecimiento vegetativo está entre los 25-30°C, durante el día, y entre los 16-18°C, durante la noche; mientras que en las etapas de floración y fructificación debe estar entre los 25-29°C durante el día y los 18-22°C durante la noche. La incidencia de bajas temperaturas (entre 10 y 15°C) durante el desarrollo del botón floral da lugar a malformaciones de las flores, con la consecuente malformación de

los frutos. Temperaturas menores, también pueden inducir la formación de frutos de menor tamaño (Vázquez, 2005).

5.9.2. Humedad relativa

La humedad relativa óptima para el cultivo del chile está entre el 50 y 70%, valores por encima de estos porcentajes favorecen el ataque de enfermedades criptogámicas e inmovilizan el polen en las anteras, dificultando la fecundación de las flores. Además, la conjunción de altas temperaturas y baja humedad relativa ocasiona la caída de las flores y frutos recién cuajados (Vázquez, 2005). Si bien, el chile es capaz de soportar altas temperaturas, siempre y cuando haya una alta humedad relativa, esto puede ser perjudicial para el rendimiento del cultivo pues aumenta la proporción de frutos de pequeño tamaño (Salas y Urrestarazu, 2004).

5.9.3. Déficit de presión de vapor (DPV)

La turgencia celular, la expansión foliar, el crecimiento de las estructuras aéreas, el desarrollo radicular, la transpiración, la absorción de nutrientes y la acumulación de materia en las plantas se ven afectadas en gran medida por el contenido de humedad de la atmósfera en la que se desarrolla el cultivo (Lorenzo, 2012; Beluzán, 2013).

Cuando el aire llega a tener su máximo contenido de vapor, la presión de vapor se llama presión de vapor de saturación (PV_{sat}). La presión real de vapor en el aire (PV_{air}) es una medida de la cantidad de vapor de agua presente en el aire en un momento determinado.

El déficit de presión de vapor (DPV) se calcula como la diferencia entre el valor de la presión de vapor de saturación y la presión de vapor real del aire ($PV_{sat} - PV_{air}$). Es decir, el DPV es la diferencia entre la cantidad de vapor de agua en el aire y la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener cuando está completamente saturado. De esta forma, el DPV puede funcionar como un indicador práctico del potencial de condensación porque con él se puede cuantificar que tan cerca se encuentra el aire de su punto de saturación (Beluzán, 2013).

Un DPV alto significa que el aire tiene una condición de baja humedad y, por lo tanto, una mayor capacidad de retener agua, estimulando así la transferencia de vapor de agua, a través de la transpiración de las plantas al aire. Por el contrario, un DPV bajo conlleva un nivel de saturación del aire completa o casi completa, de manera que el aire no puede aceptar humedad de la hoja en esta condición de alta humedad (Lorenzo, 2012).

El efecto directo del DPV elevado es aumentar la transpiración por área foliar y la planta responde reduciendo la conductancia estomática y la fotosíntesis neta. Esta respuesta representa un comportamiento conservador propio de numerosas especies con el fin de evitar la deshidratación irreversible de la planta. Assmann y Grantz (1990) mencionan que al aumentar el déficit de presión de vapor la planta comienza a transpirar hasta llegar a los 2 kPa, punto en que la planta comienza a cerrar paulatinamente sus estomas a fin de no sufrir plasmólisis celular de sus tejidos. Asimismo, Grange y Hand (1987) mencionan que cuando el DPV se encuentra entre 1 a 1.8 kPa se da un crecimiento significativo en los cultivos, pero cuando disminuye a valores cercanos a 0.3 kPa hay un detrimento en el desarrollo de los mismos. Por su parte Castilla (2004) indica que, como norma general, en el hemisferio norte se debe evitar superar valores de déficit de presión de vapor de 1.1 kPa en invierno y de 2.7 kPa durante la primavera.

5.9.4. Radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI)

Tanto el crecimiento como el desarrollo de las plantas son influenciados por la cantidad y la calidad de la luz que reciben. Los fotones que componen la luz tienen diferentes cantidades de energía, dependientes de sus longitudes de onda. La calidad de la luz está dada por el número relativo de fotones en cada longitud de onda, es decir, a la distribución espectral de la luz emitida desde una fuente de luz.

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) constituye alrededor del 48% de la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre y es la que proporciona la energía necesaria para la actividad fotosintética de las plantas y por ello es fundamental para la producción de los cultivos (Barquero, 2010). El chile, al igual que otras solanáceas, es una planta que requiere gran luminosidad en sus primeras etapas de desarrollo y durante la floración.

En campo abierto, las plantas reciben la luz que irradia el sol, cuya longitud de onda se encuentra entre los 300 y 2,500 nm (Matalla y Montero, 2001). La radiación fotosintéticamente activa (RFA) es la que se distribuye en el rango de los 400 a 700 nm, con dos picos de actividad fotosintética, uno entre los 400 y 520 nm (azul) y el segundo entre los 610 y 700 nm (rojo). La RFA se mide en micromoles (μmol) que impactan en un área determinada (m^2) en un tiempo dado (s^{-1}) (Federer *et al.*, 1966; Díaz, 2012).

Sin embargo, esta medida de luz es una lectura instantánea, por lo cual, para determinar si las plantas del cultivo están recibiendo la suficiente cantidad de luz durante todo el ciclo de cultivo es más conveniente calcular la radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI), que no es más que la cantidad de RFA recibida por metro cuadrado de superficie del cultivo durante 24 horas. En este trabajo, se utilizó el método descrito por Torres y López (2012) para calcular la RFAI.

5.10. Agricultura protegida

En la actualidad, además de la agricultura a campo abierto, la agricultura se lleva a cabo dentro de estructuras de protección de diferentes tipos, fabricado de distintos materiales y con distintos niveles de tecnificación (Figura 2). La finalidad de dichas estructuras es proteger al cultivo de las condiciones medioambientales externas, al mismo tiempo que generan las condiciones ambientales óptimas para el crecimiento y desarrollo de las distintas especies vegetales cultivadas en su interior.

Las condiciones climáticas que se pueden modificar con estas estructuras son la disponibilidad de agua, la concentración de dióxido de carbono, la cantidad y calidad de luz, las temperaturas diurnas, nocturnas y la humedad relativa (SIAP, 2015). Además, con el empleo las estructuras de protección es posible limitar el acceso de insectos fitófagos y vectores de enfermedades. Lo que hace que los cultivos protegidos sean más productivos, en comparación a los cultivos a cielo abierto (Castilla, 2004).

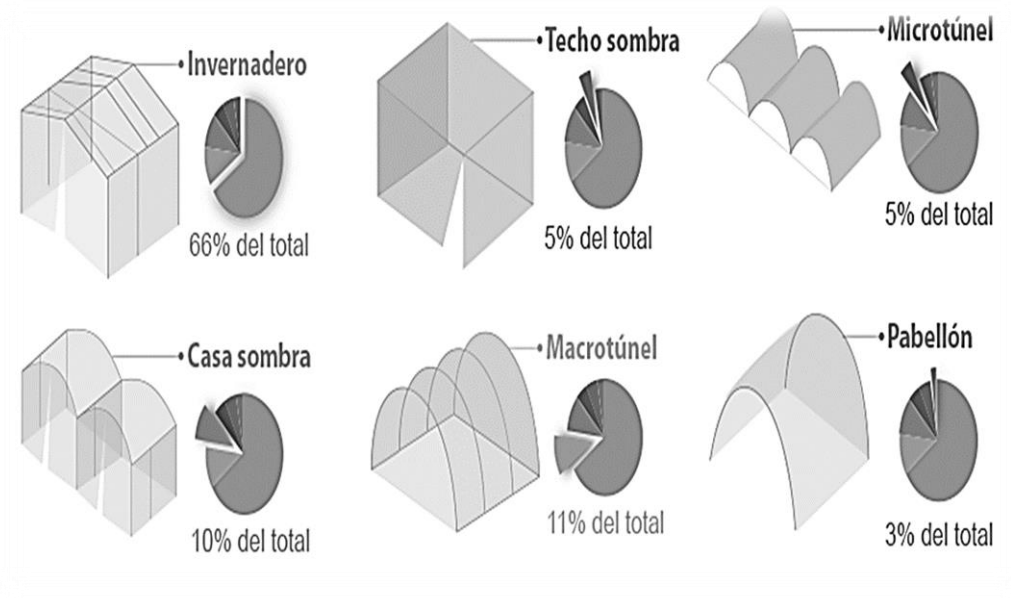


Figura 2. Tipos de estructuras de protección utilizadas en la agricultura protegida mexicana y porcentaje de cada una con respecto al total nacional (SIAP, 2015)

Las estructuras de protección, además de ser construidas de acuerdo a los requerimientos climáticos de cada especie, deben estar hechas en concordancia con los factores climáticos de cada región (Juárez *et al.*, 2011) y con el porte de las especies que vayan a albergar.

En México, el uso de estructuras de protección para la producción de hortalizas ha tenido un aumento constante, pasando de 300 hectáreas en 1980 a 1,299 hectáreas en 2001 y a poco más de 40,390 hectáreas en 2017. Las principales estructuras utilizadas en la agricultura protegida mexicana son los microtúneles, las casas de malla, los macrotúneles y los invernaderos (Juárez *et al.*, 2011; SIAP, 2015; SAGARPA, 2018).

Los microtúneles son estructuras construidas con pequeños arcos que se cubren con plástico o agrotexil. Sus reducidas dimensiones obligan a que las labores culturales se realicen desde el exterior de las mismas, obligando a levantar la cubierta para acceder a las plantas. Su uso se limita a la producción de plántulas o al cultivo de hortalizas en su primera fase, hasta que su altura no rebase la altura de los arcos (Juárez *et al.*, 2011).

Las casas de malla son estructuras de invernaderos o estructuras tipo cobertizo, cubiertas de malla sombra para disminuir incidencia de los rayos solares sobre las plantas, o bien, cubiertas con mallas antigranizo, anti-insectos o anti-pájaros para proteger al cultivo de daños causados

por estos factores. Su uso es común para la producción de almácigos, para viveros forestales y de ornamentales (Bielinski *et al.*, 2013).

Los macrotúneles son estructuras de protección que tienen poca altura y anchura como para ser consideradas invernaderos, pero a diferencia de los microtúneles, poseen dimensiones suficientes para permitir llevar a cabo las labores culturales en su interior. Estas estructuras son utilizadas principalmente para semilleros y almácigos, pero también pueden ser ideales para la producción de especies hortícolas y ornamentales de porte bajo. Entre las ventajas de su uso es que al igual que los invernaderos pueden brindar una protección más completa al cultivo, repercutiendo con ello en mayores rendimientos, uniformidad de los frutos y la reducción del uso de agroquímicos; su tiempo de instalación es rápido, con lo que se reduce la inversión y mano de obra, en comparación con los invernaderos, lo que los hace accesibles para pequeños productores; además, su manejo es fácil, haciéndolas estructuras adecuadas para productores que se inician en la agricultura protegida (Juárez *et al.*, 2011; Bielinski *et al.*, 2013).

De entre las estructuras de protección para cultivos, los invernaderos son las que permiten modificar y controlar más eficientemente los principales factores ambientales para el desarrollo de las especies vegetales. Los invernaderos son estructuras con una altura en su parte útil mayor a 2 metros y anchura mayor a 6 metros, lo que permite que todas las labores se realicen en su interior, incluyendo todo el equipamiento necesario para llevarlas a cabo y para el control ambiental.

Para diferencia a los invernaderos de los macrotúneles se hace referencia al volumen de aire encerrado por metro cuadrado de superficie cubierta, siendo en los invernaderos de 3:1 y superiores (Juárez *et al.*, 2011).

5.10.1. Los plásticos en la agricultura protegida

Las películas flexibles, placas rígidas y mallas son los materiales plásticos utilizados actualmente para la construcción de estructuras de protección. De estos, las películas flexibles son las más utilizadas debido a la ventaja de su bajo peso por metro cuadrado de superficie y a su resistencia al impacto, la tensión, la elongación y el rasgado (Espí *et al.*, 2001).

El polietileno de baja densidad (PEBD) es el plástico más empleado para la fabricación de cubiertas para invernaderos y macrotúneles por su bajo costo, facilidad de extrusión en lámina y porque se le pueden adicionar diversos aditivos para mejorar sus cualidades térmicas, ópticas y antigoteo. Asimismo, se le pueden agregar fotoestabilizantes para retardar su envejecimiento y prolongar su tiempo de vida útil (Castilla, 2004).

Todo material que se utilice para cubrir una estructura de protección deja pasar solo una parte de la radiación solar que hay en el exterior debido a su reflexión y absorción, esto dependiendo de los aditivos que se le hayan adicionado, su espesor, grado de limpieza, la condensación de agua que genere y su estado de degradación (Espí, 2012).

Una buena película plástica debe ser lo más transparente posible a la RFA, y lo más opaco a la radiación infrarroja larga proveniente del suelo, las plantas y la estructura, para asegurar una efectiva inercia térmica (Serrano, 1990). En las películas plásticas la transmisividad solar y de la RFA son prácticamente iguales en su espectro de transmisión en esos rangos de longitud de onda (Matalla y Montero, 2001).

Además, un buen plástico de cubierta debe ser tricapa para poder ubicar en cada capa la propiedad específica para lograr el efecto deseado. La capa exterior debe ser resistente, antiadherente y en ella se deben incluir los aditivos contra la radiación ultravioleta; en la capa intermedia se deben incluir los aditivos que le aporten termicidad y elasticidad; en la capa interna se deben incluir los compuestos que ayuden a la difusión de la luz, los estabilizadores ante los plaguicidas y el aditivo antigoteo. El espesor debe encontrarse entre las 180 y 200 micras (720 a 800 galgas) y su tiempo de vida útil debe ser de entre 2 a 3 años (Barquero, 2010).

Las películas plásticas de PEBD de color verde reflejan la parte verde del espectro de luz visible debido a los compuestos a base de níquel que se le adicionan y, por lo tanto, no permite que la luz de esa longitud de onda (490 a 575 nm) penetre al interior del macrotúnel.

Las películas de PEBD transparente se consideran como una cubierta anti-ultravioleta (UV-A y UV-B), porque se le adicionan las llamadas aminas impedidas (HALS) que protegen al polietileno de la fotodegradación.

A diferencia de las películas plásticas, las mallas anti insectos color cristal están fabricada con hilos de polietileno de alta densidad, lo que permite que tengan una vida útil promedio del doble

que la de una película plástica de polietileno de baja densidad. Su principal uso en la horticultura protegida es actuar como barrera contra insectos plaga, que pueden actuar también como vectores de enfermedades, al mismo tiempo que pueden permitir hasta un 50% de circulación del aire.

Las mallas anti insectos están constituidas por un tejido longitudinal conocido como urdimbre y otro transversal llamado trama, y así se clasifican según el número de hilos que tienen por centímetro cuadrado, tanto en la urdimbre como en la trama. Así pues, las mallas 16 x 10 evitan el paso de áfidos y adultos de mosca blanca; las mallas 20 x 10 impiden el paso de áfidos y cualquier estadio de mosca blanca; y las mallas 32 x 18 impiden el paso de áfidos, mosca blanca y trips (Barquero, 2010).

El aumento de la temperatura en el interior de una estructura de protección se da durante el día, cuando la radiación infrarroja cercana proveniente de la radiación solar atraviesa el material de cubierta y se transforma en calor. Parte de este calor es absorbido por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo; como consecuencia, durante la noche estos emiten radiación de longitud más larga que en parte escapa hacia el exterior a través de la cubierta o se refleja hacia el interior, calentando el invernadero (Castilla, 2004).

La principal fuente de vapor de agua en el aire dentro de las estructuras de protección es la transpiración del cultivo. De día, la humedad relativa baja al subir la temperatura, y si se ventila activamente su interior, el aire exterior que ingresa (más frío y seco) reduce aún más la humedad relativa, ya que este aire exterior se calienta con mayor rapidez que con la que se enriquece de vapor de agua. Durante la noche, al enfriarse el ambiente dentro de la estructura, la humedad relativa crece pudiendo llegar a la saturación y la consecuente condensación sobre las superficies más frías (Castilla, 2004).

Las condiciones de alta demanda evaporativa dentro de las estructuras de protección pueden originar desequilibrio hídrico en las plantas, cuando la demanda hídrica del ambiente supera la absorción de agua por el sistema radicular, si este es incapaz de abastecer las exigencias ambientales. Este efecto, se agudiza y puede llegar a ser drástico si el sistema radicular de las plantas está mermado por variaciones en la distribución de asimilados, especialmente durante su fructificación (Lorenzo, 2012).

5.11. Crecimiento de las plantas

El análisis de crecimiento es el análisis cuantitativo de un organismo en ciertas fases fenológicas y su correlación con factores ambientales, lo que permite evaluar el proceso de acumulación y distribución de biomasa a lo largo de su ciclo de vida o en una etapa específica de su desarrollo. Este análisis puede llevarse a cabo tanto en la planta completa como en sus diferentes órganos.

Las plantas con mayor diámetro del tallo tienen una mayor capacidad para sostener las ramas y sus estructuras reproductivas sin fracturarse. Asimismo, un mayor diámetro del tallo significa una mayor capacidad de transporte de asimilados hacia los frutos a través de una mayor sección transversal del floema (Valentín, 2011).

La altura de una planta herbácea, como el chile de agua, denota su vigor, ya que generalmente está relacionada con un mayor follaje y, este a su vez, está directamente relacionado con una mayor intercepción de la radiación solar y el rendimiento de un cultivo (Macías *et al.*, 2012). La altura de la planta de chile de agua, dependiendo de su genotipo, es de entre 40 y 60 cm (Virgen, 2006; Zúñiga, 2012).

5.12. Rendimiento

Según Curtis (1998), el rendimiento se puede definir como la expresión fenotípica de interés humano, que resulta de los procesos fisiológicos del manejo de un cultivo, y que se reflejan en el peso de los órganos vegetales que constituyen el producto de valor económico, en este caso, los frutos del chile de agua.

El término para rendimiento, que se usa en este trabajo, se refiere específicamente al peso en kilogramos de los frutos de chile de agua, producidos por metro cuadrado de superficie cultivada.

De acuerdo a Ambrosio (2007) y Aparicio (2013), el rendimiento en la producción a cielo abierto de frutos de chile de agua, entre 2007 y 2013, se encontraba en el orden de los 0.3 y los 0.39 kg·m⁻².

Bajo condiciones de invernadero se han reportado rendimientos de hasta 1.25 kg m⁻² (Aparicio, 2013). Y el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SAGARPA, 2018) reporta que

el rendimiento promedio de los 36 municipios que cultivaron chile de agua a campo abierto en 2017, fue de 0.67 kg m⁻².

5.13. Calidad

La calidad se refiere a los factores que son de importancia para la aceptación y valoración de un producto con características que llevan a la satisfacción de una determinada necesidad de los consumidores. Asimismo, la calidad también tiene relación a las propiedades inherentes de cualquier producto y que permiten que este pueda ser comparado con cualquier otro producto similar (Orozco, 1994).

En este contexto, la calidad nutrimental de los frutos se refiere a la aptitud de un producto para satisfacer las necesidades del organismo de los consumidores, en términos de nutrientes (López, 2003).

5.13.1. Calidad comercial

La calidad comercial se refiere a aquellas características que los consumidores buscan al momento de adquirir los frutos de chile de agua en el mercado regional. Si bien, no hay una norma oficial que establezca las características físicas para separar a los frutos de chile de agua por niveles de calidad, los productores regionales conocen bien estas características en base a las exigencias de los consumidores, y así pueden clasificar a los frutos del chile de agua en tres calidades, según su longitud, diámetro de la base, coloración y brillo, a fin de poder comercializarlos en la Central de Abasto de la Ciudad de Oaxaca (Virgen, 2006; Ambrosio, 2007; Carrillo, 2007).

Primera calidad: Frutos con una longitud mayor a 10 cm, con un diámetro de 5 cm en su base, coloración verde amarillo o verde oscuro uniforme, sin deformaciones, con el pericarpio liso, brillante y libre de daños causados por insectos, alteraciones fisiológicas o ataque de patógenos.

Segunda calidad: Frutos con una longitud menor a 10 cm y un diámetro menor de 5 cm, con pequeñas coloraciones rojizas, con el pericarpio liso y brillante; y que pueden tener pequeños daños que no exceden el 5% de su superficie. Incluye frutos de primera calidad, pero con deformaciones.

Tercera calidad: Frutos que por sus dimensiones, coloración o daños no entren en alguna de las calidades anteriores.

Para el productor es más redituable obtener frutos de primera y de segunda calidad porque alcanzan un mejor precio en el mercado y su venta es más rápida, factor muy importante a tener en cuenta al ser un producto perecedero.

Los chiles de tercera calidad muchas veces son abandonados en el campo porque el costo de la mano de obra empleada para cosecharlos es igual o mayor a las ganancias producidas por su venta. Si estos chiles de tercera no se alcanzan a vender en fresco, tienen que ser puestos a secar para comercializarse posteriormente como chile seco, proceso que implica trabajo y costo adicional para el productor.

5.13.2. Calidad nutrimental

Pero además de estas características de calidad comercial también se busca que los frutos de chile de agua contengan sustancia que aporten algún beneficio nutrimental al consumidor (Cuevas, 1999), a este aporte de sustancias benéficas para el consumidor es a lo que llamaremos calidad nutrimental. Algunas de estas sustancias son:

5.13.2.1. Humedad

Todos los alimentos contienen agua en mayor o menor proporción. El contenido de agua en los alimentos naturales, incluidas las hortalizas, varía entre un 60 y 95%. En los tejidos vegetales esta agua existe en dos formas, la llamada “agua libre” y el “agua ligada”. El agua libre, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad, mientras que el agua ligada se halla combinada en los alimentos como agua de cristalización en hidratos, ligada a proteínas, ligada a las moléculas de sacáridos o ligada a la superficie de las partículas coloidales (Hart, 1991).

La principal razón para determinar la humedad presente en las hortalizas es que por arriba de ciertos niveles se facilita el desarrollo de microorganismos que pueden disminuir la vida de anaquel del producto. Además, la cantidad de agua presente puede afectar la textura del chile y con ello disminuir su calidad comercial (Baltés, 2007).

5.13.2.2. Cenizas

La determinación de cenizas es un método sencillo para determinar el contenido de minerales presentes en las hortalizas, después de la calcinación completa de su materia orgánica. Sin embargo, hay que aclarar que esto no es exactamente equivalente, ya que pueden existir pérdidas por volatilización o por interacciones entre los constituyentes, y ello depende de las temperaturas de dicha calcinación (Baltés, 2007).

En los vegetales predominan los derivados de potasio, principalmente el carbonato potásico. Este se volatiliza apreciablemente a 700°C y se pierde casi por completo a los 900°C (Hart, 1991).

5.13.2.3. Acidez titulable

La mayoría de los frutos son ricos en ácidos orgánicos, que usualmente están contenidos en las vacuolas de las células. El ácido cítrico es el ácido orgánico más abundante en los frutos y se utiliza para determinar su acidez titulable.

El ácido cítrico ingerido en los alimentos se incorpora al metabolismo como una molécula intermediaria en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos (ciclo de Krebs), degradándose totalmente y produciendo energía en una proporción comparable a los azúcares (Baltés, 2007).

5.13.2.4. pH

En términos generales, el pH se refiere a la acidez de una sustancia o producto, dado que la escala de pH lo que mide es la concentración de iones de hidrogeno cargados positivamente [H⁺] presentes en una sustancia, de tal manera que cuando la concentración de estos iones aumenta, también lo hace la acidez. El pH se expresa en una escala logarítmica, por lo cual cada cambio en un número entero representa un cambio del orden de 10 veces en la concentración de los iones hidrogeno.

La escala para medir la acidez va de 0 a 14, siendo el valor de 7 el que se le asigna a una sustancia cuya acidez es neutra. Los valores por debajo de 7 se consideran como ácidos, mientras que los valores mayores se consideran como básicas o alcalinas.

La importancia de determinar el pH de un alimento se relaciona a la seguridad para que este pueda ser consumido de manera inocua, ya que la acidez determina el tipo de microorganismos

capaces de crecer en él. La mayoría de las hortalizas son naturalmente ácidas y esto hace que los microorganismos tengan condiciones más difíciles para sobrevivir y reproducirse en ellos (Belitz, 2012).

5.13.2.5. Sólidos solubles totales

La acumulación de almidones durante el período de crecimiento del chile tiene influencia en el contenido final de sólidos solubles totales de los frutos. Los sólidos solubles totales constituyen un parámetro preciso y confiable para la determinación del estado de madurez y como información objetiva relacionada con el sabor de muchas hortalizas (Domínguez, 2012).

5.13.2.6. Proteínas

Las proteínas forman parte de todas las células y cumplen numerosas funciones estructurales y fisiológicas en el organismo. Es recomendable que las proteínas constituyan entre el 10 y 15% de los nutrientes ingeridos en la dieta diaria (Cheftel, 1989).

El contenido total de proteínas de los alimentos está constituido por una mezcla compleja de proteínas y están combinadas química y físicamente con carbohidratos y lípidos. El método más usado para el análisis del contenido proteínico de los alimentos es el método Kjeldahl que determina el nitrógeno orgánico total (Coultate, 2007). El resultado de este método es una buena aproximación al contenido total de proteína de los alimentos, a pesar de que el nitrógeno pueda provenir de otros componentes no proteicos.

Según la Fundación Española para la Diabetes (2019), los alimentos se pueden clasificar en tres categorías según su contenido de proteínas por cada 100 gramos de producto:

Ricos en proteínas ($\geq 15\%$)

Medios en proteínas (10 – 14%)

Pobre en proteínas ($\leq 10\%$)

Sin proteínas (0-1%)

5.13.2.7. Fibra

La fibra es un componente de los alimentos de origen vegetal que contienen polisacáridos como la celulosa, hemicelulosa y lignina, así como pectina, agar, gomas y mucilagos, que son compuestos altamente resistentes a las enzimas digestivas humanas.

La fibra tiene un papel fundamental en el mantenimiento de la microflora del colon y en la regulación de la digestión y defecación, ya que al absorber agua facilita el tránsito intestinal y permite heces blandas. Además, las dietas ricas en fibra se consideran preventivas de enfermedades como la diverticulosis colónica y ayudan en el control de la diabetes mellitus, la obesidad y el cáncer de colon (Baltes, 2007).

5.13.2.8. Grasas

Los lípidos son un grupo heterogéneo de compuestos orgánicos, constituidos principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno, y en ocasiones azufre, nitrógeno y fósforo. En los alimentos se encuentran fundamentalmente tres tipos de lípidos: los ésteres de colesterol, los fosfolípidos y las grasas.

Las grasas, también son llamados triglicéridos o triacilglicéridos, constituyen el hasta el 98% de los lípidos totales de la dieta y su estructura química, así como sus propiedades varían dependiendo de los ácidos que las compongan.

La principal función de las grasas es energética, ya que proporcionan 9 kcal por gramo, más del doble de la energía producida por los glúcidos. Pueden acumularse en el organismo y ser material de reserva calórica en las células adiposas, pero también la grasa dietética es necesaria para el transporte de las vitaminas liposolubles A, D, E y K, así como para su absorción intestinal. Otra función es que ayudan para apreciar el gusto y aroma de los alimentos, además de contribuir al efecto de saciedad después de la ingesta de alimentos (Baltes, 2007).

5.13.2.9. Carbohidratos

Los carbohidratos son nutrientes fundamentales para la obtención de energía, son las sustancias orgánicas más ampliamente distribuidas y más abundantes en la naturaleza, y son el centro del metabolismo de todos los organismos. La función de los carbohidratos, a excepción de la fibra, es suministrar energía, ya que cada gramo aporta en promedio 4 calorías.

En las plantas, los carbohidratos se sintetizan a partir del dióxido de carbono y el agua con la ayuda de la energía luminosa durante la fotosíntesis y tienen importancia decisiva en la alimentación, incluso aquellos que no son digeribles, como las fibras, para una alimentación sana.

En la dieta humana, la energía proporcionada por los hidratos de carbono es de entre el 55 y el 60% de las calorías consumidas diariamente. Pero, además de la función energética, los carbohidratos actúan como ahorradores de otros nutrientes como fuente de energía al evitar la movilización excesiva de las grasas y con ello la formación de cuerpos cetónicos, así como la degradación oxidativa de las proteínas para el mismo fin (Baltes, 2007).

5.13.2.10. Contenido calórico

El contenido calórico, valor calórico o valor energético de un alimento es proporcional a la cantidad de energía que este puede proporcionar al quemarse completamente en presencia de oxígeno.

Dicha cantidad de energía se mide en calorías, donde una caloría es la cantidad de calor necesario para aumentar en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua. Al ser este valor muy pequeño, en dietética se toma como medida la kilocaloría, es decir, 1,000 calorías, pues las dietas humanas deben contener entre 1,000 y 5,000 kilocalorías por día.

Cada grupo de nutrientes energéticos, carbohidratos, grasas y proteínas, tienen un contenido calórico diferente y más o menos uniforme en cada grupo. Al calcular el contenido calórico de los alimentos se usan valores estándar para cada grupo: un gramo de carbohidratos o proteínas libera unas 4 calorías, mientras que un gramo de grasa libera 9 calorías.

No todos los alimentos ingeridos en la dieta se queman para la producción de energía, una parte se puede acumular como reserva calórica en forma de grasa, para reconstruir estructuras orgánicas o como para facilitar reacciones químicas necesarias para el mantenimiento vital. Se considera que el agua, la fibra, las vitaminas y minerales no aportan calorías en la dieta (Carbajal, 2013).

5.13.2.11. Fenoles totales

Los compuestos fenólicos son importantes componentes en la dieta humana debido a su poderosa actividad antioxidante. Los fenoles tienen una estructura química especialmente adecuada para actuar como captadores de radicales libres, pues poseen un anillo aromático que lleva uno o más sustituyentes hidroxilo, con los que neutralizan iones metálicos quelantes y moléculas reactivas de oxígeno (Skerget *et al.*, 2005; Chordi, 2013).

El consumo de alimentos ricos en fenoles está asociado a un efecto protector ante la oxidación lipídica de las grasas insaturadas que producen radicales libres y compuestos citotóxicos y genotóxicos, causantes de procesos inflamatorios en los sistemas digestivo y circulatorio, al igual que daños en órganos como hígado, riñón y pulmones (Mercado-Mercado *et al.*, 2013).

En las plantas, los compuestos fenólicos son sintetizados durante su desarrollo como respuesta a diversas condiciones adversas: infecciones, heridas y radiaciones, entre otras (Dixon y Paiva, 1995).

5.13.2.12. Flavonoides totales

Los flavonoides son importantes para el desarrollo y el buen funcionamiento de las plantas al protegerlas contra agentes agresores externos, como la radiación UV, la herbivoría y los microorganismos. También pueden actuar como señalizadores químicos que indican a los insectos cuáles plantas son apropiadas para su alimentación, la oviposición, o como guía para la polinización. Los flavonoides contribuyen en el sabor y la dulzura de las hortalizas y en la industria cosmética se usan como reductores de la hiperpigmentación causada por la vejez (Cartaya y Reynaldo, 2001).

Se han detectado, cuantificado y caracterizado diferentes tipos de flavonoides en los chiles, todos ricos en glucósidos como quercetina, myricetina, luteolina, kaempferol y apigenina (Sgroppo y Pereyra, 2009; Bae *et al.*, 2012). Los estudios estructurales de los flavonoides muestran que la posición y número de grupos hidróxilo con un doble enlace en las posiciones de los carbonos 2 y 3 son los principales responsables de su potente actividad antioxidante y anticancerígena (Tonin *et al.*, 2005; Lu *et al.*, 2006).

Por su actividad antioxidante, los flavonoides son útiles para el tratamiento de enfermedades derivadas de procesos inflamatorios y desordenes cardiovasculares, debido a su efecto benéfico en la circulación periférica, la movilización del colesterol y la disminución de la fragilidad capilar. Asimismo, algunos flavonoides presentan actividad protectora hepática, antialérgica, antitrombótica, antibacteriana y antifúngica (Cartaya y Reynaldo, 2001).

5.13.2.13. Capacidad antioxidante

Los radicales libres son átomos con existencia independiente, con uno o más electrones desapareados en sus orbitales externos, lo que los hace muy reactivos por su tendencia a secuestrar un electrón de átomos y moléculas estables, oxidándolas para lograr su propia estabilidad (Robles-Sánchez *et al.*, 2007).

Los chiles del género *Capsicum* y otras hortalizas son una fuente natural de compuestos bioactivos con actividad antioxidante (Howard *et al.*, 2000). Los antioxidantes son un conjunto de moléculas capaces de neutralizar a los radicales libres y por ello tienen la capacidad de detener, mitigar o retardar los procesos de estrés oxidativos que causan daños en las moléculas biológicas (proteínas, lípidos de membrana, carbohidratos y ácidos nucleicos) del organismo, y que se expresan en enfermedades cardiovasculares, inflamatorias, crónico degenerativas, distintos tipos de cánceres y problemas neurológicos (Lachance *et al.*, 2001).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación

El presente trabajo se llevó a cabo en el campo experimental del CIIDIR-Oaxaca, ubicado a 5 km al norte de la ciudad de Oaxaca, México (N 17° 01' 30.367", O 96° 43' 12.269"), a una altitud de 1,550 m.s.n.m. El clima es semiseco-semicálido, la temperatura diurna anual promedio es de 24.8°C, la temperatura nocturna promedio anual es de 16.7°C y la precipitación media anual es de 674.9 mm (Serrano-Altamirano *et al.*, 2005).

Se realizaron dos experimentos: el primero, primavera-verano, de abril a septiembre de 2016 y el segundo, otoño-invierno, de noviembre de 2016 a abril de 2017.

6.2. Genotipos

Se utilizaron dos genotipos de chile de agua que fueron denominados como "Abasolo" y "Ejutla". Las semillas del genotipo "Abasolo" fueron obtenidas con un productor del municipio de San Sebastián Abasolo, distrito de Tlacolula. Las semillas del genotipo "Ejutla", pertenecían a colectas realizadas por el Dr. David Martínez Sánchez del CIIDIR-IPN, Unidad Oaxaca, en el municipio de Ejutla de Crespo.

6.3. Germinación y trasplante

Para la siembra se usaron charolas de poliestireno de 200 cavidades. Se utilizó un sustrato elaborado a base de turba comercial y perlita (3:1). En cada cavidad se depositaron dos semillas a una profundidad de 0.3 cm, se cubrieron con una delgada capa de perlita, se regaron hasta saturación y se cubrieron con plástico negro. Se revisaron cada tercer día para verificar su humedad y estado de germinación.

Una vez que emergieron las plántulas se les retiró el plástico y se colocaron dentro de una cama elevada cubierta con malla blanca para protegerlas del ataque de insectos fitófagos. Durante los 15 días inmediatamente posteriores a su emergencia las plántulas fueron regadas con agua, después se regaron con solución de Steiner (1961) al 50% cada tercer día hasta su trasplante.

Al interior de cada uno de los macrotúneles y a campo abierto, se instalaron dos camellones de tierra de 20 cm de altura, 80 cm de ancho y 15 m de largo, cubiertos con acolchado plástico bicolor negro-plata.

En cada camellón se sembraron dos hileras de plantas, a tresbolillo. La distancia entre hileras fue de 40 cm y entre plantas de 30 cm.

El suelo del terreno en que se llevaron a cabo los experimentos presentó una textura arenosa con 91% de arena, 2.7% de limo y 6.3% de arcilla; su densidad aparente fue de $1.55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; su capacidad de campo de 8.5%, su punto de marchitez de 3.5% y una infiltración básica de $6.3 \text{ cm}\cdot\text{hr}^{-1}$.

El contenido de materia orgánica fue de 1.6%, la conductividad eléctrica del extracto de saturación de $1.2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y 92, 142, 4 318, 350, 253 y 4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de P, K, Ca, Mg, SO_4 y N- NO_3 , respectivamente, según la Norma Oficial Mexicana NOM-021_REC NAT-200 (SEMARNAT, 2001).

La prevención y control de plagas y enfermedades se realizó con productos biológicos y el control de malezas fue hecho manualmente.

6.4. Construcción de los macrotúneles

Se construyeron tres macrotúneles de sección transversal semicircular, orientados de Este a Oeste, con las siguientes dimensiones: 3.5 m de ancho, 1.95 m de alto y 15 m de largo (Figura 3). La relación de volumen de aire encerrado y superficie cubierta que se logró con estas estructuras fue de 2.75 a 1.

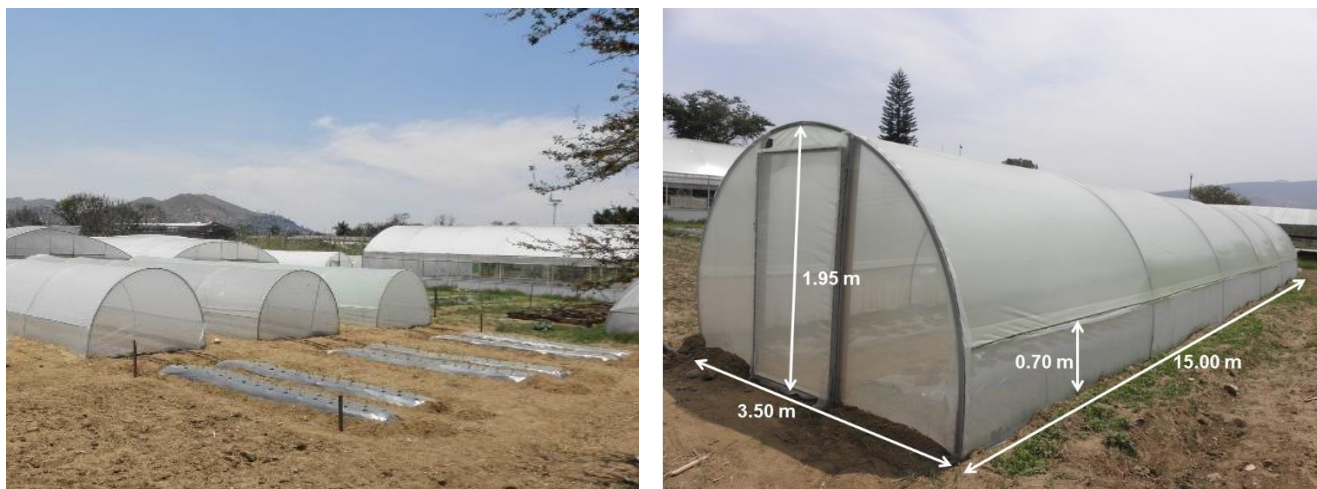


Figura 3. a) Vista panorámica de los macrotúneles construidos en el campo experimental del CIIDIR-Oaxaca. b) Vista exterior, con medidas, de uno de los macrotúneles construidos.

Los materiales de cubierta utilizados fueron adquiridos con el Grupo Industrial POPUSA S. A. de C. V. y pertenecen a su gama de plásticos para horticultura de la marca Alianza®. Sus propiedades se enlistan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades de los materiales plásticos utilizados como cubierta para la construcción de los macrotúneles

	Transparencia a la RFAI	Porosidad	Mesh
Malla antiáfidos	64%	64%	50 (20x10)
Plástico verde clorofila	85%	0%	NA
Plástico transparente	70%	0%	NA

Las películas plásticas de polietileno de baja densidad de color verde clorofila y transparente tenían un grosor de 180 micrómetros (720 galgas).

Cada uno de los macrotúneles fue cubierto con un material o combinación de los distintos materiales, como se detalla a continuación.

Macrotúnel de plástico verde (PV): Toldo de polietileno color verde clorofila, con ventanas laterales, ambas cabeceras y puerta de malla antiáfidos color cristal de 50 mesh. Los

porcentajes de cobertura de la superficie del macrotúnel fueron 64 y 36%, de polietileno verde y malla antiáfidos, respectivamente.

Macrotúnel de plástico transparente (PT): Toldo de polietileno transparente, con ventanas laterales, ambas cabeceras y puerta de malla antiáfidos color cristal de 50 mesh. Los porcentajes de cobertura de la superficie del macrotúnel fueron 64 y 36%, de polietileno transparente y malla antiáfidos, respectivamente.

Macrotúnel de malla antiáfidos (M): El 100% de su superficie fue cubierto de malla antiáfidos color cristal de 50 mesh.

En el mismo terreno se instaló un cultivo a campo abierto, con una extensión de 3.5 x 15 m, en ambos experimentos.

6.5. Fertirriego

Para la nutrición de las plantas se utilizó un sistema de fertirriego con cintilla de riego por goteo, se utilizó la solución tipo recomendada por Segura y Cadahía (2000) para el cultivo en suelo de pimiento, la cual se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Proporción de cationes y aniones de la solución nutritiva utilizada para el fertirriego de las plantas de chile de agua cultivadas dentro de los macrotúneles y a campo abierto

mmo L ⁻¹						
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	CA ²⁺	Mg ²⁺
15	2	3.5	–	9	4.5	1.5

La solución nutritiva se preparó en un tanque de 2,500 L, conectado al sistema de riego presurizado de los macrotúneles. Se regaron una vez al día, antes de las 9 de la mañana, tanto los cultivos en los macrotúneles, como a campo abierto. Se alternaron los riegos con solución nutritiva y agua sin fertilizantes, a razón de cuatro riegos con solución y tres con agua, semanalmente; obteniéndose un total de 32 riegos con solución nutritiva y 24 con agua, en cada experimento.

6.6. Diseño experimental

Para poder evaluar el efecto de los factores (material de cubierta y genotipo) los datos fueron analizados utilizando un diseño con distribución al azar con cinco plantas por unidad experimental y seis repeticiones (Figura 4).

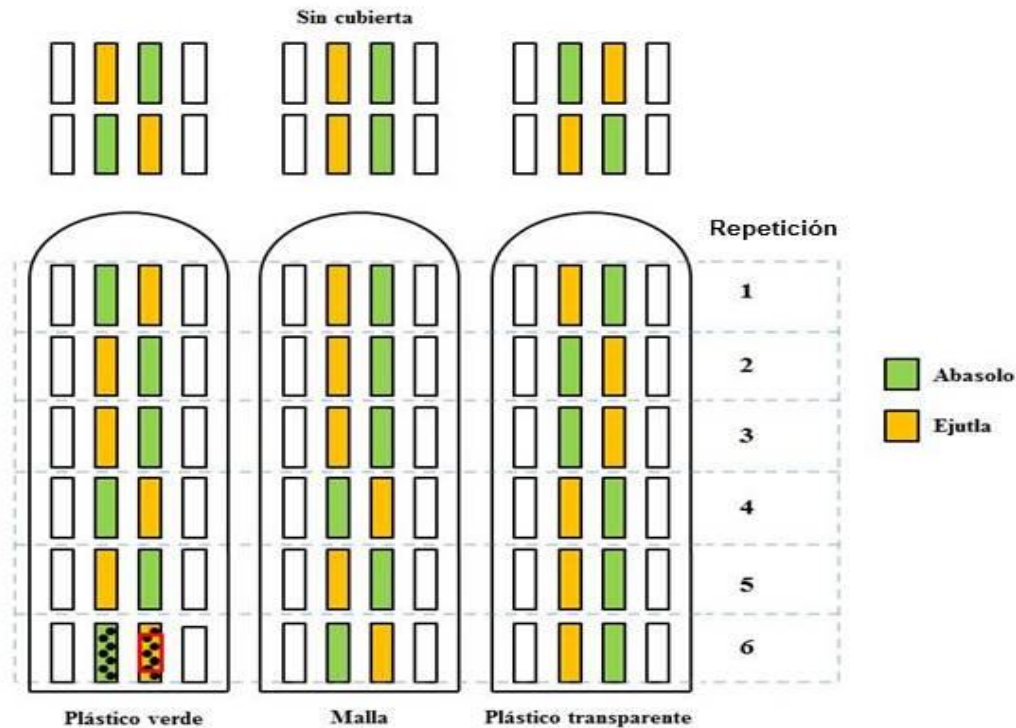


Figura 4. Distribución de los tratamientos y sus repeticiones. El cuadro rojo muestra las cinco plantas que constituyen la unidad experimental.

Con la finalidad de evitar en lo posible el efecto borde no se evaluaron las plantas que quedaron en las hileras exteriores de los camellones (cuadros en blanco). Al final, la superficie que ocupó cada unidad experimental fue de 1.20 por 0.40 m, es decir, 0.72 m².

En cada experimento, se realizaron cuatro cortes de frutos en cada uno de los diferentes ambientes, con una periodicidad de 14 días entre uno y otro corte.

6.7. Variables evaluadas

6.7.1. Variables microclimáticas

Para evaluar las modificaciones microambientales, producidas por los distintos tipos de cubiertas, al interior de los macrotúneles se midieron los siguientes parámetros en ambos

experimentos: temperatura diurna, temperatura nocturna, humedad relativa, se calculó el déficit de presión de vapor y se registró la RFAI.

6.7.1.1. Temperatura diurna, nocturna y humedad relativa

La temperatura y humedad relativa se registraron cada cinco minutos durante todo el ciclo de cultivo utilizando un registrador de datos marca HOBO® modelo Pro v2 (Onset Computer Corporation, Massachusetts, USA) instalado en el interior de cada macrotúnel y a campo abierto. Cada registrador de datos se colocó en el interior de una caja de madera pintada de blanco, para protegerlo de la incidencia directa de la radiación solar, pero con aberturas laterales para permitir la libre circulación de aire a su alrededor.

Los registradores de datos se ubicaron en la parte central de cada macrotúnel y cada semana se modificó su altura, con respecto al piso, para que siempre se encontrarán a la altura del follaje de las plantas, conforme estas crecían.

Los datos de temperatura y humedad relativa se separaron en registros diurnos, de las 06:00 a las 18:55 horas de cada día; y los nocturnos se consideraron de las 19:00 a las 05:55 horas del día siguiente. Los datos de temperatura diurna y nocturna se expresan en grados Celsius (°C); la humedad relativa en porcentaje (%).

6.7.1.2. Déficit de presión de vapor

A partir de la temperatura y humedad relativa diurna se calculó el déficit de presión de vapor. Para ello, se utilizó la ecuación de Penman-Monteith, conforme al trabajo de Howell y Dusek (1995).

$$DPV = [PV_{sat} - PV_{air}]$$
$$PV_{sat} = 0.61078 * e^{\left[\frac{17.27 * T}{237.3 + T}\right]}$$
$$PV_{air} = \left[\frac{HR}{100}\right] * PV_{sat}$$

Donde T, corresponde a la temperatura diurna promedio del aire en °C y HR corresponde al porcentaje promedio de humedad relativa. Los valores resultantes del déficit de presión de vapor son expresados en kilopascales (kPa).

6.7.1.3. Radiación fotosintéticamente activa integrada

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se registró semanalmente con el uso de sensor cuántico lineal marca Apogee® modelo MQ-300 (Apogee Instruments, Utah, USA), cada hora desde las 07:00 hasta las 19:00 horas en tres distintos puntos del macrotúnel a la altura de las plantas. Esto con el fin de obtener una media mensual y al final del ciclo de cultivo obtener la radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI) debajo de cada uno de los diferentes materiales de cubierta empleados en los macrotúneles.

Los promedios de RFAI en los cuatro meses que duró cada experimento se expresan como ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

La transparencia de las cubiertas se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Transparencia(\%)} = \left(\frac{\text{RFAI}_0}{\text{RFAI}_1} \right) 100$$

Donde RFAI_0 es el promedio de la radiación fotosintéticamente activa integrada en campo abierto y RFAI_1 es el promedio de la RFAI bajo la cubierta.

6.7.2. Crecimiento de las plantas

El diámetro del tallo se tomó en la parte basal del tallo, justo por debajo de las cicatrices de las hojas cotiledonares y es expresado en milímetros (mm). Se midió con un vernier digital Mitutoyo®, modelo 500-193 (Mitutoyo America Corporation, Illinois, USA).

La altura de la planta se midió desde la base de la planta a nivel del cuello y hasta su meristemo apical más alto, expresada en centímetros. Se utilizó un flexómetro marca Truper®, modelo FA-3M Autolock (Industrias Truper, Tlalnepantla, México)

6.7.3. Rendimiento

El peso de cada fruto se obtuvo con una báscula marca Escali®, modelo L125 (Escali Corporation, Minneapolis, USA), con una precisión de 0.01 g. De cada repetición y genotipo se obtuvo el peso total de los frutos obtenidos, y este se dividió entre el número total de frutos para obtener el peso promedio de los mismos.

Para determinar el rendimiento, al final de cada experimento se determinó el peso total de los frutos obtenidos en cada repetición y se dividió entre la superficie que ocupó cada unidad

experimental (0.72 m^2). El rendimiento se expresa como kilogramos de frutos producidos por cada metro cuadrado ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

6.7.4. Calidad comercial del fruto

Para evaluar las diferencias en la calidad comercial de los frutos obtenidos en cada tratamiento y repetición se midieron los siguientes parámetros:

La longitud del fruto, que corresponde al diámetro polar de este, medido en centímetros (cm) y el diámetro del fruto, que corresponde a su diámetro ecuatorial, expresado en centímetros (cm).

Tanto la longitud como el diámetro de los frutos se midieron con un vernier digital Mitutoyo®, modelo 500-193 (Mitutoyo America Corporation, Illinois, USA).

En base a sus características de longitud y diámetro, así como otras descritas por Virgen (2006) y Ambrosio (2007), se clasificó a cada fruto en una de las tres categorías de calidad comercial: primera, segunda y tercera. Los resultados se expresan como porcentaje del total de frutos de cada tratamiento.

6.7.5. Calidad nutrimental del fruto

Para evaluar la calidad nutrimental de los frutos obtenidos se seleccionaron de manera aleatoria 20 frutos por cada tratamiento, en el tercer corte de cada experimento. A estos frutos se les separó el pericarpio y este se secó hasta peso constante en un horno de convección por gravedad marca BG®, modelo H-33 (Industrias B.G., Monterrey, México). El pericarpio deshidratado se almacenó en frascos herméticamente cerrados para su posterior uso en los análisis.

El contenido de humedad se determinó por el método de secado en estufa, descrito por la A.O.A.C. (1995). El porcentaje de humedad (%) se calculó como pérdida por secado.

El contenido de cenizas se llevó a cabo por el método de calcinación descrito por Kirk y colaboradores (1996). Consiste en calcinar la muestra en una mufla a 550°C durante 8 horas, hasta obtener cenizas blancas. El resultado se expresa como gramos de ceniza por cada 100 gramos de materia seca ($\text{gr}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$).

La acidez titulable se evaluó de acuerdo con la metodología de la A.O.A.C. (1995), para lo cual se homogeneizaron 10 g de tejido del pericarpio en 50 ml de agua destilada. Los resultados se calcularon como porcentaje de ácido cítrico (%), aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ácido cítrico} = \frac{\text{ml NaOH} \times \text{Meq. ácido} \times V \times 100}{\text{Peso muestra} \times \text{alícuota}}$$

Donde V corresponde al volumen total (ml después de moler en el mortero) y Meq, ácido son los miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0.064 para el ácido cítrico).

Las mediciones de pH se realizaron directamente y por triplicado con un potenciómetro marca Oakton, modelo pH-700 (Oakton Instruments, Kansas, USA). Se tomaron 10 g de pulpa y se molieron en mortero con 50 ml de agua destilada, filtrándose con papel y recibiendo las muestras en matraces Erlenmeyer de 50 ml. El pH se expresa como el inverso del logaritmo base 10 de la concentración de iones hidrógeno cargados positivamente (-log₁₀ [H⁺])

Los sólidos solubles totales se determinaron mediante dos gotas del jugo del pericarpio del fruto fresco, colocadas directamente en la lente de un refractómetro digital Hanna®, modelo HI96800 (Hanna Instruments, Rhode Island, USA) con escala de 0 a 53%, y se expresan como grados Brix (°Brix).

El contenido de nitrógeno total se determinó por el método de Kjeldahl y, a partir de él, la proteína fue calculada utilizando el factor de nitrógeno de 6.25. El contenido de grasas fue determinado por el método de Soxhlet por extracción con éter de petróleo. El contenido de fibra dietética total fue determinado tras la incineración del residuo orgánico que queda tras la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio. Todas las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Alimentos del Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Oaxaca.

Los carbohidratos fueron determinados por diferencia y el contenido calórico total fue calculado en función de los resultados obtenidos para carbohidratos, proteínas y grasas. Los factores utilizados para la conversión se basaron en la energía metabolizable: 4 calorías por gramo para carbohidratos, 4 calorías por gramo para proteína y 9 calorías para grasas (FAO, 2003).

La cuantificación de los fenoles totales se hizo por el método Folin-Ciocalteu, descrito por Singleton y Rossi (1965), donde se tomó 1 ml de macerado de tejido, al cual se adicionó 1 ml

de Na_2CO_3 al 0.5%, más 1 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu. Se incubo durante 60 minutos a temperatura ambiente, en oscuridad y se midió su absorbancia a 750 nm. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra seca.

La curva estándar de contenido de fenoles se obtuvo agregando 1 ml de cinco diferentes concentraciones de ácido gálico (0, 25, 50, 100 y 250 ppm), obtenidas a partir de una solución con una concentración de 1,000 ppm de este compuesto en metanol al 90% ($1 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$), adicionándoles 1 ml de H_2O , 1 ml de Na_2CO_3 y 1 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu, incubadas 60 minutos a temperatura ambiente en oscuridad y leyéndolas a 750 nm. El coeficiente de determinación (R^2) de la curva estándar obtenida fue de 0.9986 (Figura 5).

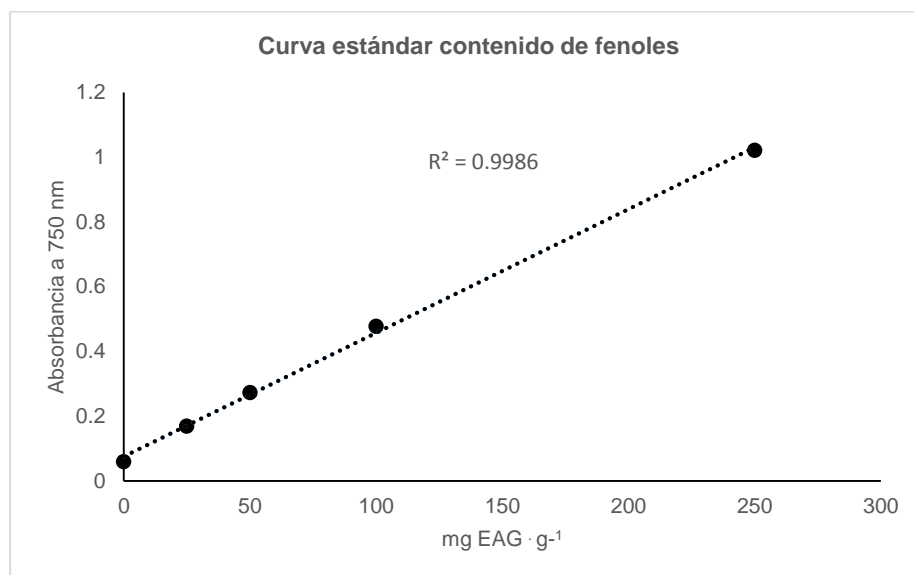


Figura 5. Curva estándar utilizada para determinar el contenido de fenoles totales en las muestras.

El contenido de flavonoides totales se obtuvo de acuerdo al método descrito por Chen y colaboradores (2014) y se expresó como miligramos de quercetina (Q)E por gramo de muestra seca.

La curva estándar de contenido de flavonoides se obtuvo agregando 1 ml de seis diferentes concentraciones de quercetina (0, 20, 40, 60, 80 y 100 ppm), obtenidas a partir de una solución con una concentración de 1,000 ppm de este compuesto en metanol al 90% ($1 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) y leyéndolas a 490 nm. El coeficiente de determinación (R^2) de la curva estándar fue de 0.9774 (Figura 6).

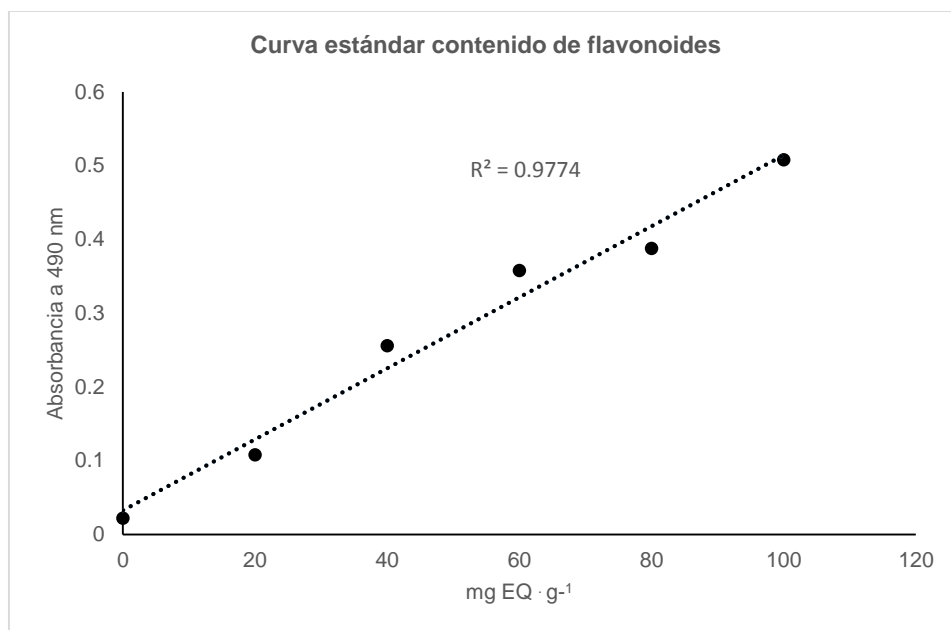


Figura 6. Curva estándar utilizada para determinar el contenido de flavonoides en las muestras.

La capacidad antioxidante de la pulpa del fruto se determinó mediante el método del radical libre, descrito por Brand-Williams y colaboradores (1995). Dicho método consistió en preparar una solución de DPPH disolviendo 6 mg de este compuesto en 100 ml de metanol al 80%. A esta solución se le midió la absorbancia a 517 nm, y se ajustó a 1.25, lo que correspondió a la señal no inhibida.

La curva estándar de antioxidante se obtuvo agregando 0.1 ml de siete diferentes concentraciones de Trolox (0, 33, 66, 100, 133, 166 y 200 ppm), un análogo de la vitamina E; obtenidas a partir de una solución con una concentración de 1,000 ppm de este compuesto en metanol al 80% (1 mg·ml⁻¹), adicionándoles 2.9 ml de la solución de DPPH y leyéndolas a 517 nm. El coeficiente de determinación (R^2) de la curva estándar fue de 0.9904 (Figura 7).

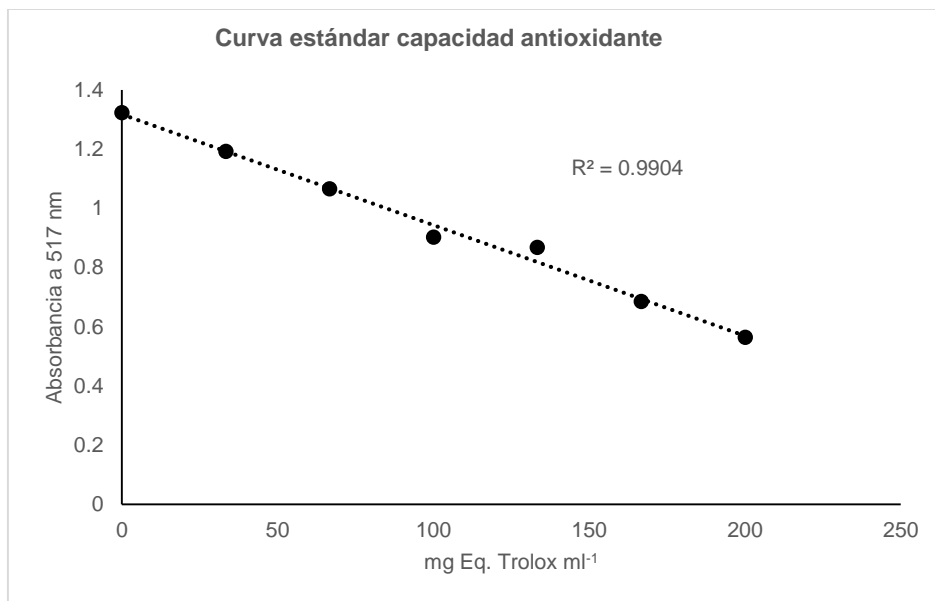


Figura 7. Curva estándar utilizada para determinar la capacidad antioxidante en las muestras.

Se tomaron 20 mg de muestra seca y se molieron con 10 ml de metanol al 80%, se filtraron y se guardaron en refrigeración en tubos color ambar con tapa. La capacidad antioxidante de cada muestra se obtuvo de la misma forma que la curva estándar, pero agregando 0.1 ml del filtrado de cada muestra en lugar del Trolox. La capacidad antioxidante se calculó con la siguiente fórmula y se expresa como porcentaje de inhibición.

$$\text{Inhibición}(\%) = \left(\frac{A_0 - A_m}{A_0} \right) 100$$

Donde A_0 es la absorbancia del blanco y A_m es la absorbancia de la muestra, medida 30 minutos después de haberle agregado el DPPH.

Todas las absorbancias se leyeron en un espectrofotómetro marca Shimadzu®, modelo UV-1800 (Shimadzu Corporation, Osaka, Japón).

Debido a la falta de equipo y reactivos, el contenido de proteína, grasas, fibra, carbohidratos, contenido calórico, fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante solo se llevó a cabo en los frutos del genotipo Ejutla de ambos experimentos.

6.8. Análisis de datos

Con un análisis de varianza (ANDEVA) se determinó si existían diferencias significativas para las distintas variables del estudio y con la prueba de Tukey, a un nivel de significancia del 95%

($\alpha \leq 0.05$), se realizaron las comparaciones múltiples de medias, considerando como la hipótesis nula que no existía un efecto significativo en las variables respuesta entre los distintos tipos de cubierta, y como hipótesis alterna el que al menos uno de los tratamientos es diferente.

Además, se realizaron análisis de regresión múltiple con el procedimiento de mínimos cuadrados para construir modelos lineales que ayudaran a describir el impacto de los cinco factores microclimáticos sobre cada una de las variables respuesta. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Minitab® 18.1 (Minitab, Inc. Pennsylvania, USA).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Variables microclimáticas

7.1.1. Temperaturas y humedad relativa

En el cuadro 4 se muestran los valores promedio registrados para las variables microclimáticas en los cuatro ambientes, durante cada uno de los dos experimentos.

Cuadro 4. Valores promedio de temperatura diurna, temperatura nocturna, humedad relativa, déficit de presión de vapor y radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI), durante cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)				
	Temperatura diurna (°C)	Temperatura nocturna (°C)	Humedad relativa (%)	Déficit de presión de vapor (kPa)	RFAI (mol m ⁻² d ⁻¹)
Campo abierto	22.0 ± 0.3d-	17.7 ± 0.4ab*	73.8 ± 0.6a*	0.69 ± 0.02d*	54.76 ± 1.66a
Malla	25.5 ± 0.3c*	18.3 ± 0.4ab*	62.6 ± 0.3a*	1.22 ± 0.02cd*	39.25 ± 1.84b
Plástico transparente	27.6 ± 0.2bc*	20.5 ± 0.4a*	62.8 ± 2.8a*	1.37 ± 0.10c*	39.05 ± 2.16b
Plástico verde	28.3 ± 0.6b*	19.8 ± 0.5a*	74.2 ± 4.8a*	1.00 ± 0.62cd*	39.64 ± 2.86b
Segundo experimento (otoño-invierno)					
Campo abierto	25.8 ± 1.4c*	15.4 ± 1.8b-	39.1 ± 1.1b-	1.94 ± 0.12b+	42.88 ± 0.74b
Malla	27.3 ± 0.9bc*	14.9 ± 1.7b-	36.6 ± 1.4b-	2.28 ± 0.09ab+	27.34 ± 1.43c
Plástico transparente	30.6 ± 0.5a+	15.2 ± 1.8b-	36.0 ± 3.0b-	2.84 ± 0.05a+	28.35 ± 1.44c
Plástico verde	30.3 ± 0.9a+	15.3 ± 1.8b-	35.6 ± 2.7b-	2.79 ± 0.06a+	27.50 ± 1.54c

* Valores óptimos, - valores inferiores al valor óptimo, +valores superiores al valor óptimo. Valores en la misma columna y con la misma literal, no presentan diferencia estadísticamente significativa (Tukey, 0.05).

En la mayoría de los ambientes, las condiciones microclimáticas fueron distintas entre uno y otro experimento, es decir, entre primavera-verano y otoño-invierno.

Las temperaturas diurnas en otoño-invierno, dentro del PV, PT y CA fueron mayores en un 7, 11 y 17%, respectivamente, en comparación a primavera-verano, pero en M no hubo diferencia significativa entre ambas temporadas.

La temperatura nocturna durante primavera-verano fue 29, 35, 23 y 15% más alta en PV, PT, M y CA, respectivamente y en comparación a otoño-invierno. Además, se puede observar que no existieron diferencias en la temperatura nocturna entre las cubiertas y CA, ni en la temporada primavera-verano ni en la temporada otoño-invierno, lo que nos indica que los macrotúneles, como estructuras de protección, no poseen una inercia térmica, esto debido a su baja relación de volumen de aire encerrado por unidad de superficie cubierta (2.75:1), como lo señala Castilla (2004).

La humedad relativa en primavera-verano fue mayor que en otoño invierno en 108, 74, 71 y 87% en PV, PT, M y CA, respectivamente.

En primavera-verano, bajo las tres cubiertas: M, PT y PV se obtuvieron los valores óptimos tanto de temperaturas como de humedad relativa para el desarrollo del cultivo del chile de agua. No así en CA, donde se presentó una temperatura diurna promedio inferior a la temperatura óptima (Cuadro 4).

Por el contrario, durante el ciclo otoño-invierno, en ninguno de los ambientes se obtuvieron las condiciones óptimas conjuntas de temperaturas y humedad relativa necesarias para el buen desarrollo del cultivo de chile de agua (Cuadro 4). La temperatura diurna promedio en PT y PV se encontró por encima del valor óptimo, mientras que en CA y M se ubicó dentro del rango de valores óptimos. La temperatura nocturna y humedad relativa en todos los ambientes se ubicaron por debajo de los rangos óptimos reportados por Vázquez (2005).

7.1.2. Déficit de presión de vapor

En el experimento primavera-verano, CA fue el ambiente que registró el valor más bajo de DPV, 0.53, 0.68 y 0.31 kPa menos que en los ambientes generados bajo M, PT y PV.

El DPV fue significativamente mayor durante otoño invierno, en comparación a primavera-verano: 81% en CA, 87% en M, 107% en PT y 179% en PV.

Castilla (2004), señala que, para un buen desarrollo de los cultivos, el DPV no debe rebasar valores de 2.7 kPa en primavera y de 1.1 kPa durante el invierno. Asimismo, Grange y Hand (1987) mencionan que un valor igual o menor a 0.3 kPa disminuye significativamente el desarrollo de hortalizas.

En el experimento primavera-verano, los cuatro ambientes registraron valores promedio de DPV entre 0.69 y 1.37 kPa, es decir, se encontraron dentro del rango óptimo para el cultivo de hortalizas. Durante el experimento otoño-invierno, los valores de DPV tanto en CA como debajo de las tres cubiertas se encontraron entre 1.94 y 2.84 kPa, muy por encima del valor máximo recomendado.

7.1.3. Radiación fotosintéticamente activa integrada

La RFAI fue mayor en primavera-verano que en otoño-invierno; 44% en PV, 38% en PT, 43% en M y 28% en CA.

En primavera-verano, bajo las tres cubiertas: M, PT y PV se obtuvieron los valores óptimos tanto de temperaturas como de humedad relativa para el desarrollo del cultivo del chile de agua (Vázquez, 2005). No así en CA, donde se presentó una temperatura diurna promedio inferior a la temperatura óptima (Cuadro 4).

En ambos ciclos, la RFAI fue mayor en CA que dentro de los macrotúneles, esto, como lo señala Espí (2012) se pudo deber a la absorción y reflexión de los distintos materiales utilizados para cubrirlos. En ninguno de los dos experimentos hubo diferencias significativas en la RFAI registrada dentro de los macrotúneles.

La cubierta de PV mostró una transparencia a la RFA de 72% en primavera-verano y de 64% durante otoño-invierno, que son valores muy por debajo del 85% que garantiza el fabricante.

El plástico transparente mostró una transparencia del 71% en primavera-verano, valor muy similar al 70% garantizado por el fabricante, pero en otoño-invierno, su transparencia fue de 66%, valor por debajo del garantizado.

En la malla antiáfidos se registró una transparencia de 72 y 64% en el primer y segundo experimento, respectivamente. Estos valores fueron superiores, en primavera-verano, e igual en otoño-invierno, comparados al 64% que garantiza el fabricante para este producto.

7.2. Crecimiento de las plantas

7.2.1. Diámetro del tallo y altura de la planta

En diámetro del tallo, el genotipo Ejutla solo registró diferencia en CA, siendo 28% mayor durante primavera-verano que en otoño-invierno. Bajo cubiertas no presentó diferencias entre temporadas.

El genotipo Abasolo no registró diferencias significativas para diámetro del tallo entre ambas temporadas, en ninguna de las tres cubiertas. En CA tuvo un diámetro de tallo 35% mayor en primavera-verano que durante otoño-invierno.

Para la altura del tallo, el genotipo Ejutla no presentó diferencias en M y PT entre temporadas, pero las plantas cultivadas en CA y PV fueron 104 y 19% más altas en primavera-verano que en otoño-invierno.

El genotipo Abasolo no presentó diferencias entre temporadas en las cubiertas de M y PT, en cambio las plantas en CA fueron 133% más altas en el primer experimento, por el contrario, las plantas que crecieron bajo PV fueron 27% menores que en el experimento otoño-invierno (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores promedio de diámetro del tallo y altura de la planta de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)			
	Diámetro del tallo (mm)		Altura de la planta (cm)	
	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo
Campo abierto	7.66 ± 0.82ab B	9.25 ± 1.28a A	56.99 ± 3.12d B	65.6 ± 7.24ab A
Malla	8.04 ± 0.39ab B	8.63 ± 0.31ab A	63.35 ± 8.25cd A	60.88 ± 6.15b A
Plástico transparente	8.23 ± 0.28a B	10.45 ± 0.70a A	61.29 ± 6.44cd B	71.46 ± 6.00ab A
Plástico verde	7.98 ± 0.88ab B	8.96 ± 0.57ab A	92.22 ± 5.94a A	63.70 ± 5.65b B
Segundo experimento (otoño-invierno)				
Campo abierto	5.54 ± 0.47c A	5.99 ± 1.56c A	27.94 ± 2.34e A	28.09 ± 7.63c A
Malla	6.85 ± 0.86bc A	7.19 ± 0.84bc A	57.42 ± 8.62d A	59.45 ± 7.33b A
Plástico transparente	8.07 ± 1.05ab A	8.49 ± 1.42ab A	73.17 ± 9.87bc A	74.83 ± 13.22ab A
Plástico verde	7.72 ± 0.78ab A	8.63 ± 1.15ab A	77.41 ± 9.70b A	80.78 ± 11.55a A

Valores en la misma columna y con la misma literal en minúsculas, no son estadísticamente diferentes. Valores en la misma fila y con la misma literal mayúscula, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En el análisis de regresión múltiple los valores de P en la tabla de ANOVA son menores a 0.05, por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre el conjunto de las cinco variables ambientales y diámetro del tallo para ambos genotipos, con un nivel de confianza del 95% (Cuadro 17).

Para la variable altura de la planta, los valores de P en la tabla indican que existe una relación estadísticamente significativa entre temperatura nocturna, HR y RFAI en el genotipo Ejutla. Para el genotipo Abasolo, las cinco variables microclimáticas están significativamente relacionadas con la altura de la planta

El valor del coeficiente de determinación (R^2) indica que el modelo explicaría el 99.18% de la variabilidad en el diámetro del tallo del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explicaría el 98.58%. Es decir, ambos coeficientes de correlación son muy altos.

Para la altura de la planta, el valor de R^2 indica que el modelo explica el 98.83% de la variabilidad en el genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explica el 98.29.

En el análisis combinado de los dos genotipos y ambos experimentos, se observa claramente que tanto el diámetro del tallo como la altura de la planta fueron mayores en los macrotúneles de PT y PV. Los valores menores se obtuvieron en CA y, el macrotúnel de M produjo valores intermedios entre las películas plásticas y CA (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis combinado del diámetro de tallo y altura de la planta.

Cubierta	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño-invierno)	
	Diámetro del tallo (mm)	Altura de la planta (cm)
	Ejutla + Abasolo	
Campo abierto	7.11 ± 1.82c	44.66 ± 18.05c
Malla	7.68 ± 0.99bc	60.28 ± 7.46b
Plástico transparente	8.81 ± 1.32a	70.19 ± 10.25a
Plástico verde	8.32 ± 0.96ab	78.53 ± 13.11a

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En nuestro trabajo, el diámetro promedio del tallo fue de 7.98 mm y la altura de 63.41 cm. En su trabajo, Valentín (2011) obtuvo un diámetro de 12 mm y una altura de 51.67 cm, con nutrición hidropónica y en invernadero con polietileno blanco.

Además de las temperaturas diurnas y nocturnas del aire, la humedad relativa y la intensidad de la luz, se menciona que otros factores, como la concentración de CO₂ y la velocidad del aire también influyen en el desarrollo de los cultivos dentro de estructuras de protección (Abd-El-Baky *et al.*, 2010), factores que no evaluamos en el presente trabajo y que tal vez podrían ayudarnos a explicar mejor las diferencias encontradas.

7.3. Rendimiento

7.3.1. Peso promedio del fruto y rendimiento

Los valores para el peso promedio del fruto y el rendimiento de cada genotipo, en cada uno de los experimentos se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7. Valores promedio de peso del fruto y rendimiento de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)			
	Peso promedio del fruto (gr)		Rendimiento (kg m ⁻²)	
	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo
Campo abierto	27.40 ± 3.52a A	26.06 ± 3.36a A	1.60 ± 0.49bc A	1.58 ± 0.57b A
Malla	30.62 ± 1.76a A	26.01 ± 1.61a B	2.09 ± 0.18ab A	2.98 ± 1.76a A
Plástico transparente	29.80 ± 3.18a A	25.87 ± 1.89a B	2.51 ± 0.70a A	2.78 ± 0.86a A
Plástico verde	31.65 ± 2.24a A	28.41 ± 7.19a A	2.64 ± 0.53a A	2.71 ± 0.59a A
Segundo experimento (otoño-invierno)				
Campo abierto	13.05 ± 1.87d A	12.35 ± 2.24c A	0.24 ± 0.12d A	0.35 ± 0.23d A
Malla	22.47 ± 1.62b A	22.17 ± 3.05ab A	0.98 ± 0.27cd A	1.31 ± 0.60c A
Plástico transparente	17.49 ± 3.37cd A	17.25 ± 3.43bc A	1.40 ± 0.59bc A	1.37 ± 0.64c A
Plástico verde	19.21 ± 1.89bc A	17.92 ± 3.42bc A	1.47 ± 0.23bc A	1.65 ± 0.70b A

Valores en la misma columna y con la misma literal en minúsculas, no son estadísticamente diferentes. Valores en la misma fila y con la misma literal mayúscula, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Durante el ciclo primavera-verano, el peso promedio de los frutos del genotipo Ejutla fue 110, 36, 70 y 65% mayor en CA, M, PT y PV, respectivamente, en comparación a otoño-invierno. El genotipo Abasolo tuvo frutos 111, 50 y 58% más grandes en CA, PT y PV, durante primavera-verano, pero en M no hubo diferencia entre ambos experimentos.

El rendimiento del genotipo Ejutla fue mayor en primavera-verano en 566, 113, 79 y 79%, para CA, M, PT y PV, respectivamente. El rendimiento del genotipo Abasolo, fue mayor en primavera-

verano en 351, 127, 103 y 64% en CA, M, PT y PV, en comparación al experimento otoño-invierno.

Como mencionan Assmann y Grantz (1990) al aumentar el déficit de presión de vapor la planta comienza a transpirar hasta llegar a un punto en que la planta cierra sus estomas a fin de no sufrir plasmólisis de sus células, disminuyendo con ello su tasa fotosintética y su rendimiento, como al parecer ocurrió en el ciclo otoño-invierno. Asimismo, Grange y Hand (1987), mencionan que cuando el DPV disminuye hasta valores cercanos a 0.3 kPa hay un detrimento en el desarrollo de los mismos, como al parecer ocurrió en el ciclo primavera-verano en campo abierto.

Al realizar el análisis de regresión múltiple, los valores de P en la tabla de ANOVA de las cinco variables microambientales son menores a 0.05, por lo que con ellas existe una relación estadísticamente significativa con el peso del fruto del genotipo Ejutla, con un nivel de confianza del 95%. Para el genotipo Abasolo existe relación significativa entre las variables ambientales humedad relativa, DPV y RFAI con el peso del fruto.

Los valores de P en la tabla de ANOVA muestran que la humedad relativa tiene relación significativa con el rendimiento del genotipo Ejutla. Para el genotipo Abasolo, la temperatura nocturna presenta relación significativa con el rendimiento.

El coeficiente de determinación indica que el modelo explica el 98.75% de la variabilidad en el peso promedio del fruto del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explicaría el 97.35%.

Para la variable rendimiento, el coeficiente de determinación indica que el modelo explica el 94.52% de la variabilidad en el genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explicaría el 86%.

Al analizar en conjunto ambos genotipos, durante los dos experimentos, se puede ver que las tres cubiertas produjeron los frutos con los mayores pesos del fruto y rendimiento, sin diferencias significativas entre ellas. Campo abierto tuvo los valores menores para ambas variables (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis combinado del peso del fruto y rendimiento.

Cubierta	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño-invierno)	
	Peso promedio del fruto (gr)	Rendimiento (kg m ⁻²)
	Ejutla + Abasolo	Ejutla + Abasolo
Campo abierto	19.72 ± 7.66b	0.94 ± 0.76b
Malla	25.32 ± 3.99a	1.84 ± 1.18a
Plástico transparente	22.60 ± 6.21ab	2.01 ± 0.92a
Plástico verde	24.30 ± 7.18ab	2.11 ± 0.76a

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Valentín (2011) y Domínguez (2012), obtuvieron frutos con un peso promedio de 27.96 y 34.56 g, cultivándolos en invernadero con polietileno blanco e hidroponía. López (2013), obtuvo frutos con un peso promedio de 26.19 g, en hidroponía, con micorrizas y en invernadero. En este trabajo se obtuvieron valores menores en los macrotúneles de plástico transparente y verde, 22.60 y 24.3 g, respectivamente.

La SAGARPA (2018), reporta que en 2017 el rendimiento promedio anual a campo abierto fue de 0.67 kg·m⁻². El rendimiento obtenido en el presente trabajo fue de 0.94 kg·m⁻² a campo abierto (Cuadro 8), un 40.3% mayor.

Aparicio (2013), reporta un rendimiento de chile de agua de 1.02 kg·m⁻² en primavera-verano y de 1.27 kg·m⁻² en otoño-invierno, cuando se cultiva en hidroponía al interior de invernadero con cubierta de plástico transparente.

López (2013). Obtuvo un rendimiento de 1.34 kg·m⁻², en cultivo hidropónico, con micorrizas e invernadero de plástico transparente, en primavera-verano.

En este trabajo, bajo la misma cubierta, se obtuvo un rendimiento de 2.64 en primavera-verano y 1.38 kg·m⁻² en otoño-invierno (Cuadro 7), es decir, 158.8 y 8.6% más en cada ciclo, en comparación a lo obtenido por Aparicio, y 97% que en el ciclo primavera-verano reportado por López.

Lo anterior concuerda con lo indicado por otros autores (Casilimas *et al.*, 2012; Hatutale, 2013; Colín, 2018; Del Pino, 2018), que mencionan que no son los factores ambientales por separado los que influyen en el rendimiento y la calidad del cultivo de *Capsicum annuum*, sino que es la

conjunción de los valores óptimos en los distintos parámetros ambientales, durante sus etapas críticas de crecimiento, floración y fructificación.

7.4. Calidad comercial del fruto

7.4.1. Diámetro y longitud del fruto

En diámetro del fruto, el genotipo Ejutla fue mayor en CA, PT y PV durante primavera-verano que en otoño-invierno, en 33, 16 y 14%, respectivamente; M no tuvo diferencias entre experimentos. Ejutla tuvo frutos más largos en primavera verano, en un 25% en CA, 24% en PT y 23% en PV, pero en CA no hubo diferencia en longitud

Abasolo tuvo frutos de mayor diámetro en primavera-verano en los ambientes de CA y PV (25 y 13%), pero no hubo diferencias entre experimentos en los ambientes de M y PT. Este mismo genotipo registro frutos de mayor longitud en CA y PT, en 31 y 22%, respectivamente. Los frutos en M y PV no presentaron diferencias en longitud entre ambas temporadas (cuadro 9).

Cuadro 9. Valores promedio de diámetro y longitud del fruto de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)			
	Diámetro del fruto (cm)		Longitud del fruto (cm)	
	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo
Campo abierto	3.85 ± 0.19ab A	3.58 ± 0.16ab B	8.14 ± 0.45cd A	8.05 ± 0.80ab A
Malla	3.82 ± 0.14ab A	3.43 ± 0.16ab B	9.43 ± 0.50ab A	8.73 ± 0.57a B
Plástico transparente	3.93 ± 0.15ab A	3.41 ± 0.25ab B	9.51 ± 0.61ab A	8.83 ± 0.44a B
Plástico verde	3.97 ± 0.22a A	3.62 ± 0.24a B	10.05 ± 0.22a A	8.66 ± 0.61a B
Segundo experimento (otoño-invierno)				
Campo abierto	2.90 ± 0.14d A	2.85 ± 0.27c A	6.73 ± 0.65e A	6.13 ± 0.56c A
Malla	3.63 ± 0.11bc A	3.52 ± 0.20ab A	8.77 ± 0.53bc A	8.39 ± 0.62ab A
Plástico transparente	3.37 ± 0.23c A	3.23 ± 0.23abc A	7.69 ± 0.86de A	7.20 ± 0.87bc A
Plástico verde	3.49 ± 0.16c A	3.19 ± 0.24bc A	8.14 ± 0.38cd A	7.65 ± 0.94ab A

Valores en la misma columna y con la misma literal en minúsculas, no son estadísticamente diferentes. Valores en la misma fila y con la misma literal mayúscula, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Los valores de P en la tabla de regresión múltiple muestran que las cinco variables ambientales tienen relación significativa con el diámetro del fruto del genotipo Ejutla. Para el genotipo Abasolo existe relación significativa entre las variables ambientales humedad relativa y DPV con el diámetro promedio del fruto.

Los valores de P en la tabla de ANOVA muestran que temperatura nocturna, humedad relativa y RFAI tiene relación significativa con la longitud del fruto del genotipo Ejutla. Para el genotipo Abasolo las cinco variables muestran relación significativa con la longitud promedio del fruto.

El valor de R² indica que el modelo explica el 99.65% de la variabilidad en el diámetro del fruto del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explicaría el 99.33%. Para la variabilidad en la longitud del fruto del genotipo Ejutla el coeficiente de determinación indica que el modelo explica el 99.39% de la variabilidad en la longitud del fruto del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explica el 99.02%.

Analizando el promedio de ambos genotipos y ambos experimentos, para las variables de diámetro y longitud del fruto, nuevamente las tres cubiertas produjeron los mejores frutos, sin diferencias estadísticamente significativa entre ellas. Campo abierto produjo los frutos con menor diámetro y longitud (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis combinado del diámetro y longitud del fruto.

Cubierta	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño-invierno)	
	Diámetro del fruto (cm)	Longitud del fruto (cm)
	Ejutla + Abasolo	
Campo abierto	3.29 ± 0.47b	7.26 ± 1.05b
Malla	3.59 ± 0.20a	8.83 ± 0.65a
Plástico transparente	3.48 ± 0.33ab	8.31 ± 1.14a
Plástico verde	3.56 ± 0.34a	8.62 ± 1.07a

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Domínguez (2012), en invernadero con hidroponía, obtuvo frutos con un diámetro de 3.34 cm y una longitud de 9.77 cm, en promedio. López (2013) inoculando micorrizas en hidroponía obtuvo frutos en invernadero con un diámetro y una longitud de 5 y 15.6 cm, en promedio. En este trabajo los frutos tuvieron un diámetro de 3.54 cm y un largo de 8.58 cm, en promedio, bajo las tres cubiertas.

7.4.2. Calidades

En cuanto a la calidad, en campo abierto ninguno de los dos genotipos produjo frutos de primera calidad en el experimento otoño-invierno.

En primera calidad, el genotipo Ejutla en CA produjo un 13.56% de frutos, pero no presentó diferencia en M entre los dos experimentos. PT y PV produjeron 13.28 y 9.39% más frutos en primavera-verano que en otoño-invierno. El genotipo Abasolo produjo 2.58% de frutos de primera calidad en primavera-verano, 17.26% menos en M y no tuvo diferencias PT y PV entre temporadas.

En segunda calidad, Ejutla no presentó diferencias entre temporadas en CA y M, pero en primavera verano fue un 25% mayor en PT y 26% mayor en PV. Abasolo obtuvo mayores porcentajes en todos los ambientes durante el primer experimento: 31% en CA, 26% en M, 39% en PT y 25% en PV.

En tercera calidad, el genotipo Ejutla no presentó diferencia en M entre temporadas, pero en otoño-invierno fue mayor en 29, 38 y 35 en CA, PT y PV, respectivamente. El genotipo Abasolo no presentó diferencias entre temporadas en los ambientes M y PV, pero en CA y PT fue mayor en otoño-invierno en 34 y 28% (Cuadro 11).

Cuadro 11. Porcentaje de frutos de cada categoría de calidad comercial, de cada genotipo y en cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)					
	Primera (%)		Segunda (%)		Tercera (%)	
	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo
Campo abierto	13.56±6.28b A	2.58±1.53b B	42.54±11.58bc A	51.16±14.55abc A	43.90±9.81bc A	46.26±15.60bcd A
Malla	14.23±9.41b A	1.29±0.35b B	69.99±13.15a A	66.02±12.34a A	15.78±10.12de B	32.69±12.12cd A
Plástico transparente	18.57±4.31a A	2.29±0.34b B	66.88±10.78a A	68.69±10.24a A	14.55±9.69de B	29.02±11.59d A
Plástico verde	19.20±4.43a A	2.66±0.33b B	72.68±4.03a A	61.53±9.01ab B	8.11±2.78e B	35.81±12.51cd A
Segundo experimento (otoño-invierno)						
Campo abierto	0.00d	0.00c	27.38±7.05c A	19.89±13.91d A	72.62±7.05a A	80.11±13.91a A
Malla	12.61±9.80ab A	18.55±12.17a A	56.03±14.35ab A	39.85±7.83bcd B	31.36±17.13cd A	41.60±14.16bcd A
Plástico transparente	5.29±5.05c A	2.81±4.61b A	41.90±11.14bc A	29.71±13.59cd A	52.81±15.40ab A	67.48±17.17ab A
Plástico verde	9.81±5.39bc A	5.21±4.73b A	46.49±6.12bc A	35.98±18.32cd A	43.70±10.16bc A	58.80±21.30abc A

Valores en la misma columna y con la misma literal en minúsculas, no son estadísticamente diferentes. Valores en la misma fila y con la misma literal mayúscula, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Con los valores de P en la tabla de ANOVA de la regresión múltiple, se puede observar que la RFAI tiene relación significativa con el porcentaje de frutos de primera calidad del genotipo

Ejutla, mientras que el genotipo Abasolo ninguna de las variables muestra una relación significativa con el porcentaje de frutos de primera calidad.

En el caso del porcentaje de frutos de segunda calidad, los valores de P en la tabla de ANOVA muestran que la temperatura nocturna y la RFAI tiene relación significativa con el porcentaje de frutos de segunda calidad para el genotipo Ejutla, mientras que para Abasolo todas las variables microclimáticas muestran relación significativa con el porcentaje de frutos de esta categoría.

Para el porcentaje de frutos de tercera calidad, los valores de P en la tabla sugieren que la temperatura nocturna y RFAI tienen relación significativa con el porcentaje de frutos de tercera calidad para el genotipo Ejutla, mientras que para Abasolo la temperatura diurna, temperatura nocturna, HR y RFAI muestran relación significativa con el porcentaje de frutos de esta categoría.

El coeficiente de determinación muestra que el modelo solo explica el 75.30% de la variabilidad en el porcentaje de frutos de primera calidad del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explicaría solo el 34.39%.

En cambio, R^2 indica que el modelo ajustado explica el 96.26% de la variabilidad en el porcentaje de los frutos de segunda del genotipo Ejutla, y el 94.34% para el genotipo Abasolo. Y para el porcentaje de frutos de tercera calidad del genotipo Ejutla, el modelo ajustado explica el 93.60% de la variabilidad, mientras que para el genotipo Abasolo explica el 93%.

En el análisis conjunto, los mayores porcentajes de frutos clasificados dentro de primera y segunda calidad se obtuvieron bajo las tres cubiertas.

El porcentaje de frutos de primera calidad bajo las cubiertas no rebaso el 11.67%, muy por debajo de lo logrado por López (2013), que con el uso de micorrizas e hidroponía en invernadero obtuvo un 46.4% de frutos de primera calidad.

El porcentaje de frutos de segunda calidad dentro de los macrotúneles fue de 54.6%, en promedio. Dicho porcentaje fue muy similar al obtenido por López, que fue de 53.5%.

Campo abierto produjo el mayor porcentaje de frutos de tercera calidad: 61.4% (cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis combinado de los porcentajes de frutos de cada categoría de calidad comercial.

	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño-invierno)		
	Primera (%)	Segunda (%)	Tercera (%)
Cubierta	Ejutla + Abasolo	Ejutla + Abasolo	Ejutla + Abasolo
Campo abierto	4.03 ± 3.63b	34.57 ± 17.84b	61.40 ± 20.70a
Malla	11.67 ± 1.73a	57.97 ± 16.43a	30.36 ± 15.86b
Plástico transparente	7.23 ± 3.09ab	51.80 ± 20.05a	40.97 ± 24.68b
Plástico verde	9.22 ± 7.81a	54.17 ± 17.53a	36.61 ± 22.59b

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En primavera-verano, la mayor incidencia solar, aunado a las condiciones óptimas de temperaturas, humedad relativa y DPV, influyó en el tamaño de los chiles cultivados en esa temporada, ya que como mencionan Castilla (1996) y Ayala-Tafoya (2011), una mayor radiación solar mejora la calidad de los frutos al aumentar su tamaño y peso (Salas y Urrestarazu, 2004).

Autores como Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2017), señalan que, en el chile, la baja producción de frutos de buena calidad se debe a condiciones extremas de alta temperatura diurna y humedad relativa que se pueden presentar en invernaderos poco tecnificados. Y que al igual que la calidad y rendimiento de otras especies del género *Capsicum* (i. e. *Capsicum chinense*) son afectadas negativamente por un gran número de factores ambientales (Lugo-Jiménez *et al.*, 2010).

Por otro lado, existen trabajos que señalan que las plantas de chile cultivadas a temperaturas nocturnas entre 8 a 10°C, tienen un mayor número de frutos cuajados, en comparación a las plantas cultivadas a temperaturas nocturnas entre 18 y 20°C, pero ese mayor número de frutos cuajados son de mala calidad, como al parecer fue el caso de los frutos cultivados en otoño-invierno.

Asimismo, la heterogeneidad de los frutos, producto de la cruce de diferentes tipos entre los diferentes sitios y localidades y la falta de mejoramiento genético en el chile de agua, tienen como consecuencia que dentro de la misma parcela se encuentren poblaciones de plantas con frutos que varían ampliamente en su forma, color y tamaño, características que se usan para clasificar a los frutos en calidades.

7.5. Calidad nutrimental del fruto

7.5.1. Humedad y cenizas

En el porcentaje de humedad y contenido de cenizas del fruto, ambos genotipos no mostraron diferencias significativas entre cubiertas ni entre temporadas.

El promedio de humedad en el fruto fue 91.6% para el genotipo Ejutla y de 90.9% en el genotipo Abasolo.

El promedio de contenido de cenizas en el fruto fue de 0.64 y 0.65 gramos, para Ejutla y Abasolo, respectivamente (Cuadro 13).

Cuadro 13. Valores promedio de porcentaje de humedad y contenido de cenizas de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)				
	Humedad (%)		Cenizas (g.100g ⁻¹)		
	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo	
Campo abierto	90.99 ± 1.22ab A	90.35 ± 1.24a A	0.70 ± 0.08a A	0.67 ± 0.05a A	
Malla	92.72 ± 0.83ab A	90.06 ± 0.67a B	0.58 ± 0.09a A	0.67 ± 0.02a A	
Plástico transparente	90.06 ± 1.93b A	91.59 ± 0.62a A	0.61 ± 0.04a A	0.66 ± 0.06a A	
Plástico verde	91.49 ± 0.34ab A	91.05 ± 0.41a A	0.69 ± 0.10a A	0.66 ± 0.02a A	
Cubierta	Segundo experimento (otoño-invierno)				
	Campo abierto	91.70 ± 0.06ab A	91.16 ± 0.23a B	0.65 ± 0.03a A	0.63 ± 0.03a A
	Malla	92.82 ± 1.03a A	91.11 ± 0.20a B	0.61 ± 0.04a A	0.66 ± 0.03a A
	Plástico transparente	91.71 ± 0.38ab A	91.48 ± 0.84a A	0.62 ± 0.04a A	0.65 ± 0.02a A
	Plástico verde	91.38 ± 0.31ab A	90.96 ± 0.13a A	0.68 ± 0.02a A	0.65 ± 0.01a A

Valores en la misma columna y con la misma literal en minúsculas, no son estadísticamente diferentes. Valores en la misma fila y con la misma literal mayúscula, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Al efectuar el análisis de regresión múltiple, los valores de P en la tabla muestran que la RFAI tiene relación significativa con contenido de humedad de los frutos en ambos genotipos. La RFAI tiene relación significativa con el contenido de cenizas de los frutos del genotipo Ejutla, mientras que para Abasolo ninguna de las variables microclimáticas muestra relación significativa con el contenido de cenizas de los frutos.

El coeficiente R² indica que el modelo ajustado explica el 99.85% de la variabilidad en el porcentaje de humedad de los frutos del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explica solo 99.91% de la variabilidad.

El coeficiente de determinación indica que el modelo ajustado explica únicamente el 99.13% de la variabilidad en el porcentaje de cenizas de los frutos del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explica solo 99.81% de la variabilidad.

El análisis conjunto confirma que no existieron diferencias ni para humedad ni para cenizas entre los distintos ambientes (cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis combinado del porcentaje de humedad y contenido de cenizas.

Cubierta	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño-invierno)	
	Humedad (%)	Cenizas (g·100g ⁻¹)
	Ejutla + Abasolo	Ejutla + Abasolo
Campo abierto	91.05 ± 0.90a	0.66 ± 0.04a
Malla	91.68 ± 1.36a	0.63 ± 0.06a
Plástico transparente	91.21 ± 1.18a	0.64 ± 0.03a
Plástico verde	91.22 ± 0.35a	0.67 ± 0.04a

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Vázquez (2005), determinó una humedad de 85% del chile de agua, en su madurez hortícola. En este trabajo obtuvimos valores de humedad de entre el 91.05 y el 91.68% (Cuadro 14), valores que se encuentran dentro del rango de contenido de agua normal de la mayoría de las hortalizas: 81 a 93% (Guil *et al.*, 1997; Escudero *et al.*, 2003).

El contenido de ceniza fue de 0.65 g por cada 100 gramos de materia seca, valor similar al encontrado por Vázquez (2005), quien reportó 0.60 g en base seca.

7.5.2. Acidez titulable, pH y sólidos solubles totales

Ninguno de los dos genotipos presentó diferencias entre ambientes, ni entre temporadas, en acidez titulable, pH y sólidos solubles totales.

El contenido promedio de ácido cítrico fue de 0.021 y 0.016 gramos por cada 100 gramos de materia seca, para Ejutla y Abasolo, respectivamente.

El valor promedio de pH para el genotipo Ejutla y el genotipo Abasolo fue de 5.91 y 5.96, respectivamente.

El promedio del contenido de sólidos solubles totales de 5.2 y 4.95°Brix para el genotipo Ejutla y el genotipo Abasolo, en ese orden (Cuadro 15).

Cuadro 15. Valores promedio de acidez titulable, pH y sólidos solubles totales de cada genotipo, en cada uno de los experimentos.

Primer experimento (primavera-verano)						
Cubierta	Acidez titulable (g Ac. cítrico·100 g ⁻¹ MS)		pH (-log ₁₀ [H ⁺])		Sólidos solubles totales (°Brix)	
	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo	Ejutla	Abasolo
Campo abierto	0.02 ± 0.003a A	0.01 ± 0.003a A	5.85 ± 0.43a A	6.07 ± 0.01a A	4.56 ± 0.30b A	4.93 ± 0.32a A
Malla	0.02 ± 0.003a A	0.01 ± 0.003a A	5.59 ± 0.25a A	5.76 ± 0.19ab A	5.43 ± 0.90ab A	5.30 ± 0.70a A
Plástico transparente	0.03 ± 0.011a A	0.02 ± 0.010a A	5.86 ± 0.09a B	6.09 ± 0.05a A	5.63 ± 0.30ab A	4.80 ± 0.26ab B
Plástico verde	0.01 ± 0.003a A	0.02 ± 0.006a A	6.10 ± 0.01a A	5.88 ± 0.06ab B	4.86 ± 0.55ab A	3.90 ± 0.20b B
Segundo experimento (otoño-invierno)						
Campo abierto	0.02 ± 0.003a A	0.01 ± 0.003a B	6.08 ± 0.01a A	6.06 ± 0.01a A	4.73 ± 0.11ab B	5.20 ± 0.10a A
Malla	0.02 ± 0.003a A	0.02 ± 0.003a A	5.73 ± 0.06a B	5.89 ± 0.02ab A	5.83 ± 0.11a A	5.66 ± 0.51a A
Plástico transparente	0.03 ± 0.005a A	0.02 ± 0.005a A	5.98 ± 0.02a B	6.05 ± 0.02a A	5.50 ± 0.30ab A	5.06 ± 0.15a A
Plástico verde	0.02 ± 0.003a A	0.02 ± 0.003a A	6.10 ± 0.01a A	5.90 ± 0.01ab B	5.06 ± 0.25ab A	4.80 ± 0.10ab A

Valores en la misma columna y con la misma literal en minúsculas, no son estadísticamente diferentes. Valores en la misma fila y con la misma literal mayúscula, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que ninguna de las variables microclimáticas tiene relación significativa con el contenido de ácido cítrico de los frutos de ambos genotipos. Pero la temperatura diurna y la RFAI tiene relación significativa con el pH de los frutos del genotipo Ejutla, en tanto que para Abasolo son la temperatura nocturna, DPV y RFAI las que muestran relación significativa con el pH de los frutos. Con los valores P en la tabla, se puede observar que la temperatura nocturna tiene relación significativa con el contenido de SST de los frutos del genotipo Ejutla, mientras que para Abasolo únicamente DPV muestra relación significativa con el pH de los frutos.

El coeficiente de determinación muestra que el modelo ajustado explica el 95.63% de la variabilidad en contenido de ácido cítrico de los frutos del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explica el 95.65% de la variabilidad.

El coeficiente R² indica que el modelo ajustado explica el 99.91% de la variabilidad en el pH de los frutos del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explica el 99.94% de la variación.

El coeficiente de determinación indica que el modelo ajustado explica el 99.12% de la variabilidad en el contenido de SST de los frutos del genotipo Ejutla, mientras que para el genotipo Abasolo explica el 98.85% de la variabilidad.

En el análisis conjunto no se observan diferencias entre los distintos ambientes en los valores de acidez titulable y pH. En cambio, el contenido de sólidos solubles totales en M y PT es un 13% mayor que en CA y PV (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis combinado de acidez titulable, pH y sólidos solubles totales.

Cubierta	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño-invierno)		
	Acidez titulable (g Ac. cítrico · 100 g ⁻¹ MS)	pH (-log ₁₀ [H ⁺])	Sólidos solubles totales (°Brix)
	Ejutla + Abasolo	Ejutla + Abasolo	Ejutla + Abasolo
Campo abierto	0.02 ± 0.006a	6.02 ± 0.21a	4.86 ± 0.32bc
Malla	0.02 ± 0.002a	5.74 ± 0.18a	5.56 ± 0.58a
Plástico transparente	0.02 ± 0.008a	5.99 ± 0.10a	5.25 ± 0.41ab
Plástico verde	0.02 ± 0.004a	5.99 ± 0.11a	4.66 ± 0.54c

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El contenido de ácido cítrico en los frutos de chile de agua, en base seca, fue de 0.02%, contenido inferior al encontrado por Vázquez (2005) y Zúñiga (2012): 0.33 y 17.70%; e igualmente fue inferior al encontrado en pimentón (0.32%) por Viloría (1997).

El pH promedio de los frutos obtenidos en los cuatro ambientes, 5.93, es moderadamente ácido en comparación al determinado por Vázquez (2005) de 8.37.

Los sólidos solubles totales presentaron valores promedio de 5.15 °Brix, bajo las cubiertas plásticas, valor superior al encontrado por Zúñiga (2012): 2.23 °Brix, al ser cultivado en invernadero e hidroponía.

Cuadro 17. Matriz de valores P del análisis de regresión múltiple y coeficientes de determinación (R²) para la relación de las variables de crecimiento de la planta, de rendimiento, de calidad y fisicoquímicas, con las variables microclimáticas.

Parámetro microclimático	Ejutla													
	DT	AP	PF	REN	DF	LF	PFPC	PFSC	PFTC	HUM	CEN	ACID	pH	SST
Temperatura diurna	0.0015*	0.2508 ^{ns}	0.0087*	0.1284 ^{ns}	0.0029*	0.7850 ^{ns}	0.2741 ^{ns}	0.7343 ^{ns}	0.2159 ^{ns}	0.6462 ^{ns}	0.3487 ^{ns}	0.3031 ^{ns}	0.0109	0.1979 ^{ns}
Temperatura nocturna	0.0313*	0.0001*	0.0020*	0.0550 ^{ns}	0.0041*	0.0273*	0.2116 ^{ns}	0.0425	0.0192*	0.4867 ^{ns}	0.2252 ^{ns}	0.0622 ^{ns}	0.3768 ^{ns}	0.0187*
Humedad relativa	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0021*	0.0001*	0.0430*	0.1041 ^{ns}	0.2421 ^{ns}	0.0631 ^{ns}	0.4312 ^{ns}	0.5691 ^{ns}	0.9659 ^{ns}	0.5655 ^{ns}	0.4235 ^{ns}
Déficit de presión de vapor	0.0001*	0.1067 ^{ns}	0.0079*	0.1260 ^{ns}	0.0001*	0.3096 ^{ns}	0.3127 ^{ns}	0.7661 ^{ns}	0.7936 ^{ns}	0.2353 ^{ns}	0.9856 ^{ns}	0.3408 ^{ns}	0.6448 ^{ns}	0.0922 ^{ns}
RFAI	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0007*	0.0025*	0.0059*	0.0001*	0.0001*	0.0035*	0.0345*	0.8429 ^{ns}	0.0001*	0.3066 ^{ns}
R ²	99.18	98.83	98.75	94.52	99.65	99.39	75.30	96.26	93.60	99.85	99.13	95.63	99.91	99.12
Parámetro microclimático	Abasolo													
	DT	AP	PF	REN	DF	LF	PFPC	PFSC	PFTC	HUM	CEN	ACID	pH	SST
Temperatura diurna	0.0003*	0.0001*	0.0761 ^{ns}	0.1762 ^{ns}	0.2496 ^{ns}	0.0249*	0.4238 ^{ns}	0.0095*	0.0081*	0.6267 ^{ns}	0.6040 ^{ns}	0.8698 ^{ns}	0.9843 ^{ns}	0.1079 ^{ns}
Temperatura nocturna	0.0008*	0.0185*	0.1563 ^{ns}	0.0500*	0.5132 ^{ns}	0.0055*	0.6862 ^{ns}	0.0009*	0.0080*	0.1522 ^{ns}	0.2376 ^{ns}	0.2534 ^{ns}	0.0382*	0.0517 ^{ns}
Humedad relativa	0.0001*	0.0001*	0.0008*	0.0787 ^{ns}	0.0010*	0.0019*	0.3065 ^{ns}	0.0085*	0.0171*	0.4428 ^{ns}	0.0861 ^{ns}	0.9587 ^{ns}	0.3832 ^{ns}	0.4442 ^{ns}
Déficit de presión de vapor	0.0001*	0.0001*	0.0374*	0.2344 ^{ns}	0.0146*	0.0048*	0.2782 ^{ns}	0.0255*	0.0622 ^{ns}	0.1220 ^{ns}	0.0585 ^{ns}	0.9716 ^{ns}	0.0301*	0.0462*
RFAI	0.0001*	0.0001*	0.0008*	0.0004*	0.3854 ^{ns}	0.0021*	0.1688 ^{ns}	0.0001*	0.0001*	0.0003*	0.0970 ^{ns}	0.0628 ^{ns}	0.0001*	0.3199 ^{ns}
R ²	98.58	98.29	97.35	86.00	99.33	99.02	34.39	94.34	93.00	99.91	99.81	95.65	99.94	98.85

*Variables con relación estadísticamente significativa (P≤0.05) con la variable microclimática, ns: variables sin relación significativa (P>0.05) con la variable microclimática, TD: temperatura diurna, TN: temperatura nocturna, HR: humedad relativa, DPV: déficit de presión de vapor, RFAI: radiación fotosintéticamente activa integrada, R²: Coeficiente de determinación, DT: diámetro del tallo, AP: altura de la planta, PF: peso del fruto, REN: rendimiento, DF: diámetro del fruto, LF: longitud del fruto, PFPC: porcentaje de frutos de primera calidad, PFSC: porcentaje de frutos de segunda calidad, PFTC: porcentaje de frutos de tercera calidad, H: porcentaje de humedad, C: contenido de cenizas, AT: acidez titulable, pH: pH del fruto, SST: sólidos solubles totales.

7.5.3. Proteína, fibra, grasas, carbohidratos y contenido calórico

En contenido de proteína, el genotipo Ejutla no presentó diferencias entre temporadas en los ambientes de M y PV. Los ambientes CA y PT fueron mayores en 23 y 51%, durante primavera-verano.

La fibra dietética no presento diferencia entre temporadas en CA; en los macrotúneles fue mayor en 13, 43 y 18%, en M, PT y PV, respectivamente.

En grasas, no hubo diferencia estadística entre temporadas en PV; CA fue mayor en 21% en otoño-invierno, pero M y PT fue 51 y 58% en primavera-verano.

En contenido de carbohidratos no hubo diferencias entre temporadas en CA; en otoño-invierno fue 48, 60 y 18% mayor en M, PT y PV, respectivamente.

Los ambientes no mostraron diferencias en el contenido calórico entre temporadas (Cuadro 18).

Cuadro 18. Valores promedio de proteína, fibra, grasas, carbohidratos y contenido calórico del genotipo Ejutla, en cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)				
	Ejutla				
	Proteína (g · 100 g ⁻¹)	Fibra (g · 100 g ⁻¹)	Grasas (g · 100 g ⁻¹)	Carbohidratos (g · 100 g ⁻¹)	Contenido calórico (g · 100 g ⁻¹)
Campo abierto	15.29 ± 0.21a	30.65 ± 0.10c	23.71 ± 0.65b	29.63 ± 0.33cd	35.37 ± 4.58ab
Malla	2.33 ± 0.05c	38.94 ± 0.10a	28.85 ± 0.04a	29.28 ± 0.16cd	28.11 ± 3.27b
Plástico transparente	11.44 ± 0.26b	34.92 ± 2.18b	27.58 ± 0.85a	25.21 ± 3.08d	39.19 ± 7.15a
Plástico verde	16.15 ± 2.61a	32.26 ± 0.67bc	19.57 ± 1.19c	31.32 ± 3.18c	31.13 ± 1.85ab
	Segundo experimento (otoño-invierno)				
	Ejutla				
Campo abierto	12.39 ± 0.01b	29.45 ± 0.24cd	28.81 ± 1.14a	28.64 ± 1.31cd	35.12 ± 0.69ab
Malla	2.39 ± 0.11c	34.47 ± 0.35b	19.13 ± 0.25c	43.36 ± 0.41a	25.48 ± 3.71b
Plástico transparente	17.33 ± 0.11a	24.31 ± 2.10e	17.39 ± 0.55c	40.27 ± 2.77ab	32.07 ± 1.55ab
Plástico verde	15.29 ± 0.40a	27.34 ± 0.10de	19.65 ± 0.91c	37.00 ± 1.24b	33.26 ± 1.43ab

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que solo la temperatura nocturna tiene relación significativa con el contenido de proteína de los frutos del genotipo Ejutla. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 86.50% de la variabilidad en contenido proteína de los frutos del genotipo Ejutla.

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que solo la temperatura nocturna tiene relación significativa con el contenido de fibra de los frutos del genotipo Ejutla. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 98.60% de la variabilidad en contenido de fibra de los frutos del genotipo Ejutla.

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que la temperatura nocturna, HR y RFAI tienen relación significativa con el contenido de grasa de los frutos del genotipo Ejutla. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 98.93% de la variabilidad en contenido de grasa en los frutos del genotipo Ejutla.

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que solo la humedad relativa tiene relación significativa con el contenido de carbohidratos de los frutos del genotipo Ejutla. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 98.63% de la variabilidad en contenido de carbohidratos en los frutos del genotipo Ejutla.

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que ninguna de las variables microclimáticas tiene relación significativa con el contenido calórico de los frutos del genotipo Ejutla. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 98.62% de la variabilidad en contenido calórico de los frutos del genotipo Ejutla.

Cuadro 19. Análisis combinado de proteína, fibra, grasas, carbohidratos y contenido calórico.

Cubierta	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño-invierno) Ejutla				
	Proteína (g · 100 g ⁻¹)	Fibra (g · 100 g ⁻¹)	Grasas (g · 100 g ⁻¹)	Carbohidratos (g · 100 g ⁻¹)	Contenido calórico (cal · 100 g ⁻¹)
Campo abierto	13.84 ± 1.59a	30.05 ± 0.67b	26.26 ± 2.91a	29.13 ± 1.02a	35.25 ± 2.93a
Malla	2.36 ± 0.08b	36.71 ± 2.46a	23.99 ± 5.33a	36.32 ± 7.72a	26.79 ± 3.44b
Plástico transparente	14.39 ± 3.24a	29.62 ± 6.12b	22.49 ± 5.62a	32.74 ± 8.65a	35.63 ± 6.05a
Plástico verde	15.72 ± 1.73a	29.81 ± 2.73b	19.61 ± 0.95a	34.16 ± 3.79a	32.19 ± 1.88ab

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Al analizar en conjunto ambos ciclos el contenido de proteína fue mayor en los frutos producidos en campo abierto y bajo las cubiertas de plástico transparente y plástico verde, en comparación a los producidos bajo la malla antiáfidos.

Los contenidos de proteína de los frutos cultivados en campo abierto, 13.84 g; plástico transparente, 14.39 g y, plástico verde, 15.72 g., son menores al contenido determinado por Vázquez (2005) para chile de agua en base seca: 24.2 g.

El contenido de proteína de los frutos cultivados en el macrotúnel de malla antiáfidos, 2.36 g, fue muy bajo, en comparación a lo reportado por Vázquez (2005), pero fue mayor en comparación al contenido de otros chiles, en específico, chile manzano con 1.9 g, jalapeño con 1.20 g y pimiento con 1.20 g (Islas, 1993; INIFAP, 1998; Cuevas, 1999)

El contenido de fibra en los frutos producidos bajo la malla antiáfidos fue mayor en un 22, 24 y 22% con respecto a los frutos producidos en campo abierto, bajo plástico transparente y plástico verde, respectivamente.

Los valores de fibra encontrados en este trabajo, entre 29.62 y 36.71 g, es similar al determinado por Vázquez (2005) y mayor a los encontrados en pimiento y jalapeño, 1.4 y 1.8 g, respectivamente (Islas, 1993; Cuevas, 1999).

Tanto en el contenido de grasa, como en el de carbohidratos no hubo diferencias entre los chiles cultivados bajo las tres cubiertas y a campo abierto.

El chile de agua, en todos los ambientes, presentó contenido de 19.61 a 26.26 g por cada 100 g de muestra seca. Es un valor muy superior a los 7.4 g, determinado por Vázquez (2005), 0.2 g para pimiento, 0.10 g para jalapeño, 0.4 g del serrano y 0.8 g para habanero (Islas, 1993; INIFAP, 1998).

El contenido de carbohidratos, de entre 29.13 a 36.32 g en base seca, es similar al encontrado por Vázquez (2005), 31.5 g.

Se determinó una diferencia significativa del contenido calórico de los frutos cultivados bajo la malla antiáfidos, teniendo estos 31, 33 y 20% menos calorías que los cultivados en campo abierto, plástico transparente y plástico verde (Cuadro 19).

Analizando la relación entre las variables microclimáticas y los valores obtenidos para proteína, fibra, grasas, carbohidratos, contenido calórico, fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante, se obtuvo el siguiente cuadro.

Cuadro 20. Matriz de valores P del análisis de regresión múltiple y coeficientes de determinación (R²) para la relación de las variables bromatológicas y de compuestos bioactivos, con las variables microclimáticas.

Parámetro microclimático	Ejutla							
	PRO	FIB	GRA	CAR	CC	FEN	FLA	CA
Temperatura diurna	0.2444 ^{ns}	0.4866 ^{ns}	0.4012 ^{ns}	0.9830 ^{ns}	0.5026 ^{ns}	0.0001*	0.0001*	0.0036*
Temperatura nocturna	0.0499*	0.0211*	0.0001*	0.1231 ^{ns}	0.0763 ^{ns}	0.0001*	0.0001*	0.2747 ^{ns}
Humedad relativa	0.7473 ^{ns}	0.8518 ^{ns}	0.0057*	0.0299*	0.7348 ^{ns}	0.0001*	0.0001*	0.0045*
Déficit de presión de vapor	0.5747 ^{ns}	0.6035 ^{ns}	0.8530 ^{ns}	0.1228 ^{ns}	0.4735 ^{ns}	0.0001*	0.0001*	0.0033*
RFAI	0.2103 ^{ns}	0.9453 ^{ns}	0.0009*	0.6283 ^{ns}	0.1084 ^{ns}	0.0001*	0.0001*	0.0015*
R ²	86.50	98.60	98.93	98.63	98.62	97.12	97.12	97.48

*Variables con relación estadísticamente significativa (P≤0.05) con la variable microclimática, ns: variables sin relación significativa (P>0.05) con la variable microclimática, R²: Coeficiente de determinación, RFAI: radiación fotosintéticamente activa integrada, PRO: proteína, FIB: fibra, GRA: grasas, CAR: carbohidratos, CC: contenido calórico, FEN: fenoles totales, FLA: flavonoides totales, CA: capacidad antioxidante.

7.5.4. Fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante

El contenido de fenoles totales fue mayor 135% en CA y 190% en PT durante otoño-invierno; en PV fue mayor en primavera-verano en 146% y no hubo diferencia entre temporadas en M.

El contenido de flavonoides no mostró diferencia entre temporadas en M; en primavera-verano fue 146 y 85% mayor en CA y PT, pero en PV fue 93% mayor en otoño-invierno.

La capacidad antioxidante no registró diferencia entre temporadas en PV, fue mayor en 100 y 32% en M y PT durante primavera-verano, y en CA fue mayor durante otoño-invierno en un 42% (Cuadro 20).

Cuadro 21. Valores promedio de contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante del genotipo Ejutla, en cada uno de los experimentos.

Cubierta	Primer experimento (primavera-verano)		
	Ejutla		
	Fenoles totales (mg EAG · g ⁻¹)	Flavonoides totales (mg EQ · g ⁻¹)	Capacidad antioxidante (% de inhibición)
Campo abierto	2.96 ± 0.16cd	14.63 ± 0.06a	0.67 ± 0.02bc
Malla	4.31 ± 0.96bc	9.95 ± 1.08b	0.80 ± 0.05ab
Plástico transparente	1.65 ± 0.67d	6.31 ± 1.40c	0.78 ± 0.06b
Plástico verde	14.47 ± 0.39a	8.63 ± 1.23bc	0.94 ± 0.01a
	Segundo experimento (otoño-invierno)		
	Ejutla		
Campo abierto	6.97 ± 1.58b	5.95 ± 2.13cd	0.95 ± 0.07a
Malla	5.63 ± 1.55bc	7.86 ± 0.04bc	0.40 ± 0.12d
Plástico transparente	4.79 ± 0.54bc	3.40 ± 1.13d	0.59 ± 0.02c
Plástico verde	5.88 ± 2.06bc	16.65 ± 1.34a	0.81 ± 0.02ab

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que todas las variables microclimáticas tiene relación significativa con el contenido calórico de los frutos del genotipo Ejutla (Cuadro 22). El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 97.12% de la variabilidad en contenido de fenoles totales de los frutos del genotipo Ejutla.

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que todas las variables microclimáticas tiene relación significativa con el contenido de flavonoides totales de los frutos del genotipo Ejutla. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 97.12% de la variabilidad en contenido de flavonoides totales de los frutos del genotipo Ejutla.

Los valores de P en la tabla de ANOVA se puede observar que todas las variables microclimáticas, excepto temperatura nocturna, tienen relación significativa con la capacidad antioxidante de los frutos del genotipo Ejutla. El coeficiente de determinación (R²) indica que el modelo ajustado explica el 97.48% de la variabilidad de la capacidad antioxidante de los frutos del genotipo Ejutla.

En el análisis conjunto de ambas temporadas, el contenido de fenoles fue, en promedio, 132% mayor en la cubierta de PV que en los otros ambientes; no hubo diferencias estadísticamente significativas entre CA, M y PT.

El contenido de flavonoides fue significativamente mayor en CA, M y PV (118% en promedio) que en PT.

La capacidad antioxidante fue mayor en los frutos cultivados en PV y menor en los cultivados en M; CA y PT tuvieron valores de porcentaje de inhibición intermedios (Cuadro 21).

Cuadro 22. Análisis combinado del contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante.

Cubierta	Ambos experimentos (primavera-verano + otoño invierno)		
	Ejutla		
	Fenoles totales (mg EAG · g ⁻¹)	Flavonoides totales (mg EQ · g ⁻¹)	Capacidad antioxidante (% de inhibición)
Campo abierto	4.96 ± 2.41b	10.29 ± 4.94ab	0.81 ± 0.16ab
Malla	4.97 ± 1.36b	8.90 ± 1.33ab	0.60 ± 0.24b
Plástico transparente	3.22 ± 1.80b	4.85 ± 1.95b	0.69 ± 0.10ab
Plástico verde	10.18 ± 4.89a	12.64 ± 4.54a	0.88 ± 0.07a

Valores en la misma columna y con la misma literal, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Para ver de una manera más clara si existe una relación entre las concentraciones de fenoles y flavonoides, con la capacidad antioxidante de los frutos de chile de agua, se puede ajustar un modelo que incluya ambas variables:

$$\text{Capacidad antioxidante} = 0.0518941 * \text{fenoles} + 0.04097 * \text{flavonoides}$$

Con un valor de R^2 de 88.92%, es decir, que las concentraciones de fenoles y flavonoides encontradas en los frutos de los distintos tratamientos se correlacionan muy bien con su capacidad antioxidante. Esto coincide con lo descrito por Mendonça y colaboradores (2010), que señalan que existe una correlación positiva entre el aumento en la concentración de compuestos polifenólicos con la actividad antioxidante de distintas especies y variedades de chiles: *C. frutescens*, *C. annuum* var. *annuum*, *C. baccatun* var. *pendulo* y *C. baccatun* var. *praetermissum*.

La concentración promedio de fenoles totales, 5.8 mg EAG·g⁻¹ en base seca, es mayor al que presenta el chile jalapeño: 3.08 mg EAG g⁻¹ (Mendoza, 2013).

La concentración promedio de flavonoides encontrada fue de 9.17 mg EQ·g⁻¹ en base seca

La capacidad antioxidante del chile de agua, encontrada en este trabajo (entre 0.60 y 0.88%), está muy por debajo del jalapeño, que registra un 17.8% de capacidad antioxidante en su estado verde de madurez.

8. CONCLUSIONES

Las películas de polietileno y la malla antiáfidos aumentaron la temperatura diurna en los macrotúneles, pero no le otorgaron inercia térmica durante la noche, debido a la baja relación de volumen de aire encerrado por unidad de superficie cubierta de este tipo de estructuras.

Las tres cubiertas plásticas, no modificaron sustancialmente la humedad relativa ambiental, pero si disminuyen la radiación solar que incide sobre el cultivo.

Al elevar la temperatura diurna y no aumentar la humedad relativa, las cubiertas provocaron un aumento significativo del DPV, sobre todo en el ciclo otoño-invierno.

El crecimiento de las plantas de chile de agua fue mayor al ser cultivadas dentro de los macrotúneles con cubierta de polietileno transparente y polietileno verde.

El peso promedio de los frutos fue mayor en aquellos cultivados dentro de la cubierta de malla antiáfidos.

El rendimiento fue mayor dentro de la malla antiáfidos y las películas de polietileno transparente y verde.

El diámetro y longitud de los frutos fue mejor dentro de las cubiertas de malla antiáfidos y las películas de polietileno transparente y verde.

El porcentaje de frutos de primera y de segunda calidad fue mayor bajo las tres cubiertas.

El contenido de sólidos solubles totales fue mayor en los frutos cultivados dentro de las cubiertas de malla antiáfidos y la película de polietileno transparente.

El contenido de fibra dietética fue mayor debajo de la malla antiáfidos.

El contenido de compuestos bioactivos: fenoles totales y flavonoides, así como la capacidad antioxidante fue mayor en los frutos cultivados dentro del macrotúnel con la cubierta de polietileno verde

El contenido de proteína y el contenido calórico fueron mayores en los frutos cultivados a campo abierto y dentro de las cubiertas de polietileno transparente y verde.

No se encontraron diferencias en el contenido de humedad, de cenizas, de ácido cítrico, pH, grasas y carbohidratos, entre los frutos cultivados bajo las cubiertas y campo abierto.

Por todo lo anterior, podemos decir que no se encontraron evidencias para rechazar la hipótesis general de trabajo, y señalar que el rendimiento y la calidad de los frutos de chile de agua aumentan cuando son cultivados en macrotúneles cubiertos con distintos materiales plásticos.

9. LITERATURA CITADA

Abd-El-Baky, H. M., S. Ali, Z. A. El Haddad and M. El Ansary. 2010. Some environmental parameters affecting sweet pepper growth and productivity under different greenhouse forms in hot and humid climatic conditions. *Journal of Soil Science and Agricultural Engineering*, 1: 225-247.

Aguirre H., E. y V. Muñoz O. 2015. El chile como alimento. *Ciencia*, 3: 16-23

Ambrosio S., F. 2007. Análisis de los aspectos socio-culturales y económicos del agroecosistema chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en Cuilapam de Guerrero, Oaxaca. Tesis Maestría. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, 103 pp.

A.O.A.C. 1995. Oficial Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Fruits and fruits products. USA, 684 pp.

Aparicio-del Moral, J. O., M. A. Tornero-Campante, E. Sandoval-Castro, L. A. Villareal-Manzano y M. Rodríguez-Mendoza. 2013. Factores sociales y económicos del cultivo de chile de agua (*Capsicum annum* L.) en tres municipios de los Valles Centrales de Oaxaca. *Ra Ximhai*, 9(1): 17-25.

Aparicio del M., J. O. 2013. Producción del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en hidroponía bajo invernadero: Una opción productiva para los espacios periurbanos. Tesis Maestro en Ciencias, Colegio de Posgraduados, Campus Puebla, Puebla, 116 pp.

Aragón R., E. 2002. Determinación del nivel de daño económico y zonas de decisión para picudo del chile de agua *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae). Tesis Maestro en Ciencias en Productividad Agrícola. ITAO No. 23, Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlan, Oaxaca, 105 pp.

Assmann, S. and D. Grantz. 1990. The magnitude of the stomatal response to blue light. *Plant Physiology*, 93: 701-709.

Ayala-Tafoya, F., D. M. Zatarain-López, M. Valenzuela-López, L. Partida-Ruvalcaba, T. de J. Velázquez-Alcaraz, T. Díaz-Valdés y J. A. Osuna-Sánchez. 2011. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*, 29(4):403-410.

- Bae, H., G. K. Jayaprakasha, J. Jifon and B. S. Patil. 2012. Extraction efficiency and validation of an HPLC method for flavonoid analysis in peppers. *Food Chemistry*, 130(3): 751-758.
- Bae, H., G.K. Jayaprakasha, K. Crosby, K. S. Yoo, D. I. Leskovar, J. Jifon and B. S. Patil. 2014. Ascorbic acid, capsaicinoid, and flavonoid aglycone concentrations as a function of fruit maturity stage in greenhouse-grown peppers. *Journal of Food Composition and Analysis* 33:192-202.
- Baltes, W. 2007. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia, España, 492 pp.
- Barquero V. G. 2010. Materiales de cerramiento para invernaderos. *Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos*. 4(23): 2-7.
- Belitz, H. D. 2012. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia España, 938 pp.
- Beluzán F., F. J. 2013. Déficit de presión de vapor (DPV) y factores microclimáticos como herramientas de pronósticos de *Botrytis cinerea* Pers. ex. Fr., en *Lactuca sativa* L. bajo invernadero. Tesis Magister, Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile, 101 pp.
- Bielinski, M. S., H. A. Obregón-Olivas y T. P. Salamé-Donoso. 2013. Producción de hortalizas en ambientes protegidos: Estructuras para la agricultura protegida. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Document HS1182, <<http://edis.ifas.ufl.edu>>.
- Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science Technology*, 28(1): 25-30.
- Bravo M., E. y P. López L. 2007. Principales plagas del Chile de Agua en los Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Agroproduce* 16: 12-15.
- Carbajal A., A. 2013. *Manual de Nutrición y Dietética*. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid, España, 677 pp.
- Carrillo, E. 2007. Caracterización, evaluación y selección de colectas en base a producción, calidad de fruto y semilla en chile de agua (*Capsicum annum* L.). Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, 90 pp.
- Cartaya, O. y E. Reynaldo I. 2001. Flavonoides: Características químicas y aplicaciones. *Cultivos Tropicales*, 22(2): 5-14.

Casilimas, H., O. Monsalve, C. R. Bijaca, R. Gil, E. Villagrán, L. A. Arias y L. S. Fuentes. 2012. Manual de producción de pimentón bajo invernadero. Universidad de Bogotá, Colombia, 200 pp.

Castañeda A., H. M. 2013. Evaluación de híbridos de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en invernadero. Tesis Ingeniera Agrónoma, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, 33 pp.

Castañeda H., E. 2005. Aspectos socioeconómicos y estructurales de las unidades de producción en Cuilapam de Guerrero, Oaxaca. En: Agricultura, Ganadería, Ambiente y Desarrollo Sustentable. Editores: M. A. Tornero C., S. E. Silva, R. Pérez A. y N. Bonilla F. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. pp. 137-148.

Castellón-Martínez, E., J. I. Chávez-Servia, J. C. Carrillo-Rodríguez y A. M. Vera-Guzmán. 2012. Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annum* L.) nativos en los Valles Centrales de Oaxaca, México. Revista Fitotecnia Mexicana, 35(5): 27-35.

Castilla, N. 1996. Greenhouses in the Mediterranean area: Technological level and strategic management. Acta Horticulturae, 361: 44-56.

Castilla P., N. 2004. Invernaderos de plástico: tecnología y manejo. Ediciones Mundi-Prensa, España, 462 pp.

Castro G. F. H., P. López L., S. Montes H. y F. Andrés J. 2007. Caracterización morfológica de la diversidad de los chiles nativos (*Capsicum* spp.) en el Estado de Oaxaca. Memorias Cuarta Convención Mundial del Chile.

Chang, X., P. G. Alderson and C. J. Wright. 2008. Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. Environmental Experiment Botany 63:216-223.

Cheftel, J. C. 1989. Proteínas alimentarias: Bioquímica, Propiedades funcionales, Valor nutritivo y Modificaciones Químicas. Acribia, España, 364 pp.

Chen, L., X. Xin, Q. Yuan, D. Su and W. Liu. 2014. Phytochemical properties and antioxidant capacities of various colored berries. Journal of the Science of Food and Agriculture 94(2): 180-188.

- Chordi B., S. 2013. Contenido fenólico y capacidad antioxidante de fresa mínimamente procesada sometida a tratamientos de conservación por pulsos de luz de alta intensidad. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina, Tesis Grado en Nutrición Humana y Dietética, 180 pp.
- Colín S., J. A. 2018. Chile Jalapeño: Factores que pueden perjudicar la producción. *De Riego*, 16(98): 116-119.
- Coultate, T. P. 2007. Manual de química y bioquímica de los alimentos. Editorial Acribia, España, 458 pp.
- Cuevas F., L. 1999. Rendimiento, calidad y precocidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en función de la aplicación de B-9 y contenido bromatológico. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 50 pp.
- Curtis P., J. 1988. Estructura de las plantas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 50 pp.
- Del Pino, M. 2018. Guía didáctica: Cultivo y manejo del pimiento (*Capsicum annuum* L.). Curso de Horticultura y Floricultura, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 19 pp.
- Díaz V., S. G. 2012. Efectos de la radiación en el desarrollo fenológico, rendimiento y calidad en policultivo: chile, jitomate, maíz, frijol y amaranto en condiciones de invernadero. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Queretaro, Queretaro, 61 pp.
- Dixon, R. A. and N. L. Paiva. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 7: 1085-1097.
- Deepa, N., C. Kaur, B. George, B. Singh and H. C. Kapoor. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT-Food Science and Technology* 40:121-129.
- Domínguez H., M. 2012. Solución nutritiva y calidad del fruto del chile de agua. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, 95 pp.

- Elizondo-Cabalceta, E. y J. E. Monge-Pérez. 2017. Evaluación de calidad y rendimiento de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 30(2): 36-47.
- Escudero, N.L., M. L. de Arellano, S. Fernández, G. Albarracín and S. Mucciarelli. 2003. *Taraxacum officinale* as a food source. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58: 1–10.
- Espí G., E., T. Díaz S., A. Fontecha, J. C. Jiménez, J. López y A. Salmerón. 2001. Los Filmes Plásticos en la producción Agrícola. Mundi-Prensa, España, 320 pp.
- Espí G., E. 2012. Materiales para cubierta de invernaderos. En: López, J. C. y R. García T. (Coords.). Cuadernos de Estudios Agroalimentarios 03. Fundación Cajamar, España, 226 pp.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2003. Food energy: methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition Paper 77, 87 pp.
- Federer, C.A. and C.B. Tanner. 1966. Sensors for measuring light available for photosynthesis. *Ecology* 47: 654- 657.
- Figuroa C., I. E, M. T. Martínez D., J. E. Rodríguez P., O. Cruz A., M. T. Beryl C. L., S. Valle G. y S. P. Ramírez R. 2015. Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Interciencia*, 40(10):696-703.
- Fundación Española para la Diábetes. 2019. Madrid, España <https://www.fundaciondiabetes.org/infantil/200/grupos-de-alimentos>. Consultado: 20 octubre, 2019.
- Grange, R. and D. Hand. 1987. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *Journal of Horticultural Science*, 62(2): 125-134.
- Guichard V., J. G. 1996. Diagnóstico del agente causal del enchinamiento en el chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Tesis Licenciatura, Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, ITAO No.23 SEP-DGETA, Oaxaca, Oaxaca, 60 pp.
- Guil, J. L., I. Rodríguez and M. E. Torija. 1997. Nutritional and toxic factors in selected wild edible plants. *Foods for Human Nutrition*. 51: 99-107.

Guil-Guerrero, J. L., Martínez-Guirado, C., del Mar Reboloso-Fuentes, M., & Carrique-Pérez, A. 2006. Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annuum*) varieties. *European Food Research Technology*, 224, 1-9.

Hatutale, G. 2013. Production Guideline of Sweet Pepper (*Capsicum annuum*). Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of South Africa, 20 pp.

Hernández, N. 2018. Potencial de mercado del chile de agua. *De Riego*. 4: 48-49.

Hervert-Hernández, D., S. G. Sáyago and I. Goñi. 2010. Bioactive compounds of four hot pepper varieties (*Capsicum annuum* L.), antioxidant capacity, and intestinal bioaccessibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6): 3399-3406.

Howard, L. R., S. T. Talcott, C. H. Brenes and B. Villalon. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and food Chemistry*. 48(5): 1713-1720.

Howell, T. and D. Dusek. 1995. Comparison of vapor pressure deficit calculation methods in southern high plains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 121(2): 191-198.

INIFAP. 1998. Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México, Publicación SAGAR-INIFAP, 45 pp.

Islas A., C. H. 1993. Producción de chile habanero en hidroponía bajo condiciones de invernadero en Tocuila, Texcoco, Estado de México. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, 79 pp.

Hart, F. L. 1991. Análisis moderno de los alimentos. Editorial Acribia, España, 619 pp.

Jiménez J., L. 2010. Acondicionamiento osmótico de semillas de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) para acelerar el proceso de germinación. Tesis Profesional Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, 48 pp.

Juárez L., P., R. Bugarín M., R. Castro B., A. L. Sánchez-Monteón, E. Cruz-Crespo, C. R. Juárez R., G. Alejo S. y R. Balois M. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*, 3(8): 21-27.

Kirk, R. S., R. Sawyer y H. Egan. 1996. Composición y Análisis de Alimentos de Pearson. Editorial CECSA, México, 256 pp.

Kraft, K. H., J. de J. Luna-Ruíz y P. Gepts. 2013. A new collection of wild populations of *Capsicum* in Mexico and the southern United States. Genetic Resource Crop Evolution, 60:225-232.

Lachance, P. A., Z. Nakat and W. S. Jeong. 2001. Antioxidants: an integrative approach. Nutrition, 17: 835-838.

Llencas J., J. A. 2001. Caracterización Fenotípica del chile de agua en los Valles Centrales de Oaxaca. Memoria de Residencia Profesional, Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, 50 pp.

López L., P. S. 1986. El proceso productivo del chile de agua en la comunidad de San Sebastián Abasolo, Tlacolula, Oaxaca, Tesis Profesional, ITAO No.23 SEP-DGETA, Oaxaca, Oaxaca, 80 pp.

López L. P. S. 1999. El chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Publicación Especial No. 2, Oaxaca, México, 22 pp.

López, L. P. 2002. Manual para la identificación de las enfermedades postcosecha de los productos: chile, limón, mango, melón, papaya, sandía y tomate, en los estados de Oaxaca y Guerrero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México, 150 pp.

López C., A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Boletín de Servicios Agrícolas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia, 179 pp.

López L., P. 2007. El Chile de Agua: un chile típico de los Valles Centrales de Oaxaca, México. Revista Agroproduce 16: 8-12.

López U., T. Y. 2013. Producción hidropónica de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) con uso de hongos endomicorízicos. Tesis Maestría en Ciencia en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, 46 pp.

Lorenzo, P. 2012. El cultivo en invernaderos y su relación con el clima. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios., IFAPA, 35: 23-44.

Lu, J., L. V. Papp, J. Fang, N. S. Rodríguez, B. Zhivotovsky and A. Holmgren. 2006. Inhibition of mammalian thioredoxina reductase by some flavonoids: implication for myricetin and quercetin anticancer activity. *Cancer Research*, 66(8): 4410-4418.

Lugo-Jiménez, N., M. Carballo-Bautista, E. Sauri-Duch, A. Centurión-Yah y E. Tamayo-Canul. 2010. Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) después de su cosecha. *Revista Iberoamericana de tecnología Postcosecha*, 11(2):171-179.

Macías D., R., R. L. Grijalva C. y F. Robles C. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biocencia Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 3(14): 32-38.

Martínez-Tomás, S. H., C. Rodríguez-Hernández, G. Ramírez-Valverde, J. Romero-Nápoles, F. de J. Ruíz-Espinoza y R. Pérez-Pacheco. 2015. Aplicación de dinamizados homeopáticos de *Anthonomus eugenii* en plantas de *Capsicum annuum* en un invernadero tipo túnel. *Entomología Mexicana*, 2: 365-370.

Martínez-Sánchez, D., M. Pérez-Grajales, J. E. Rodríguez-Pérez y E. del C. Moreno. 2010. Colecta y caracterización morfológica de "Chile de agua" (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3): 169-176.

Matalla G., A. y J. I. Montero C. 2001. Invernaderos, diseño, construcción y climatización. Mundi-Prensa, España, 209 pp.

Mercado-Mercado, G., L. de la R. Carrillo, A. Wall-Medrano, J. A. López D. y E. Álvarez-Padilla. 2013. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1): 36-46.

Mendonça da Costa, L., N. Fernandes de Moura, C. Marangoni, C. E. Mendes, T. Alexandre de Oliveira. 2010. Antioxidant activities of peppers of the genus *Capsicum*. *Ciencia y tecnología de alimentos*, 30(1):51-59.

Mendoza S., L. G. 2013. Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*) fresco y seco. Tesis Maestro en Ciencias, Universidad Veracruzana, 171 pp.

Mínguez M., M. I., G. A. Pérez y M. D. Hornera. 2005. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales mucho más que simples "colorantes" naturales. Revista Agrocsic CTC Alimentación, 26: 108-113.

Montaño-Lugo, M. L., V. A. Velasco V., J. Ruíz L., G. B. Campos A., G. Rodríguez O. y L. Martínez M. 2014. Contribución al conocimiento etnobotánico del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(3): 503-511.

Nishimura, T., S. M. Zobayed, T. Kozai and E. Goto. 2007. Medicinally important secondary metabolites and growth of *Hypericum perforatum* L. plants as affected by light quality and intensity. Environmental Control in Biology 45:113-120.

NRCS-USDA. 2019. Plant Data Base of Natural Resources Conservation Service, Unites States Departament of Agriculture, <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=CAAN4> Consultado: octubre 23, 2019

Orozco L., M. F. 1994. Manuales para la educación agropecuaria: Horticultura. Editorial Trillas. México, 140 pp.

Ramos F., R. 2001. Diagnóstico fitosanitario de las principales enfermedades del chile de agua en los Valles Centrales de Oaxaca. Memoria de Residencia Profesional, Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca. Oaxaca, México, 61 pp.

Rivera-Pastrana, D. M., A. A. Gardea-Béjar, M. A. Martínez-Téllez, M. Rivera-Domínguez y G. A. González-Aguilar. 2007. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. Revista Fitotecnia Mexicana 30(4):361-372.

Robles-Sanchez, M., S. Gorinstein, O. Martín-Belloso, H. Astiazaran-García, G. Gonzales-Aguilar y R. Cruz-Valenzuela. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. Revista Chapingo Serie Horticultura, 32: 227-232.

- SAGARPA, 2018. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Salas S., M. del C. y M. Urrestarazu G. 2004. El cultivo del pimiento. En: Urrestarazu G., M. (Ed.). Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa, España, pp. 749-791.
- Segura, M. L. y C. Cadahía. 2000. Fertirrigación de cultivos hortícolas. In: Fertirrigación, Cultivos Hortícolas y Ornamentales. C. Cadahía (ed.). Mundi-Prensa, España, pp: 343-415.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2001 Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial de la Federación.
- Serrano-Altamirano, V.; Silva-Serna, M. M.; Cano-García, M.A.; Medina-García, G. y Ruiz-Corral, A. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Oaxaca. (Período 1961-2003). INIFAP. SAGARPA: Libro Técnico No. 4. Oaxaca, México. 272 páginas.
- Serrano, C. Z. 1990. Técnicas de invernadero. Editorial PAC, España, 216 pp.
- Sgroppo, S. C. and M. V. Pereyra. 2009. Using mild heat treatment to improve the bioactive related compounds on fresh-cut green bell peppers. *International Journal of Food Science Technology*, 44: 1793-1801.
- SIAP. 2015. Información estadística sobre superficie cubierta y número de instalaciones de agricultura protegida, desglosada por tipo de instalación y estado funcional de las instalaciones, a nivel de municipio. <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/superficie-cubierta-y-numero-de-instalaciones-de-agricultura-protegida-siap/resource/801f5f3f-406e-4c7c-8d76-d4e4830a3439> (Consultado: 16 de diciembre, 2015).
- Singleton, V. L. and J. A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
- Skerget M., P. Kotnik, M. Hadolin, A. Rizner H., M. Simonic and Z. Knez. 2005. Phenols, proanthocyanidins, flavons and flavonols in some plant material and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 89: 191-198.
- Steiner, A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*, 15: 134-154.

- Tonin, F. G., A. V. Javer, G. A. Micke, J. P. S. Farah and M. F. M. Tavares. 2005. Optimization of the separation of flavonoids using solvent-modified micellar electrokinetic chromatography. *Electrophoresis*, 26(17): 3387-3396.
- Torres, A. P. y R. G. López. 2012. Medición de Luz Diaria Integrada en Invernaderos. Purdue University, HO-238-SW, 1-7
- Tucuch-Haas, C., G. Alcántara-González, Y. Salinas-Moreno, L. I. Trejo-Téllez, V. H. Volke-Haller y A. Larqué-Saavedra. 2017. Aspersión foliar de ácido salicílico incrementa la concentración de fenoles en el grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(2): 235-238.
- Valentín M., M. C. 2011. Crecimiento y extracción de macronutrientes del chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Tesis Maestría en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, 92 pp.
- Valeriano R., C., V. A. Velasco V., E. Hernández S. y J. Ruiz L. 2014. Descripción morfológica de las piezas florales del chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(suplemento): 29.
- Vásquez L., A., B. Tlapal, M. de J. Yañez, R. Pérez y M. Quinto. 2009. Etiología de la marchitez del “chile de agua” (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.*, 32(2): 127-134.
- Vázquez M., S. T. 2005. Fisiotecnia, bromatología y contenido de capsicinoides en chile de agua. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, 95 pp.
- Villa C., M., E. Catalán V. y M. Inzunza I. 2005. Análisis de información climática para usos agrícolas. *AGROFAZ*, 5(1): 718-724.
- Viloria de Z., A. 1997. Efecto de la distancia de siembra y la edad sobre el crecimiento de la planta y la madurez de frutos del pimentón (*Capsicum annuum* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 62 pp.
- Virgen J., S. D. 2006. Rentabilidad y mercadeo de la producción de chile de agua bajo invernadero en el municipio de Ayoquezco de Aldama, Oaxaca. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo. 109 pp.

Zúñiga S., A. 2012. Rendimiento y calidad de chile de agua bajo sistema de poda. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, 70 pp.