



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

### **EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS, PLAGUICIDAS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE**

**LUIS DANIEL ORTEGA MARTÍNEZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**DOCTOR EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2014



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS PUEBLA**

## **CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Luis Daniel Ortega Martínez** alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Juventino Ocampo Mendoza**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS, PLAGUICIDAS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, octubre de 2014.

\_\_\_\_\_  
Luis Daniel Ortega Martínez

\_\_\_\_\_  
Vo. Bo. Profesor Consejero  
Dr. Juventino Ocampo Mendoza

La presente tesis, titulada: **EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS, PLAGUICIDAS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE**, realizada por el alumno: **Luis Daniel Ortega Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS


ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR


CONSEJERO:

  
DR. JUVENTINO OCAMPO MENDOZA

ASESOR:

  
DR. ENGELBERTO SANDOVAL CASTRO

ASESORA:

  
DRA. MARÍA DEL CARMEN MARTÍNEZ VALENZUELA

ASESOR:

  
DR. JOSÉ LUIS JARAMILLO VILLANUEVA

ASESOR:

  
DR. ARTURO HUERTA DE LA PEÑA

Puebla, México, octubre de 2014

# EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS, PLAGUICIDAS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE

Luis Daniel Ortega Martínez, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2014

En México la tecnología utilizada en los invernaderos, los sistemas de producción de tomate y el uso y manejo de plaguicidas es diverso y copiado de otros países, lo que ha originado fallas técnicas que impiden la obtención de una mayor productividad; con base a estos aspectos, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la tecnología de los invernaderos, el uso y manejo de plaguicidas, y la eficiencia de sistemas para la producción de tomate en el municipio de Chignahuapan, Puebla. Los resultados de la caracterización de invernaderos, mostraron dos tipos de invernaderos, el primero para clima templado con ventana cenital; el segundo macro túneles, ambos de baja tecnología, los indicadores de funcionalidad mostraron una correlación entre las características del invernadero con el rendimiento. Los de uso y manejo de plaguicidas muestran que el desarrollo de las prácticas agrícolas por parte de los jornaleros se realizan mediante un uso intensivo de una gran variedad de plaguicidas, sufriendo exposición a estos. En la evaluación de sistemas de producción los resultaron mostraron que la eficiencia en agua y fertilizante que se puede lograr mediante el sistema de cultivo en suelo acolchado, es del orden de 50 % en agua con fertilizantes, en comparación con los sistemas de sustratos. El rendimiento mostró diferencias significativas, destacando el tezontle, no obstante, el tratamiento suelo acolchado, mostró el mejor beneficio económico. A partir de estos resultados se podrán desarrollar e implementar estrategias que conlleven a la implementación y correcciones de técnicas agrícolas en invernaderos para mejorar las actividades y los rendimientos.

Palabras clave: Agricultura protegida, conductas de uso de plaguicidas, *Lycopersicon esculentum*, sustratos, solución nutritiva.

# ASSESSMENT OF GREENHOUSE TECHNOLOGY, PESTICIDES AND TOMATO PRODUCTION SYSTEMS

Luis Daniel Ortega Martínez, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2014

In Mexico the technology used in greenhouses, the tomato production systems and the use and management of pesticides is diverse and it is also a copy from that of other countries, which has led to technical failures preventing to achieve a higher productivity; based on these aspects, this work is aimed to assess greenhouse technology, the use and management of pesticides, and the efficiency of tomato production systems in the municipality of Chignahuapan, Puebla. The results from greenhouse characterization showed two types of greenhouses, the first one for temperate climate with roof window; and the second one with macro tunnels, both with low technology, function indicators showed a correlation among the greenhouse characteristics with performance. The studies of use and management of pesticides showed that the development of agricultural practices by laborers was conducted with an intensive use of a wide variety of pesticides, suffering from exposure to these. In the assessment of production systems, results showed that the efficiency in water and fertilizer that can be achieved through the crop system in mulched soil, is in the order of 50 % in water with fertilizers, in comparison with the substrates systems. The performance showed significant differences, highlighting the tezontle, however, the treatment with mulched soil showed the best economic benefit. From these results, strategies may be developed and implemented that may lead to the implementation and technical agricultural corrections in greenhouses to enhance the activities and performances.

Key words: Protected agriculture, behavior for the use of pesticides, *Lycopersicon esculentum*, substrates, nutrient solution.

## DEDICATORIA

*Has* e *Iker* este proyecto sencillamente no habría sido física, intelectual o emocionalmente posible sin ustedes, son mis colaboradores y cómplices en todo.

“LO LOGRAMOS PUES HICIMOS ESTA TAREA JUNTOS”

Gracias

**A mis padres y hermanos**

**A toda mi familia**

## AGRADECIMIENTOS

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por haber financiado mis estudios doctorales en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla.

**Al Colegio de Postgraduados Campus Puebla**, donde adquirí mi formación académica en con el Postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional.

Al Dr. Juventino Ocampo Mendoza ejemplo de trabajo, dedicación y compromiso, por su apoyo incondicional, conocimientos, confianza y atenciones pero sobre todo gracias por su amistad.

A la Dra. María del Carmen Martínez Valenzuela gracias no solo por este trabajo, sino por su infinito apoyo.

Al Dr. Engelberto Sandoval Castro por el apoyo brindado durante mi formación.

Al Dr. Arturo Huerta de la Peña por su tiempo y dedicación para culminar esta tesis.

Al Dr. José Luis Jaramillo Villanueva por su valiosa colaboración para consolidar esta tesis.

A los doctores Felipe Alvares Gaxiola y Antonio Macías López por los comentarios y observaciones durante la revisión de esta investigación, mismos que fomentaron la culminación y avance del trabajo.

A los doctores y personal administrativo del campus Puebla por las facilidades otorgadas.

A un gran amigo, compañero y colaborador Josset Sánchez.

A mis amigos y compañeros, Adriana Serrano, Bladimir Jordán, Joaquín Zagoya y Misael Mundo por su amistad y apoyo.

## CONTENIDO

	Página
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	1
1.1. Justificación.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Objetivo general.....	6
1.3.1. Objetivos específicos.....	6
1.4. Hipótesis general.....	7
1.4.1. Hipótesis específicas.....	7
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL</b>	8
2.1. <b>Agricultura protegida e invernaderos</b> .....	8
2.1.1. El concepto de agricultura protegida.....	8
2.1.2. Concepto y definición de invernadero.....	8
2.2. <b>Tipología en invernaderos</b> .....	9
2.2.1. Clasificación de invernaderos.....	9
2.2.2. Estructuras.....	12
2.2.3. Materiales de cubierta.....	13
2.2.4. Material de cubierta y luz.....	16
2.2.5. Monitoreo ambiental.....	17
2.2.6. El clima.....	18
2.2.7. La ventilación.....	18
2.2.8. Ventilación natural o estática y forzada.....	19
2.2.9. Distancia entre invernaderos y su efecto en la ventilación.....	21
2.2.10. La ventilación lateral.....	21
2.3. <b>Norma Mexicana para el diseño y construcción de invernaderos</b> .....	22
2.4. <b>Panorama de la horticultura protegida en México</b> .....	24
2.4.1. Proyecto estratégico de agricultura protegida.....	24
2.4.2. Superficie protegida en México.....	27
2.4.3. Vulnerabilidad de la agricultura protegida.....	30
2.4.4. Abandono y fracaso de invernaderos.....	32
2.5. <b>Producción en invernadero en México</b> .....	33
2.5.1. Principales cultivos producidos bajo invernaderos.....	33
2.6. <b>Importancia del tomate</b> .....	34
2.6.1. Generalidades del tomate.....	35
2.7. <b>Sistemas de producción en el cultivo de tomate</b> .....	37
2.7.1. Suelo con acolchado plástico.....	38
2.7.2. Cultivo sin suelo.....	40
2.7.3. Sustratos utilizados en la producción de tomate.....	42
2.7.4. El uso de agua.....	44



2.8.	<b>Fertirrigación</b> .....	46
2.9.	<b>La solución nutritiva</b> .....	47
2.10.	<b>Los plaguicidas</b> .....	48
2.10.1.	Clasificación de los plaguicidas.....	49
2.10.2.	Clasificación por su persistencia en el ambiente y toxicidad.....	49
2.10.3.	Organoclorados.....	51
2.10.4.	Organofosforados.....	52
2.10.5.	Carbamatos.....	53
2.10.6.	Piretroides.....	54
2.10.7.	Triazínicos.....	55
2.11.	<b>Efectos adversos de los plaguicidas</b> .....	56
2.12.	<b>Uso de plaguicidas</b> .....	58
2.13.	<b>Exposición, ingesta, bioacumulación y biomagnificación de plaguicidas</b> .....	58
2.14.	<b>Daños a la salud por plaguicidas</b> .....	59
2.15.	<b>Normatividad sobre el uso de plaguicidas en México</b> .....	60
2.16.	<b>Bibliografía</b> .....	62
	<b>CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN Y FUNCIONALIDAD DE INVERNADEROS EN EL MUNICIPIO DE CHIGNAHUAPAN, PUEBLA</b> .....	84
3.1.	Resumen.....	84
3.2.	Abstract.....	85
3.3.	Introducción.....	85
3.4.	Materiales y métodos.....	88
3.5.	Resultados y discusión.....	89
3.6.	Conclusiones.....	96
3.7.	Bibliografía.....	97
	<b>CAPÍTULO IV. USO Y MANEJO DE PLAGUICIDAS EN INVERNADEROS DE LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO</b> .....	102
4.1.	Resumen.....	102
4.2.	Abstract.....	103
4.3.	Introducción.....	103
4.4.	Materiales y métodos.....	107
4.5.	Resultados.....	108
4.6.	Discusión.....	117
4.7.	Conclusiones.....	120
4.8.	Referencias.....	122
	<b>CAPÍTULO V. EFICIENCIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO</b> .....	128
5.1.	Resumen.....	128
5.2.	Summary.....	129

5.3.	Introducción.....	130
5.4.	Materiales y métodos.....	132
5.5.	Resultados y discusión.....	135
5.6.	Conclusiones.....	141
5.7.	Literatura citada.....	142
	<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>148</b>
	<b>CAPÍTULO VII. PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO EN CHIGNAHUAPAN, PUEBLA.....</b>	<b>150</b>
7.1.	<b>Introducción.....</b>	<b>150</b>
7.2.	<b>Aspectos generales a considerar en la producción de tomate en invernadero.....</b>	<b>150</b>
7.2.1.	Disponibilidad de agua para riego.....	151
7.2.2.	Climatología de la localidad.....	151
7.2.3.	Vías de comunicación.....	151
7.2.4.	Disponibilidad de mano de obra.....	151
7.2.5.	Conocimiento técnico y administrativo.....	152
7.2.6.	Infraestructura.....	152
7.2.7.	Mercado.....	152
7.2.8.	Capacitación y vinculación.....	153
7.3.	<b>Invernadero y condiciones ambientales.....</b>	<b>153</b>
7.3.1.	Temperatura.....	153
7.3.2.	Humedad relativa.....	154
7.4.	<b>Producción.....</b>	<b>155</b>
7.4.1.	Diseño de camas.....	156
7.4.2.	Solarización.....	156
7.4.3.	Fertilización.....	157
7.4.4.	Poda.....	160
7.5.	<b>Manejo de plaguicidas.....</b>	<b>160</b>

## LISTA DE TABLAS

### CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

Tabla		Página
1.	Clasificación de invernaderos por niveles tecnológicos.....	10
2.	Tipos de invernaderos utilizados en México.....	11
3.	Principales productos plásticos aplicados a la agricultura.....	14
4.	Posibilidades de usos agrícolas de los plásticos.....	15
5.	Ventajas e inconvenientes de las láminas de polietileno.....	15
6.	Superficie con agricultura protegida en México.....	27
7.	Unidades de producción en México.....	29
8.	Estados con mayor presencia de fenómenos climáticos.....	31
9.	Porcentaje de unidades de producción fuera de operación.....	32
10.	Principales materiales para sustratos disponibles en México.....	43
11.	Consumo de agua de diferentes especies.....	45
12.	Criterios para la clasificación de plaguicidas.....	49
13.	Clasificación de plaguicidas según la vida media.....	50
14.	Clasificación de plaguicidas según su toxicidad aguda.....	51

### CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN Y FUNCIONALIDAD DE INVERNADEROS EN EL MUNICIPIO DE CHIGNAHUAPAN, PUEBLA

Tabla		Página
1.	Clasificación de invernaderos por tipología y componentes.....	92
2.	Rendimiento de tomate según la clasificación de invernadero.....	93
3.	Correlaciones entre rendimiento y distintas tecnologías en invernadero.....	94
4.	Valores medios de los indicadores de funcionalidad.....	95
5.	Correlaciones entre el rendimiento m <sup>-2</sup> con indicadores de funcionalidad de invernadero.....	95

### CAPÍTULO IV. USO Y MANEJO DE PLAGUICIDAS EN INVERNADEROS DE LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

Tabla		Página
1.	Principales plaguicidas aplicados en invernadero en el ciclo 2011...	111
2.	Frecuencia de uso de los principales plaguicidas.....	113
3.	Indicadores de uso, manejo y hábitos durante o después de haber aplicado plaguicidas en invernadero.....	113

**CAPÍTULO V. EFICIENCIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO**

Tabla		Página
1.	Características físicas y químicas de los sustratos empleados.....	134
2.	Eficiencia de agua y fertilizantes en el rendimiento de tomate.....	136
3.	Correlaciones entre rendimiento, agua, solución nutritiva y características físicas de los sustratos.....	139

**CAPÍTULO VII. PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO EN CHIGNAHUAPAN, PUEBLA**

Tabla		Página
1.	Propuesta de fertilización utilizada para la producción de tomate en suelo acolchado con plástico.....	158
2.	Fertilizante, sus características y síntomas de deficiencia.....	158

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

Figura		Página
1.	Principales tipos de invernaderos en México.....	11
2.	Regiones eólicas en la república mexicana.....	12
3.	Uso de deflectores en ventanas cenitales.....	20
4.	Velocidad del aire en dos invernaderos fuente.....	21
5.	Tasa de ventilación en función del número de naves.....	22
6.	Cultivos en agricultura protegida.....	34

### CAPÍTULO V. EFICIENCIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO

Figura		Página
1.	Clasificación del tomate según el rendimiento y diámetro del fruto.....	137
2.	Consumo de litros de agua mensual por m <sup>2</sup> de los tratamientos.....	141

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL**

La agricultura protegida se define como el sistema de producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos hortícolas, con el propósito de alcanzar un crecimiento óptimo y con ello un alto rendimiento. Los productos que se obtienen con este sistema son de alta calidad, con mejores precios de venta y mayores niveles de inocuidad; lo que contribuye a sustentar y fomentar el desarrollo agroindustrial, generar divisas, empleos y una vida más digna entre la población del medio rural (Sánchez, 2008).

La agricultura, por su naturaleza, se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este sistema tenga como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a esta actividad, estos pueden ser climatológicos, económicos como rentabilidad y mercado o de limitaciones de recursos productivos como el agua o de superficie. En tal sentido, los principales componentes para proteger los cultivos se agrupan en: cubiertas flotantes o plásticas, casas sombra, micro invernaderos y micro o macro túneles e invernaderos de diversos tipos. Además de dispositivos de apoyo como los acolchados plásticos, pantallas térmicas y mallas de diversos tipos que se usan con diferentes fines de producción (Moreno *et al.*, 2011).

El desarrollo histórico de esta actividad ha mostrado que este tipo de agricultura ha sufrido cambios significativos en cuanto a la concepción de producir alimentos; incluyendo además de los elementos del clima, la nutrición de los cultivos, control de plagas mediante el uso de plaguicidas o por control biológico, enfermedades y la economía en el uso de los recursos hídricos (Tognoni, 2003).

En México en los últimos años la agricultura protegida ha estado en constante crecimiento, por lo que no se tienen datos fidedignos de la superficie cubierta por invernaderos y los existentes, presentan discrepancias. INEGI (2007) registraron en México 18,127 unidades de producción cubriendo una superficie de invernadero en 12,547 hectáreas (ha), sin embargo, solo 7,857 invernaderos reportaron tener venta. Castellanos y Borbón (2009) estimaron que la superficie de invernaderos, incluidas las casas sombra, ascendía a 8,934

ha; sin contemplar la superficie de invernaderos con ornamentales ni los macrotúneles, que pueden ser del orden de 550 y 2,000 ha. Sánchez (2010) indicó que en México se sembraron cerca de 15,000 ha, mientras que en 2013, 16,373 ha (SIAP, 2013), sobresaliendo Sinaloa, Baja California, Sonora y Jalisco, Oaxaca, México, Michoacán, Morelos y Puebla.

En el estado de Puebla se ha promovido la agricultura protegida como una alternativa de desarrollo agrícola, a tal grado que es la segunda entidad federativa con mayor número de unidades de producción (2309), en una superficie de 835 ha. Los municipios con mayor número de unidades de producción son San Salvador, El Verde, Tétela de Ocampo, Aquixtla, y Chignahuapan, donde los principales cultivos son tomate, plantas de ornato y noche buena, crisantemo, pepino, chile verde y otros cultivos principalmente hortalizas (INEGI, 2007; OEIDRUS, 2008).

En el municipio de Chignahuapan, Puebla los invernaderos, cubren una superficie de 57,732 m<sup>2</sup>, donde el 29 % corresponde a invernaderos inactivos o abandonados debido principalmente a que su conducción y desarrollo se ha realizado mediante escenarios muy heterogéneos como distintas tipologías de invernaderos, diferentes sistemas de producción y de manejo agronómico, lo que ha originado fallas técnicas y de diseños que impiden la obtención de una mayor productividad de estos (OEIDRUS, 2008).

En la presente investigación el objetivo principal fue evaluar la tecnología de los invernaderos, el uso y manejo de plaguicidas, y la eficiencia de sistemas para la producción de tomate en el municipio de Chignahuapan, Puebla.

La investigación está basada en VII capítulos, los capítulos I y II consisten en una descripción de la agricultura protegida y su situación actual en México, en el que se abordan elementos y definiciones, usos de materiales plásticos, agua, fertilizantes, plaguicidas, sistemas de producción así como el fracaso y abandono de invernaderos. El resto de los capítulos son presentados bajo formato de artículo, el primer artículo corresponde al capítulo III que consistió en la caracterización y funcionalidad de

invernaderos en el municipio de Chignahuapan, Puebla identificando los elementos necesarios que influyen en el rendimiento de tomate.

En el capítulo IV se presenta el uso y manejo de plaguicidas en invernaderos de la región norte del estado de Puebla, México, región donde las estrategias de combate de plagas han privilegiado el uso de plaguicidas, lo que ha generado una cultura productora ligada a este tipo de insumos

El capítulo V consistió en la evaluación de la eficiencia de sistemas de producción de tomate en invernadero, dichos sistemas son hidropónicos con base en bolis de fibra de coco, acolchados plásticos y bolsas con sustratos de piedra volcánica así como suelo.

El capítulo VI considera las conclusiones generales, y finalmente en el capítulo VII con base a las funciones, expectativas, problemáticas identificadas y los resultados obtenidos de la investigación en la región de estudio, se diseñó una propuesta para la producción de tomate en invernadero en el municipio de Chignahuapan Puebla. Esta propuesta, se orienta en mejorar las actividades que tienen una mayor influencia en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con el propósito de optimizar la producción mediante la factibilidad de llevarse a cabo por los productores y jornaleros, de tal forma, que a partir del análisis científico, este sea un soporte técnico para orientar las decisiones de los productores de la región de estudio.

### **1.1. Justificación**

La propuesta de reconversión de cultivos, la escasez de agua, así como las condiciones que impone el mundo globalizado, reflejadas de manera particular en los tratados de libre comercio, hacen necesario que los productores agrícolas apliquen nuevas tecnologías de producción como el cultivo en invernadero con el fin de ser competitivos en los mercados locales, nacionales e internacionales, que exigen productos de mayor calidad a menor costo. Con el uso de invernaderos se puede tener un mejor control en las variables ambientales y agronómicas, para mejorar la producción en calidad y cantidad, por lo que se ha generado



el concepto de “agricultura industrial”, para referirse a ella, el concepto está ligado al alto grado de cambios y equipamientos que exige en el territorio, así como a los elevados valores de insumos y niveles productivos que la caracterizan, propios de regiones industrializadas.

La caracterización y funcionalidad de los invernaderos pueden establecer las necesidades en inversiones y además de un mayor grado de equipamiento que permita atender las exigencias de los mercados, elevación de los niveles de calidad, diferenciación de productos y diversificación de la oferta.

De la misma forma, el sistema utilizado para la producción de tomate en invernadero, ha sido en condiciones de manejo heterogéneas y se recurre a sustratos como tezontle en bolsas de poliuretano, compostas, vermicompostas, aserrín, o el suelo agrícola con acolchados plásticos agrícolas. Sin embargo, estos sistemas no tienen consistencia y sistematización de los resultados lo que genera gastos en recursos y tiempo, por lo que la evaluación de distintos sistemas para la producción de tomate, ayuda a establecer la eficiencia de producir el cultivo, de modo que sea posible elegir una opción integrada acorde a la región.

La producción de tomate en condiciones de invernadero, se caracteriza por un incremento de la utilización de plaguicidas, su uso incorrecto puede plantear graves problemas ambientales y principalmente de salud para las personas que laboran en el invernadero, debido a que su exposición es constante presentando el riesgo de sufrir accidentes relacionados con estos productos, de modo que conocer su uso y manejo ayudaría a proponer estrategias para buscar minimizar el riesgo ocupacional.

En este proceso de investigación, es importante proporcionar una propuesta sobre la producción de tomate en invernadero a los productores y técnicos, en donde la información deberá ser básica para la toma de decisiones y apropiada a la región de estudio.

## **1.2. Planteamiento del problema**

En los últimos años se ha fomentado la horticultura protegida como un sistema de producción alternativo, competitivo y sustentable para el desarrollo integral de la gente del campo con el fin de responder a una mayor demanda de alimentos de la población, por lo que la tendencia de crecimiento anual es de 25 a 30 % (AMCI, 2010), aunado el número de invernaderos abandonados aumenta constantemente García *et al.* (2011). Entre las principales causas que origina el abandono de invernaderos se encuentra la falta de capacitación y asesoría técnica, escaso o nulo conocimientos en cuanto al tipo o modelo de invernadero más apropiado a cada región y para un cultivo determinado. Por lo tanto se imitan sistemas de producción, así como mal uso de plaguicidas y agroquímicos. Esta problemática se basa principalmente por la falta de información, divulgación y demostración sobre las técnicas de cultivo en invernadero (Bastida, 2007).

Por su parte, Steta (2003) señala que los principales problemas que enfrenta el productor de la agricultura protegida son la falta de información y estudios para la ubicación y diseños de invernaderos en diferentes latitudes de México, la escasa orientación sobre los cultivos a sembrar. De tal forma, que la mayor parte de los invernaderos, así como los sistemas de producción que emplean los agricultores mexicanos, han sido copiados y generalizados de otros países como: Holanda, Israel, España, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, sin que necesariamente representen la mejor opción agroeconómica para producir y en consecuencia, responden a otras circunstancias tecnológicas, ambientales y socioeconómicas. De este modo, la diferencia tecnológica y el conocimiento desarrollado en otros países en el área de ingeniería de invernaderos es adecuado a sus características propias socioeconómicas y agronómicas.

En el municipio de Chignahuapan los invernaderos y la tecnología utilizada es diversa, no se cuenta con una caracterización de invernaderos el cual es elemento cualitativamente más importante de la explotación, pues de él depende en gran medida la capacidad productiva, aunado a los sistemas para la producción de tomate. Estos son muy variados y muchos de ellos son inadecuados a las condiciones geográficas, agrícolas, climáticas y socioeconómicas, por lo que los rendimientos son bajos y altos económicamente.

Respecto al manejo agronómico por parte de los jornaleros en la producción en invernadero, se hace uso de plaguicidas, una manipulación inadecuada de estos insumos, lo que podría ocasionar problemas de salud y efectos ambientales. Además, el uso indebido incrementa los costos de producción y en la mayoría de los casos, el control ineficiente puede fomentar el desarrollo de resistencia.

### **1.3. Objetivo general**

Evaluar la tecnología de los invernaderos, el uso y manejo de plaguicidas y la eficiencia de sistemas para producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el municipio de Chignahuapan, Puebla.

#### **1.3.1. Objetivos específicos**

Evaluar la tecnología mediante las características y la funcionalidad de los invernaderos, que permita un mejor entendimiento de los factores que determinan el rendimiento del cultivo en el municipio de Chignahuapan, Puebla.

Analizar el uso y manejo de plaguicidas por jornaleros en la producción bajo invernadero del municipio de Chignahuapan, Puebla.

Evaluar la eficiencia de los sistemas hidropónicos y acolchados plásticos en la producción de tomate en invernadero, mediante el consumo utilizado de agua, fertilizantes, rendimiento y así como la rentabilidad a través del indicador costo beneficio.

Diseñar una propuesta para la producción de tomate en invernadero en el municipio de Chignahuapan, Puebla con base al estudio y los resultados encontrados en el presente trabajo.

### **1.4. Hipótesis general**

La tecnología en invernaderos, el manejo de plaguicidas y los sistemas de producción utilizados para la producción de tomate, son los más apropiados en el municipio de Chignahuapan, Puebla.

#### **1.4.1. Hipótesis específicas**

La tecnología, características y funcionalidad de invernaderos son factores determinantes para la producción y rendimiento de tomate en el municipio de Chignahuapan, Puebla.

Los jornaleros aplican plaguicidas en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero sin protección personal y desconocimiento sobre los riesgos que implican, lo que conlleva a una mayor exposición.

Existen diferencias de producción, rendimiento de tomate y económicas en los sistemas hidropónicos y acolchados plásticos en invernadero.

El sistema de producción de tomate, hidroponía en invernadero, representa una mejor alternativa para los productores frente al sistema de producción suelo con acolchado plástico, en términos económicos.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEORICO - CONCEPTUAL**

### **2.1. Agricultura protegida e invernaderos**

#### **2.1.1. El concepto de agricultura protegida**

La agricultura protegida es un sistema agrícola especializado, realizado bajo diversas estructuras cubiertas, en el cual se lleva a cabo un control del medio edafológico y climático, alterando sus condiciones con el fin de minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos a los cultivos (Castilla, 2005; Moreno *et al.*, 2011; Juárez *et al.*, 2011).

Para la agricultura protegida, se han desarrollado distintas estructuras con el fin de recrear las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos, de acuerdo a las necesidades de cada especie y condiciones climáticas de cada región, tales como macro y micro túneles bioespacios y principalmente invernaderos (Castellón, 2011).

#### **2.1.2. Concepto y definición de invernadero**

En la actualidad existen diferentes definiciones de invernadero, de acuerdo a la norma de la Unión Europea: UNE-EN-13031-1, es una estructura usada para el cultivo y/o protección de plantas o cosechas, la cual optimiza la transmisión de radiación solar bajo condiciones controladas, para mejorar el entorno del cultivo y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en su interior.

Matallana y Montero (1995) conciben al invernadero como un conjunto formado por una estructura ligera y una cubierta que permite la protección y/o crecimiento de las plantas, mediante el uso de la energía solar y la defensa contra el frío y otras condiciones climáticas adversas. Mientras que Serrano (2002) lo define como una instalación cubierta y abrigada artificialmente, con materiales transparentes para defender a las plantas de la acción de los meteoros exteriores, permitiendo el control de determinados parámetros productivos como

temperatura ambiental y del suelo, humedad relativa, concentración de anhídrido carbónico y luz, en los más cercano posible al óptimo para el desarrollo de los cultivos que se establezcan. Por su parte, Sánchez (2005) puntualiza al invernadero como una construcción agrícola, con una cubierta translúcida que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas. El crecimiento y desarrollo de las plantas establecidas en su interior, se consigue con cierta independencia del medio exterior, para lograr el objetivo se recurre al diseño y equipamiento del mismo.

Rosete (1998) indica que un invernadero es el sistema productivo en el cual se pueden generar cosechas con una programación de carácter continuo, en especial fuera de la época normal en que aparece en el mercado. Para Fernández (2012) el invernadero es el elemento cualitativamente más importante del sistema de producción en agricultura protegida, debido a que de él depende en gran medida la capacidad productiva.

Con base a lo mencionado, el invernadero tiene como objetivo principal retener la energía solar y el intercambio de aire con el exterior, para crear artificialmente las condiciones ambientales: de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono óptimo y apropiado. Estos factores requieren las plantas para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento, incrementando la producción en cantidad, calidad y oportunidad comercial (Baile, 2003; Castañeda *et al.*, 2007; Bastida, 2008; Moreno *et al.*, 2011; Flores y Quiroz, 2012).

## **2.2. Tipología en invernaderos**

### **2.2.1. Clasificación de invernaderos**

El invernadero, está formado por elementos verticales, horizontales y curvos, que le otorgan la forma y resistencia a la carga, los materiales más comunes que lo constituyen son: madera, fierro o acero, su función es soportar la carga y esfuerzos que ocasionan el montaje de la cubierta; además de los aparatos de climatización o de riego, las plantas y los frutos (Alpi y Tognonni, 1999). Dadas estas características, se pueden clasificar los invernaderos de distintas formas, por sus elementos constructivos (Serrano, 2002), su forma

arquitectónica y geométrica de cubierta (Castilla, 2005) y su nivel tecnológico (Bastida, 2008). También por el periodo de vida útil, así como a la tolerancia a los desplazamientos de la estructura de cubierta (NMCI, 2008).

Una tipificación comúnmente aceptada es la de Pieter de Rijk (2008) clasifica los invernaderos según su nivel tecnológico, donde el de nivel bajo es aquel 100 % dependiente del ambiente, uso de tecnologías simples similares a utilizadas en cultivo a intemperie; nivel medio es semiclimatizado, riegos programados, suelo o hidroponía; y el nivel alto climatización automatizada (mayor independencia del clima externo), riegos, computarizados, inyecciones de CO<sub>2</sub>, y uso de sustratos. De la misma forma, Bastida (2006), propone una clasificación de invernaderos por niveles tecnológicos (Tabla 1), basada en función del equipamiento y acondicionamiento de las estructuras, esta clasificación consiste en agrupar a los invernaderos en niveles tecnológicos básicos, medio y alto. En función de ello se han establecido cuatro niveles: 1) nivel tecnológico básico o manual, 2) nivel tecnológico medio o mecánico, 3) nivel tecnológico alto o automatizado y 4) nivel tecnológico muy alto o computarizado.

**Tabla 1. Clasificación de invernaderos por niveles tecnológicos.**

<b>Nivel Tecnológico</b>	<b>Tipo de manejo</b>	<b>Tipo de estructuras y equipo</b>
Básico	Manual	Rusticas, con equipamiento básico
Medio	Mecánico	Modulares, acero galvanizado, con dispositivos mecánicos y eléctricos
Alto	Automatizado	Sensores y controladores para riego, calefacción y ventilación
Muy Alto	Computarizado	Computadoras, programas inteligentes y control a distancia

Fuente: Bastida, 2008.

Un trabajo de vinculación entre la Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos (AMCI) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través de la dirección de vinculación y desarrollo tecnológico, definieron 5 tipos de invernadero que son utilizados en México a los que también se les asignó un precio (Tabla 2).



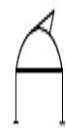
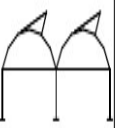
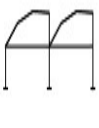
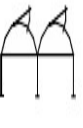
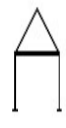
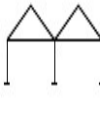
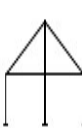
**Tabla 2. Tipos de invernaderos utilizados en México.**

Tipo	Estructura	Resistencia a vientos km/hr	Precio m <sup>2</sup> (pesos)
Macrotúnel	Acero, sin paredes frontales o laterales	Hasta 55	35 - 65
Malla Sombra	Metálica, malla antiafidos perimetral	Hasta 120	80 - 110
Invernadero Tropicalizado	Acero ventilación cenital, malla antiafidos perimetral	Hasta 120	210 - 250
Invernadero para Clima Templado	Acero ventilación cenital malla antiafidos perimetral, control climático	Hasta 120	280 - 350
Invernadero para Cualquier Clima	Acero ventilación cenital, malla antiafidos perimetral, automatizado	Hasta 120	380 - 490

Fuente: (AMCI, 2010).

El precio se incrementa dentro de estos rangos principalmente por las variables superficie o tecnología, de la misma forma los rangos fueron obtenidos de un sondeo hacia adentro de la AMCI, por lo que en el mercado se pueden encontrar precios muy diversos. Influenciados por factores como distancia ente columnas y altura de las mismas, tipo de malla a utilizar en el perímetro, tipo de polietilenos a utilizar en cubierta, tamaño de la nave, tipo de automatización que tenga (automatismo, computadora). A pesar de las diferentes clasificaciones de los invernaderos, lo que existe es la mejor combinación tecnológica para las condiciones climáticas, sociales y económicas de un determinado lugar.

En México los tipos de invernaderos más comunes son los túneles con sus variantes (Figura 1).

								
UNITUNEL (túnel unitario)	MULTITUNEL EL (túnel múltiple)	UNITUNEL VENTILA CENITAL FIJA	MULTITUNEL VENTILAS CENITAL FIJA	MULTITUNEL DIENTE DE SIERRA VENTILAS FIJA	MULTITUNEL VENTILA(S) CENITAL MOVIL	UNITUNEL CAPILLA	MULTITUNEL CAPILLA	MODULAR TIPO PARRAL

**Figura 1. Principales tipos de invernaderos en México.**

Fuente: (NMCI, 2008).



Una de las variables críticas que consideran en el diseño de los invernaderos es la velocidad de los vientos, y basados en la Norma Mexicana NMX-E-255-CNCP-2008 de diseño y construcción de invernaderos y en datos de Comisión Federal de Electricidad (CFE) (Figura 2).



**Figura 2. Regiones eólicas en la republica mexicana.**

Fuente: (NMCI, 2008).

### 2.2.2. Estructuras

Otra forma de diferenciar los invernaderos es por su estructura, entre los principales tipos se encuentran los malla sombra también llamados casa sombra o Bioespacio, consisten en una estructura metálica ligera, mallas antiáfidos en cubiertas y en perímetro, que se emplean para disminuir la cantidad de energía radiante que llega a los cultivos, la cual es una tela tejida de plásticos con entramados de cuadros de diferentes tamaños. El macro túnel o túnel alto que no tienen las características apropiadas en ancho y altura al canal para ser considerados invernaderos pero permiten labores en el interior, y finalmente el micro túnel, túnel bajo o mini invernadero son arcos sobre los que se colocan cubiertas de plástico (Juárez *et al.*, 2011). Ambos son de estructura ligera de Acero Galvanizado (en ocasiones, acero negro en las bases) con cubierta plástica, no tiene paredes frontales ni laterales, Estructura Móvil (muy fácil de instalar y quitar), no lleva cimentación (AMCI, 2008).

### 2.2.3. Materiales de cubierta

En los invernaderos, el material de cubierta más utilizado es principalmente las películas plásticas flexibles, que están compuestas por la unión de polímeros y monómeros, obtenidos mediante polimerización y aditivos (Díaz *et al.*, 2001). El material de cubierta debe ser resistente, ofreciendo garantías de estabilidad y que no disminuya la iluminación (Alpi y Tognoli, 1999).

La importancia del material de cobertura en un cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se vaya a construir el invernadero, la elección del material de cobertura dependerá de una serie de criterios o indicadores, que interaccionados entre sí, ayudarán al agricultor en la elección del material apropiado (Matallana y Montero, 1995).

El material de cubierta influye en las variables que más afectan al cultivo como luz, temperatura o humedad y debe ser cuidadosamente elegido junto a la estructura para ayudar al manejo y optimizar el rendimiento del invernadero (Castilla, 2004; Castilla y Hernández, 2005). Los materiales plásticos, especialmente los filmes flexibles, son los que ofrecen una variedad más amplia de propiedades y el mejor balance costo/propiedades, se pueden clasificar en filmes flexibles, placas rígidas y mallas, aunque el empleo de los primeros supera con mucho a las otras dos opciones (Díaz *et al.*, 2001), tienen espesores comprendidos entre 80 y 220 micrómetros y anchos de hasta 20 metros. En mercados avanzados se pueden encontrar filmes monocapa, tricapa y pentacapa, entre los polímeros utilizados, el polietileno de baja densidad (LDPE), y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA) y acrilato de butilo (EBA) representan más del 80 % del mercado mundial.

A partir de los años 40, se empezó a desarrollar la aplicación del polietileno y sus copolímeros para cubierta de invernadero (Garnaud, 2000). El material idóneo para esta aplicación debe ser, además de conformable en forma de película, fotoestable, para mantener sus propiedades durante largos tiempos de exposición al sol, transparente a la radiación visible, para permitir a la planta realizar la fotosíntesis; opaco a la radiación

infrarroja, para evitar la pérdida de calor por radiación durante la noche, e hidrófilo, para evitar la condensación de agua en forma de gotitas.

Entre los materiales plásticos para uso agrícola existen plásticos para acolchados, para emplearse como cubiertas flotantes, para cubiertas de túneles bajos, túneles altos e invernaderos, así como para muchos otros usos a los que dichos materiales se pueden aplicar, tanto actuales como potenciales, de acuerdo a sus características y propiedades (Papaseit, 1997; Díaz *et al.*, 2001). Otra cubierta de importancia es la de vidrio, que son las estructuras típicas de países fríos, y el modelo más característico es el venlo holandés. Se suelen construir en grandes superficies para disminuir costos de instalación y ahorrar energía: por ejemplo, la superficie media en Holanda es de 1.5 ha con tendencia a aumentar (Bunschoten y Pierik, 2003).

En la Tabla 3 se presenta un listado con los nombres y abreviaciones, de los principales productos de plástico disponibles en el mercado internacional y nacional, y en la Tabla 4 las posibles aplicaciones de cada uno ellos, mientras en la Tabla 5 se presentan algunas ventajas y desventajas del uso de los polietilenos.

**Tabla 3. Principales productos plásticos aplicados a la agricultura.**

<b>Nombre en español</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Nombre en Inglés</b>	<b>Abreviatura</b>
Polietileno de baja densidad	PEBD	Low density polyethylene	LDPE
Polietileno de baja densidad lineal	PEBDL	Linear low density polyethylene	LLDPE
Polietileno de alta densidad	PEAD	Higli density polyethylene	HDPE
Etileno de acetato de vinilo	EVA	Ethylene vinyl acetato	EVA
Policlonuo de vinilo	PVC	Polyvinyl chloride	PVC
Polipropileno	PP	Polypropylene	PP
Policarbonato	PC	Polycarbonate	PC
Polinietracrilato	PMMA	Polymethyl methaciylate	PMMA

Fuente: Papaseit, 1997.

**Tabla 4. Posibilidades de usos agrícolas de los plásticos.**

PEBDL	PEBD	PEAD	EVA	PVC	PP	PC	PMMA
Acolchados					*		
Cubiertas flotantes	*	*		*		*	
Micro tuneles		*		*	*		
Túneles		*		*	*		
Invernaderos		*		*	*		*
Ensilaje	*	*			*		
Mallas	*	*	*	*	*	*	
Sacos hidroponía		*		*			
Impermeabilización	*	*	*	*		*	
Cortavientos			*			*	
Riego y drenaje	*	*	*	*	*	*	
Contenedores	*	*	*			*	

Fuente: Papaseit, 1997. \* Indica la posibilidad de uso agrícola.

**Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de las láminas de polietileno.**

Tipo lámina	Usos o aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Polietileno (sin aditivos)	*Invernaderos *Túneles *Acolchados *Desinfección *Empaque forraje	* Precio bajo.	*Corta vida útil en climas soleados. *Poca protección térmica para los cultivos en invernadero y túneles. *Riesgo de inversiones térmicas.
Polietileno larga Duración	* Invernaderos	*Precio medio. *Duración de 2 a 4 años según condiciones climáticas.	*Precio mayor al polietileno *Comportamiento térmico similar al polietileno.
Polietileno térmico	*Acolchados *Micro túneles *Doble cubierta	*Reducción del riesgo de heladas. *Mayor precocidad en cosechas. *Aumento de la producción. *Gran difusión de la luz.	*Precio considerable en comparación con el polietileno.
Polietileno térmico de larga duración	* Invernaderos	*Duración de 2 a 4 años de acuerdo con el clima. *Protección térmica. *Escasa posibilidades de inversión térmica.	*Precio alto en comparación con el PE normal. *Necesidad de mayor ventilación.

Fuente: Papaseit, 1997.

#### **2.2.4 Material de cubierta y luz**

La importancia de la radiación solar en un invernadero puede juzgarse desde dos puntos de vista: por un lado, ésta constituye la principal fuente de energía para la formación del efecto invernadero y por otro, es la principal fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la fracción de la radiación solar que es útil para el proceso de la fotosíntesis es designada como radiación fotosintéticamente activa (PAR), ésta corresponde a lo que es llamado luz, fenómeno que es perceptible por el ojo humano y que comprende el espectro electromagnético de longitud de onda entre 400 nm y 700 nm (Giacomelli, 1998; Castilla, 2001).

Las consideraciones de la radiación solar en los invernaderos son importantes para la productividad de un cultivo, por lo tanto, es necesario analizar los factores que pueden modificar la calidad y la cantidad de la radiación que llega a las plantas, el objetivo de la cubierta transparente de los invernaderos es proporcionar una transmisión de energía solar tan grande como sea posible hacia el interior. Los valores determinados bajo condiciones ideales de laboratorio proporcionan un indicador potencial de transmisión de radiación, pero en campo presentan valores diferentes, debido distintos factores incontrolables que se presentan (Wang y Boulard, 2000), así como a los procedimientos de medición que se involucran y al uso de sensores electrónicos. Cuando lo anterior no es posible, el desempeño de la cubierta se intuye comparando la respuesta de la planta, a veces con apreciaciones a simple vista, representando cada uno cierto nivel de costo así como de precisión (Giacomelli, 1998).

El parámetro que indica el comportamiento de un invernadero respecto a la radiación solar es la transmitancia o eficiencia térmica (Zabeltitz, 1998; Giacomelli, 1998; Boulard y Wang, 2000), la cual es definida como la relación entre la intensidad de la radiación transmitida debajo de la superficie de la cubierta dentro de un determinado ancho de banda y la radiación incidente sobre la superficie dentro del mismo ancho de banda (Zabeltitz, 1998). Se ha observado que dicha capacidad está en función de parámetros tales como: condiciones climáticas (nubosidad), posición del sol en el cielo, la geometría de la cubierta

del invernadero, su orientación respecto a los ejes cardinales (Norte-Sur, Este-Oeste), características radiométricas del tipo de cubierta, estado de limpieza, condensación de agua en su superficie y la cantidad de elementos estructurales que provocan sombreo (Bot, 1983; Hernández *et al.*, 2003). Es de esperarse que estos parámetros difieran dependiendo de la situación geográfica, tipo y manejo del invernadero, sin embargo, la información que de ello se tiene es escasa (Hernández *et al.*, 2003), más aún si se consideran invernaderos de baja tecnología (Giacomelli, 1998). A eso hay que asociar que las propiedades del material ya están definidos por el fabricante y el parámetro que interesa en su transmisividad en la mayoría de los plásticos para invernadero oscila entre 0.8 a 0.9 W/m<sup>2</sup>K.

En cuanto al ángulo de incidencia, la transmitancia a la radiación solar directa es mayor cuando más perpendicular incida sobre la cubierta del invernadero (Bot, 1983). Duncan *et al.* (1981) detectaron que para ángulos de inclinación entre 0° y 45° la transmitancia decrece mínimamente, pero que en ángulos mayores a 60° decrece significativamente.

### **2.2.5. Monitoreo ambiental**

En México, la automatización en invernaderos se traduce en la compra de tecnología extranjera cuyo costo es elevado para el promedio de los productores del país, por lo que la mayoría de ellos, optan por invertir en la infraestructura propia del mismo pero dejan a un lado el uso de la tecnología para monitorear y controlar el clima dentro del invernadero, esto genera como resultado una menor cantidad y calidad de la producción a la esperada. La tecnología para controlar y monitorear un invernadero se basa en el uso de sensores, en algunos casos es necesaria la utilización de un software especializado para interpretar y almacenar las señales del sensor, cabe destacar que el costo de las licencias de software para operar los programas también es elevado, en el campo de la automatización se ha generado también una dependencia tecnológica por el nulo desarrollo de equipos nacionales. Si bien es cierto que la gran mayoría de los invernaderos mexicanos carecen de sistemas de control automático, también es cierto que la tendencia es a incrementar su uso, por los beneficios que estos representan en el sistema de producción (Oziel *et al.*, 2014).

### **2.2.6. El clima**

El ambiente, para el desarrollo de los cultivos protegidos, está constituido por todos los factores y elementos climáticos; la energía luminosa o radiación solar, la temperatura, la humedad ambiental, los vientos, la lluvia, los gases atmosféricos, el medio de crecimiento de las raíces; conformado por suelos naturales, los sustratos naturales o artificiales y los medios líquidos; las interacciones entre los individuos que conforman el cultivo y el efecto que otros organismos; como animales, plagas, hongos, bacterias y virus, ocasionan sobre las plantas. Así mismo puede considerarse como parte del medio todas las modificaciones y prácticas desarrolladas por el hombre para manejar de la mejor manera posible los cultivos y el entorno donde se desarrollan (Hudson, 1967).

El clima en los invernaderos resulta de una compleja interacción entre las condiciones climáticas externas, características y operación del invernadero, características y manejo del cultivo (Matallana y Montero, 1995). Las variables climáticas principales que interesa controlar son las que afectan el desarrollo de las plantas: radiación solar, temperatura, humedad, y concentración de CO<sub>2</sub> (Roy *et al.*, 2002). El rendimiento máximo y calidad requieren que las variables climáticas se mantengan dentro de umbrales óptimos para el cultivo (López *et al.*, 2000).

### **2.2.7. La ventilación**

El desempeño de un invernadero en cuanto a la formación del microclima interior, depende de distintos factores, tales como el diseño (forma), las propiedades ópticas y térmicas del material de la cubierta, la orientación respecto a los ejes cardinales, las condiciones climáticas locales, así como el tipo y desarrollo del cultivo. Un invernadero modifica el clima mediante la regulación de la entrada de la energía solar y el intercambio de aire con el exterior por lo que en la producción en invernadero se distinguen dos tipos de ventilación: la natural y la forzada (Baile, 2003; Arellano *et al.*, 2011).

### 2.2.8. Ventilación natural o estática y forzada

La introducción de invernaderos con sistemas de ventilación de operación manual y sensores simples en México, ha logrado aumentos en el rendimiento del cultivo de tomate de hasta 13 kg m<sup>2</sup> (Castañeda *et al.*, 2007), aunque muy por debajo del de Holanda, donde se obtienen rendimientos de 78 kg·m<sup>2</sup> (LEIDLO, 1996).

La ventilación natural es una de las mejores y más económicas herramientas de control del clima en los invernaderos, pues la diferencia de presión sobre las aberturas es causada por los efectos del viento (Baptista *et al.*, 1999), esta interviene en los procesos de intercambio de aire entre el interior y exterior del invernadero, para reponer los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>, disminuir temperatura y humedad en su interior y en algunos cultivos, para favorecer la polinización y, por tanto, la fructificación (Boulard *et al.*, 1999; Zabeltitz, 2002). Sin embargo, el decremento en el índice de ventilación genera problemas de enfermedades y disminución en el rendimiento y calidad de los cultivos (Valera *et al.*, 1999), por lo que es necesario buscar alternativas que eviten estos efectos negativos.

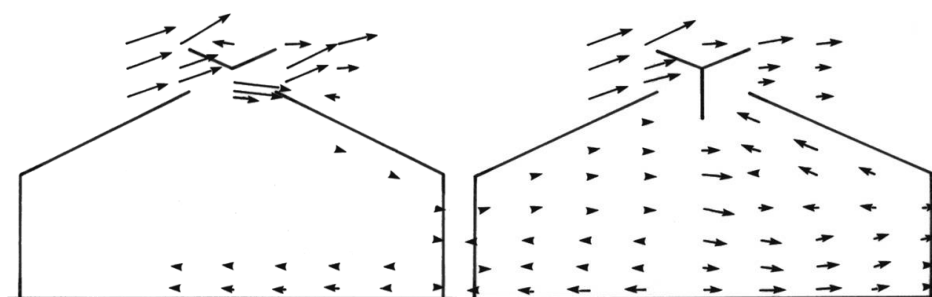
La energía para el proceso de la ventilación forzada la aportan los ventiladores (Bakker *et al.*, 1995), y se distinguen dos tipos de sistemas: uno con base en la admisión del aire y los que se basan en la extracción del aire del mismo, el principio de la ventilación forzada es crear un flujo de aire a través del invernadero, los ventiladores succionan el aire exterior al interior del invernadero, por medio de las aberturas situadas en el lado opuesto de los mismos (FAO, 2002; Zabeltitz, 2002). Los valores registrados en Inglaterra y Holanda, muestran que es necesaria una capacidad de ventilación de 40 renovaciones de aire por hora, para alcanzar condiciones deseables en un invernadero con ventilación mecánica, como el costo de electricidad es alto en Holanda, este método de ventilación es aplicado sólo en proyectos de investigación (Bakker *et al.*, 1995). En los experimentos realizados en Italia, en el periodo caluroso, se ha encontrado una eficacia pequeña de los sistemas de ventilación forzada, operando con 48 y 60 renovaciones de aire por hora, con disminuciones de 0.2 a 0.5 °C, con respecto a la ventilación natural (Tesi, 2001). Se considera que la introducción de la ventilación forzada ocasiona mayores costos de



producción y por estos motivos se han diseñado sistemas de ventilación forzada con bajas renovaciones de aire (15 y 30 renovaciones de aire por hora). Según Arellano *et al.* (2011) las diferencias entre ambos sistemas de ventilación, fue una de las causas de las diferencias en el peso de fruto resultando mejor rendimiento en el sistema natural, no obstante, se encontraron diferencias entre tratamientos, en cuanto a las ganancias económicas obtenidas, en cada uno de los sistemas de ventilación. En gran parte de México prevalecen períodos largos con clima cálido, por lo cual el uso de la ventilación natural es una alternativa para un control eficiente del clima (Del bosque *et al.*, 2012). También se recomienda combinar la ventilación cenital con la lateral, particularmente en condiciones de viento débil (Baeza *et al.*, 2006).

En comparación con la ventilación cenital, las ventanas laterales aumentan la ventilación del invernadero y son esenciales tanto en condiciones de vientos nulos o débiles (Baeza *et al.*, 2009) como en condiciones de vientos moderados (Kacira *et al.*, 2004).

Las ventanas dobles o de mariposa actúan muy bien en condiciones de vientos débiles, sin embargo, en condiciones de viento el aire externo puede pasar de un lado al otro de la ventana sin entrar en el invernadero. Por este motivo algunos autores como Nielsen (2002) recomiendan el uso de deflectores en las ventanas dobles (Figura 3), es buena solución técnica, aunque no es siempre práctica, ya que se trata de construir una pantalla vertical transparente en la cumbre de cada nave. Otra opción posible es gestionar la apertura y cierre de ventanas, esta consiste en no abrir y cerrar los dos lados, al mismo tiempo se puede abrir uno u otro lado en función de la dirección del viento, y en caso de viento muy débil se pueden abrir los dos lados para dejar escapar el aire por efecto térmico.

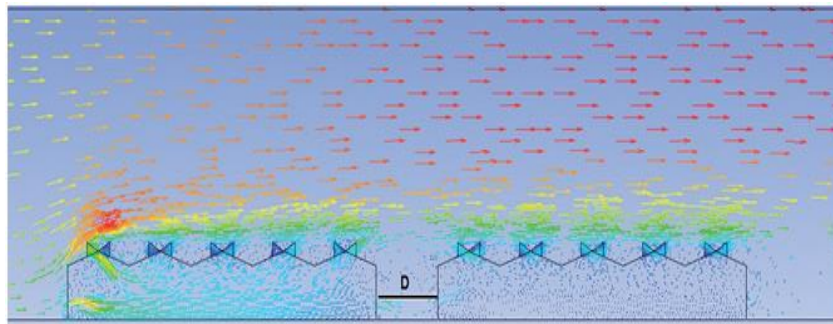


**Figura 3. Uso de deflectores en ventanas cenitales.**

Fuente: Montero, 2012.

### 2.2.9. Distancia entre invernaderos y su efecto en la ventilación

Si hay dos o más invernaderos próximos el primer invernadero que recibe el viento actúa de barrera sobre los continuos. La Figura 4 muestra el campo de velocidad del aire en el exterior e interior de dos invernaderos, las zonas de color rojo son las de mayor velocidad y las azules las de menor. El viento exterior va de izquierda a derecha, incide sobre el primer invernadero y deja al segundo en una especie de “sombra” en consecuencia la ventilación del segundo invernadero es más débil (Montero, 2012).



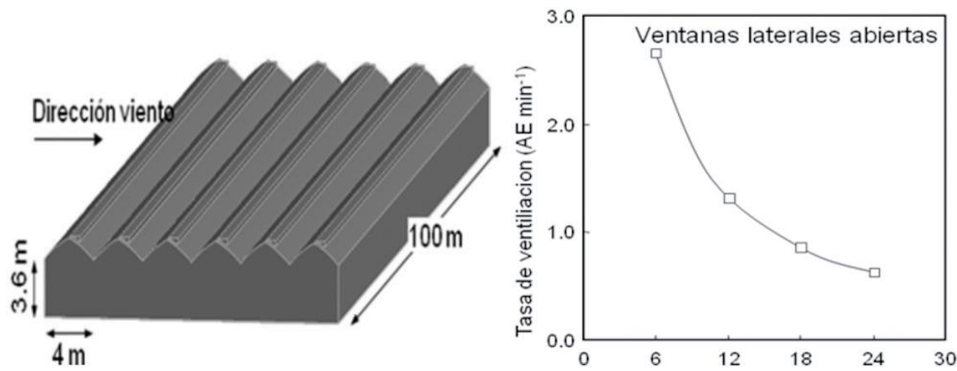
**Figura 4. Velocidad del aire en dos invernaderos.**

Fuente: Montero, 2012.

### 2.2.10. La ventilación lateral

En comparación con la ventilación cenital, las ventanas laterales aumentan considerablemente la ventilación en el interior del invernadero y son esenciales tanto en condiciones de vientos nulos, débiles y moderados (Kacira *et al.*, 2004; Baeza *et al.*, 2009).

La Figura 5 muestra la tasa de ventilación (en intercambios de aire por minuto) en función del número de naves del invernadero. Kacira *et al.* (2004) menciona que la anchura de las naves fue de 4 m, y puede verse que la tasa de ventilación disminuye con la anchura del invernadero, porque conforme aumenta el número de naves aumenta su volumen, pero la superficie de ventanas laterales es la misma en todos los casos. Aun así, incluso en invernaderos de 24 naves (96 m de ancho en este caso) la ventilación lateral tuvo más importancia que la ventilación cenital sola, además es más económico construir una ventana lateral que una cenital.



**Figura 5. Tasa de ventilación en función del número de naves.**

Fuente: Kacira, 2004.

### 2.3. Norma Mexicana para el diseño y construcción de invernaderos

En México no existía ningún reglamento o regulación que indicara funcionalmente la manera en que debería de crearse un diseño de invernaderos bajo normas técnicas, fue hasta el año 2008, que se crea la norma mexicana NMX-E-2555-CNCP-2008 invernaderos-diseño y construcción especificaciones (Greenhouses-Desing and Construction-Specifications). La norma es una especificación técnica, establecida con la cooperación y el consenso o la aprobación general de todas las partes interesadas, basada en los resultados conjuntos de la ciencia, la tecnología y la experiencia para regular las especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieren a su cumplimiento o aplicación.

Esta norma fue elaborada, aprobada y publicada bajo la responsabilidad del organismo nacional de normalización denominado Centro de Normalización y Certificación de Productos, A.C. (CNCP), por iniciativa de la Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos, A.C. (AMCI), coordinando e integrando por el Grupo Técnico de Trabajo, compuesto además por empresas formales mexicanas, por la Dirección General de Fomento a la Agricultura de la SAGARPA y por la Universidad Autónoma de Chapingo.

La Norma Mexicana para Diseño y Construcción de Invernaderos:

Permite contar con un documento técnico que reglamentará de manera adecuada los procedimientos para el diseño y construcción de invernaderos en México.

Establece información técnica básica, parámetros, definiciones, especificaciones y procedimientos tanto para fabricantes, como para personas e instituciones directamente involucradas.

Este documento es aplicable en cualquier región de México.

Establece las características de los elementos estructurales de alta resistencia que constituirán un sistema de soporte para invernaderos.

Con este documento, México se coloca a la vanguardia de la normatividad que se rige a nivel mundial.

Con este documento, se impulsa a la industria nacional, tanto proveedores de materia prima, como a los fabricantes formales de invernaderos.

Ventajas de la Normalización.

a) Para los fabricantes de Invernadero.

- Racionaliza clasificaciones, variedades y tipos de productos.
- Disminuye el volumen de existencias en almacén y los costos de producción.
- Mejora la gestión del diseño y simplifica la gestión de compras.
- Agiliza el tratamiento de los pedidos.
- Facilita la comercialización de los productos y su exportación.

b) Para los consumidores (Productores Agrícolas):

- Establece niveles de calidad y seguridad mínimos de los productos y servicios que contrata al invertir en un Invernadero, disminuyendo el riesgo.
- Informa de las características técnicas del producto.
- Facilita la comparación entre diferentes ofertas.

c) Para la Administración Pública (Gobierno Federal, Gobiernos Estatales y Municipales, FIRA, Financiera Rural, etc.):

- Simplifica la elaboración de textos legales.
- Establece políticas de calidad, medioambientales y de seguridad.
- Ayuda al desarrollo económico.
- Da mayor certidumbre a la inversión de los recursos públicos y del productor agrícola.
- Acelera el desarrollo tecnológico en el campo al disminuir el riesgo de que un invernadero se colapse por un mal diseño o mala construcción y genere una mala imagen de la tecnología, de los constructores mexicanos y del propio gobierno.

Debido a lo anterior y con el objetivo de difundir la existencia y contenido de la Norma se menciona que este documento fue elaborado por el Comité Técnico de la Norma de la Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos, A.C. (AMCI).

Última Actualización: 08 de Marzo de 2010.

## **2.4. Panorama de la horticultura protegida en México**

### **2.4.1. Proyecto estratégico de agricultura protegida**

El empleo de prácticas para la protección de cultivos contra las condiciones climatológicas adversas, que impidan el desarrollo de la agricultura como una actividad fundamental del desarrollo económico de una región, es una práctica tan antigua como las primeras civilizaciones agrícolas (China, Egipto, India, etcétera). Sin embargo, el desarrollo histórico de esta actividad ha mostrado que este tipo de agricultura ha sufrido cambios significativos

en cuanto a la concepción de producir alimentos; incluyendo además de los elementos del clima, la nutrición de los cultivos, control de plagas y enfermedades y la economía en el uso de los recursos hídricos, siendo este último de gran importancia en cuanto a la disminución del consumo y aumento de las reservas, aprovechamiento de agua de lluvia que cae sobre las cubiertas plásticas, lo que supone en algunos casos el ahorro del 50 % de las necesidades totales de agua y finalmente el uso de aguas residuales tratadas para eliminar patógenos y mezcladas con aguas de buena calidad puede suponer una alternativa en función del cultivo (Tognoni, 2003).

Los avances en la agricultura, están íntimamente relacionados con el desarrollo de la tecnología agronómica, entre los que destaca el uso de semillas mejoradas genéticamente, niveles elevados de abonos y pesticidas, mecanización, gestión del riego, infraestructura rural y gestión de las unidades de producción, lo que ha permitido incrementar en forma significativa los rendimientos y la productividad de las tierras de labor (Trueba, 2002). La agricultura, además de proporcionar alimentos, juega un papel importante en la creación de riqueza, aunque esto implica un reordenamiento de la fuerza laboral y del orden social.

Por lo antes mencionado, el gobierno federal a través de la SAGARPA implementó “El Proyecto Estratégico de Prioridad Nacional de Agricultura Protegida”, tiene el objetivo de “fomentar la agricultura protegida, como un sistema de producción alternativo, competitivo y sustentable para el desarrollo integral de la gente del campo”.

Los objetivos específicos que se busca alcanzar con el proyecto estratégico son los siguientes:

- Identificar y promover la agricultura protegida en áreas que propicien polos de desarrollo.
- Impulsar mecanismos de integración y desarrollo de los actores involucrados en la red de valor correspondiente.
- Fortalecer el desarrollo de mercados regionales estratégicos y nichos de mercado.

La población objetivo son personas físicas o morales, que de manera individual u organizada, se dediquen a actividades del sector rural en su conjunto, que deseen incorporarse o fortalecer un sistema de producción bajo agricultura protegida (SAGARPA, 2010).

Fomentar el impulso a proyectos de inversión que integren la producción a través de esquemas de red de valor denominados agrupamientos o clústeres, que agrupen a productores de diferentes capacidades de producción por superficie y nivel tecnológico, para integrarse a un nivel homogéneo y en una dinámica con visión de mercado nacional y/o de exportación.

El esquema de clúster consiste en:

- Apoyos por unidad de producción mínima de 2,500 m<sup>2</sup>
- Genera dos empleos permanentes.
- El retorno de la inversión es de 4-5 años.
- Proyectos vinculados a una superficie cubierta mínima de 5 ha.
- Economías de escala: Asesoría Técnica, insumos, ventas y empaque.

-

Especificaciones:

- Tecnología conforme a características de los solicitantes (tipo de productor, mano de obra especializada, nivel de escolaridad, etc.) y agroecológicas de cada región.

Garantizar:

- Servicios de apoyo y soporte.
- Capacitación y asistencia técnica (PAEAP, 2007).

De acuerdo con los datos aportados por la SAGARPA, los apoyos al sector social por parte del gobierno federal, entre 2001 y 2006 fueron de 925 millones de pesos, mismo que se aplicaron a 4,419 proyectos de agricultura protegida, con una superficie cubierta de más de 1,200 ha. Apoyos que en el año 2007 representaron 1.119 millones de pesos, aplicados a

1,655 proyectos, para 981 ha de agricultura protegida, entre el 2001 y el 2008 se apoyó la construcción de 2,578 ha de agricultura protegida (SAGARPA, 2009).

#### 2.4.2. Superficie protegida en México

Las primeras instalaciones comerciales se iniciaron en 1990, sin embargo, a partir del año 2000 que se dio el franco crecimiento de la industria, las mayores tasas de crecimiento se dieron durante 2004 y 2005, en los últimos años se ha presentado un ligero descenso en la velocidad de crecimiento de la industria, no obstante sigue siendo significativo (Castellanos y Borbón, 2009).

El acelerado crecimiento, así como la falta de un registro nacional, deriva en datos discrepantes sobre el total de invernaderos en México, pues existen diferentes fuentes de información tanto sociales como gubernamentales entre las principales se encuentran el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la asociación mexicana de horticultura protegida (AMPHAC) el fideicomiso de riesgo compartido FIRCO y el instituto nacional de geografía y estadística (INEGI) (Tabla 6).

**Tabla 6. Superficie con agricultura protegida en México.**

<b>Estado</b>	<b>Castellanos y Borbon 2008</b>	<b>AMHPAC 2008</b>	<b>FIRCO 2008</b>	<b>SIAP 2013</b>
<b>Superficie ha de invernaderos</b>				
Aguascalientes	35	161	54	60
Baja California	120	2,300	959	2,642
Baja California Sur	400	170	1,416	1,142
Campeche	15			43
Chiapas		65	36	221
Chihuahua	80	375	126	1,070
Coahuila	170	380	287	127
Colima	100	50	116	243
Distrito Federal	100	12		125
Durango	30	45	59	838



Guanajuato	200	100	78	534
Guerrero	5		4	437
Hidalgo	20	120	54	119
Jalisco	900	970	619	1,815
México		160	978	559
Michoacán	140	85	148	637
Morelos		45	26	111
Nayarit		40	110	65
Nuevo León	33	20	48	91
Oaxaca	70	70	26	255
Puebla	250	140	35	299
Querétaro	65	155	74	162
Quintana Roo	12	65	53	64
San Luis Potosí	260	240	179	780
Sinaloa	850	2,980	2,526	2,490
Sonora	250	890	951	1,048
Tabasco	5		2	9
Tamaulipas	20	35	76	202
Tlaxcala	15	45		45
Veracruz	25	110	14	
Yucatán	35	10	28	30
Zacatecas	200	150	216	305
total	4,405	9,948	9,298	16,568

Fuente: Castellanos y Borbón, 2008; AMHPAC, 2008; FIRCO, 2008; SIAP, 2013.

Castellanos y Borbón (2009) mencionan que la superficie de invernaderos, incluidas las casas sombra, asciende a 8,934 ha; esta cifra no contempla la superficie de invernaderos con ornamentales ni los macrotúneles, cuya superficie puede ser del orden de 550 y 2,000 ha, respectivamente, con un crecimiento significativo sólo en los últimos seis años, sobresaliendo Sinaloa, Baja California, Sonora y Jalisco con una superficie de 6,610 ha que representan el 74 % de la superficie protegida en el país.

INEGI (2009) menciona que en México existen 12,540 ha (Tabla 7) cifra mayor a lo mencionado por Castellanos y Borbón (2009) para el mismo año.

**Tabla 7. Unidades de producción en México.**

<b>Entidad federativa</b>	<b>Unidades de producción</b>	<b>Superficie del invernadero (Hectáreas)</b>	<b>Invernaderos que reportan tener venta</b>
Estados Unidos Mexicanos	18,127	12 540,07	7,857
México	5,034	1 868,74	2,911
Chiapas	1,187	882,91	702
Michoacán de Ocampo	946	860,94	437
Puebla	2,309	835,30	827
Sinaloa	351	783,79	49
Sonora	138	773,94	54
Jalisco	629	765,67	227
Oaxaca	1,074	572,70	277
Veracruz Llave	795	525,69	234
Zacatecas	395	508,99	67
Guanajuato	540	355,25	183
Hidalgo	862	340,65	423
San Luis Potosí	233	313,82	62
Tlaxcala	429	308,45	182
Chihuahua	386	302,16	59
Guerrero	326	298,65	55
Baja California	117	284,15	35
Morelos	507	250,53	310
Baja California Sur	90	235,58	16
Tabasco	104	224,83	8
Durango	206	187,59	34
Tamaulipas	53	173,93	6
Nayarit	244	164,63	71
Coahuila de Zaragoza	72	120,21	13
Querétaro	197	118,71	70
Distrito Federal	509	98,37	432
Nuevo León	106	95,53	26
Aguascalientes	101	93,15	37
Colima	56	91,04	15
Yucatán	71	74,40	23
Campeche	34	20,17	5
Quintana Roo	26	9,58	7

Fuente: INEGI, 2009.

Sánchez (2010) indica que en México se siembran cerca de 15,000 ha, donde se cultiva principalmente jitomate, pepino, pimiento, fresas, flores como crisantemos, rosas, claveles y alstroemeria, incluyendo los estados de Puebla, Oaxaca, México, Michoacán y Morelos.

SIAP (2013) muestra que en 2013 la superficie cubierta por invernaderos es de 16,373 ha, el estado con mayor superficie cubierta es Sinaloa con 2,642, seguido de Baja California con 2,490.

Los datos antes mencionados se deben tomar con todas las reservas del caso, debido a que los resultados de los estados inventariados difieren en algunos casos en forma drástica, siendo que la toma de información es para años relativamente cercanos.

### **2.4.3. Vulnerabilidad de la agricultura protegida**

De acuerdo con Gomme (1998) la vulnerabilidad o el grado al que un sistema es susceptible de enfrentarse a los efectos negativos del cambio climático está en función del carácter, magnitud y rapidez de dicho cambio y de la variación a la que un sistema está expuesto. La vulnerabilidad tiende a ser mayor ante fenómenos poco frecuentes y de gran intensidad, el riesgo es mayor ante agentes perturbadores de intensidad y frecuencias medias, ya que los fenómenos de alta intensidad tienden a ser excepcionales y los de baja intensidad tienden a ser muy frecuentes y tolerados. Tomando como ejemplo el tomate, por ser éste el de mayor importancia en los invernaderos en México, los estados con mayor o menor riesgo en este cultivo se señalan en la tabla 8. La información no considera el factor de riesgo (clima, vocación agroecológica, mercado, etc.), no obstante, es necesario priorizar los estados que están en los rangos de 41 a 50 y 51 a 61 % y posteriormente a los de menores pérdidas potenciales pero de alta recurrencia.

La metodología de Gomme (1998) considera el origen ambiental de las pérdidas, la cual es igual a la correlación entre pérdidas en producción y en rendimiento, supone que en cada periodo de 7 años, el máximo rendimiento ocurrió cuando las condiciones ambientales fueron mejores y las pérdidas relativas en rendimiento expresan, condiciones climáticas menos favorables; mientras mayor sea la correlación entre las pérdidas relativas en la producción y en el rendimiento, mayor es el componente climático de tales pérdidas. Sin embargo, existen entidades cuyas correlaciones y prueba de significancia de las mismas son bajas, como en Coahuila, Sonora y Tamaulipas en los cuales el tomate se cultiva con

sistemas de riego en primavera-verano. Es decir, no están sujetos a pérdidas ni por sequía ni por heladas normales o granizadas, porque de alguna forma tienen un sistema artificial de producción por efecto del clima (Moreno *et al.*, 2011).

**Tabla 8. Estados con mayor presencia de fenómenos climáticos.**

Estado	%H*	Llt**	G***	He****
Baja California				
Baja California Sur				
Campeche				
Chihuahua				
Coahuila				
Durango				
Distrito Federal				
Guanajuato				
Hidalgo				
México				
Michoacán				
Nuevo León				
Puebla				
Quintana Roo				
San Luis P.				
Sinaloa				
Sonora				
Tamaulipas				
Tlaxcala				
Yucatán				
Zacatecas				

\* Porcentaje de humedad < 30 % de CC; \*\* Lluvias torrenciales; \*\*\* Granizadas; \*\*\*\* Heladas. Fuente: SAGARPA-UAAAN. Eval. Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (PIASRE, 2004).

La vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios ante el mercado, es igualmente perniciosa, se afirma incluso que es ésta la que destruye, no las contingencias climatológicas (Nelson, 1999). La competencia de algunos países, regiones o entidades se basan en las ventajas comparativas en tanto que otros lo hacen en las ventajas competitivas, la agricultura protegida puede ser una estrategia que contribuya a crear estas últimas, pero para ello es necesario involucrar no sólo a los productores, sino a los gobiernos estatales, así como a

proveedores y a comercializadores, lo que permitirá hacer frente a las vulnerabilidades que plantea el mercado y su competencia (Moreno *et al.*, 2011).

#### 2.4.4. Abandono y fracaso de invernaderos

Uno de los principales factores de la discrepancia en el inventario de los invernaderos, es el abandono de estos, García *et al.* (2011) menciona que existen cuatro razones principales para el abandono, falta de mercado, superficie, acceso a créditos y de conocimiento sobre agricultura protegida. En la Tabla 9 se presentan los datos sobre invernaderos fuera de operación emitidos por dependencias gubernamentales, no obstante las no gubernamentales presentan distintos datos, en el país, Imagenagropecuaria (2007) informa que fracasó 50 % de invernaderos impulsados por gobierno federal, 2000agro (2010) 60 % de los invernaderos hidropónicos Eluniversal (2013) hace referencia a que 70 % de los de invernaderos en el país, que son subsidiados por el estado se encuentran abandonados por falta de asesoría, capacitación técnica y seguimiento, pues no hay personal adecuado para atender cerca 20 mil ha de unidades de producción.

**Tabla 9. Porcentaje de unidades de producción fuera de operación.**

<b>Estado</b>	<b>Unidades de producción</b>	<b>% fuera de operación</b>
Baja California	243	7 %
Baja California S.	86	26 %
Chihuahua	147	3 %
Coahuila	73	19 %
Durango	170	10 %
Guanajuato	485	18 %
Jalisco	526	5 %
México	1,421	1 %
Michoacán	583	1 %
Nuevo León	220	21 %
Puebla	1,219	15 %
San Luis Potosí	401	17 %
Sonora	101	0 %
Sinaloa	154	2 %
Zacatecas	298	7 %

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2008.

El abandono y fracaso en los estados es informado por Argonmexico (2012) en Tlaxcala, Elmundodetehuacan (2013) en Tehuacán, Puebla con al menos el 50 %, 2000agro (2013), en el sur de Coahuila, Xeoradio (2014) en Oaxaca con 30 % y Elbueno (2014) en municipios de la Sierra de Zongolica en el estado de Veracruz con abandono de 95 %.

No obstante, FIRA (2010) menciona casos de éxito en empresas como Sansekan Tinemi, en el estado de Guerrero, la integradora hortícola Bin Daan empresa de los valles centrales del estado de Oaxaca, la empresa desarrollo regional de agricultura protegida en el estado de Puebla, Desert Glory que cuenta con más de 400 ha de invernaderos mismas que se ubican en Colima, Jalisco y Nayarit, para la producción de diferentes tipos de jitomate cherry de exportación, esta catalogadas como una de las más grande del mundo, el rancho los pinos en San Quintín, Baja California con más de 300 ha de casas de mallas sombra. Así mismo, en México, se han construido algunos de los invernaderos con las mayores superficies bajo una sola cubierta, entre los que destacan los invernaderos de Santa Rita en Río Verde, San Luis Potosí que cuentan con ocho módulos de cinco ha cada uno bajo una misma cubierta de plástico. Al igual que la empresa Bionatur, con módulos de diez ha bajo una sola unidad de manejo, ubicadas en Pastaje, estado de México (Bastida, 2006).

## **2.5. Producción en invernadero en México**

De acuerdo con los datos del censo agropecuario, la superficie de cultivo representa 15.4 % del territorio nacional. Esto es, de las 196 millones de ha con que México cuenta, únicamente 30 millones se destinan a la producción agrícola y de esta superficie, solo 12,540 ha de agricultura protegida (FIRA, 2010), los cuales están dedicados a la producción de hortalizas, plantas ornamentales y frutillas.

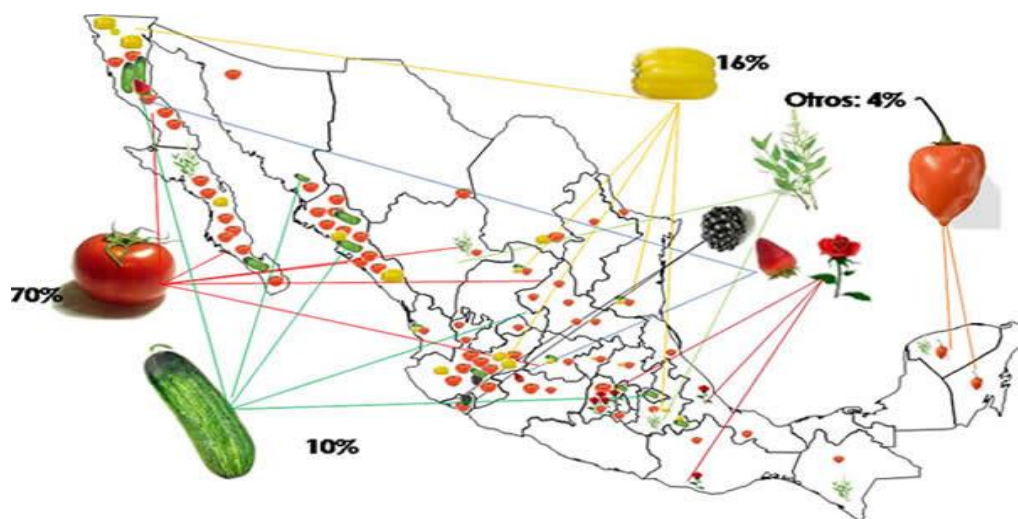
### **2.5.1. Principales cultivos producidos bajo invernaderos**

La horticultura protegida se encuentra ampliamente extendida por todo el país y abarca una gran diversidad de cultivos. El 60 % del área se concentra en 5 estados principales: Sinaloa, Baja California, Baja California Sur, Jalisco y México. El mayor ritmo de crecimiento se da

en Sinaloa, Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Querétaro, este último es importante porque alberga el primer “Agroparque”.

En México, el cultivo del pepino, el pimiento y la berenjena gana terreno rápidamente así como el de las bayas o frutas blandas (fresón, frambuesa, zarzamora, arándano) los estados México y Morelos son los más importantes en lo que respecta al cultivo de flores y planta ornamental respectivamente, aunque puedan encontrarse ornamentales por todo el país, no obstante el tomate es la principal hortaliza cultivada en condiciones de invernadero (Figura 6).

SAGARPA (2012) menciona que los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son el jitomate (70 %), pimiento (16 %), pepino (10 %). En los últimos años se ha intensificado la diversificación de cultivos como la papaya, fresa, chile habanero, flores, plantas aromáticas.



**Figura 6. Cultivos en agricultura protegida.**

Fuente: SAGARPA 2012.

## 2.6. Importancia del tomate

El tomate es una solanácea de gran importancia económica en el mundo (Kinet y Peet, 1997). Es uno de los cultivos que se producen en condiciones de horticultura protegida, con

la finalidad de obtener productos con alta calidad y seguridad alimenticia, atributos que cada vez son más importantes para el consumidor, no solamente en mercados de exportación, sino también para los nacionales (Baudoin, 1999). Además, bajo esas condiciones existe la posibilidad de lograr una mayor producción por unidad de superficie en comparación con el sistema a campo abierto y, de vender los productos con un sobreprecio, tendientes a recuperar los altos costos de inversión de la producción (Castellanos y Muñoz, 2003).

En México, el cultivo del tomate tiene importancia no sólo como generador de divisas, sino también por la elevada derrama económica que genera; además, proporciona mano de obra a una gran cantidad de trabajadores estacionales del campo, crea y fomenta el empleo de otras ramas de la actividad económica, como el transporte, y empresas que se dedican a la venta de insumos (Mariano *et al.*, 1998).

De acuerdo al SIAP-SAGARPA en el periodo 2007-2010, México produjo en promedio, 2.25 millones de toneladas anuales de jitomate con un valor de la producción en 2010 de 14,887 millones de pesos; la superficie sembrada promedio fue de 60,000 ha que representa 10.6 % del total de la superficie nacional de hortalizas. Los principales estados productores de acuerdo a su orden de importancia son: Sinaloa, Baja California, Michoacán, Jalisco y San Luis Potosí.

La producción de tomate en invernadero tiene un rendimiento medio de 156 kg ha<sup>-1</sup>, (Cook y Calvin, 2005), es el cultivo con mayor producción en invernadero, con el 70 % de la superficie, del cual el 90 % se produce en suelo (Steta, 2004), para reducir costos de producción.

### **2.6.1. Generalidades del tomate**

La semilla es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forma una yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable (Castellanos, 2008).



La planta presenta una raíz principal pivotante que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Sin embargo, este sistema radical puede ser modificado por las prácticas culturales, de tal forma que cuando la planta procede de un trasplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal (Rodríguez *et al.*, 2001), donde las raíces laterales y adventicias crecen tanto como la principal (Curtís, 1996).

El sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad, y se estima que un 75 % del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm superiores del terreno (Rodríguez *et al.*, 2001).

El tallo presenta ramificación dicotómica, es epigeo, erguido con 0.4 a 2 m de altura, cilíndrico cuando joven y posteriormente anguloso, de consistencia herbácea a algo leñosa, con pubescencias, con duración anual. La ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en el crecimiento vertical; en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma una nueva rama y en consecuencia, el crecimiento vertical no se limita desde un punto de vista de la morfología de la planta (Garza, 1985).

Las hojas son compuestas, insertadas sobre los diversos nudos y alternadas. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos, están provistas de glándulas secretoras de una sustancia aromática (Rodríguez *et al.*, 2001). Los bordes de las hojas son dentados, presenta un haz de color verde y el envés de color grisáceo. La disposición de nervaduras en los foliolos es penninervia (Garza, 1985).

La flor forma inflorescencias de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; puede llegar hasta 50 flores por inflorescencia. La flor se conforma por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola, con las anteras que forman un tubo. El gineceo

presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán lugar a los lóculos o celdas del fruto aromáticas (Rodríguez *et al.*, 2001).

El fruto en una baya que puede tener un color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redonda, achatada, o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada, con tamaños variables según la variedad. En sección transversal se aprecian en el tomate la piel, la pulpa firme, el tejido placentario y la pulpa gelatinosa que envuelve a las semillas (Rodríguez *et al.*, 2001). El fruto está unido a la planta por un pedicelo con un engrosamiento articulado que contiene la cepa de abscisión. Por lo que la separación del fruto en la cosecha puede realizarse por la zona de abscisión o por la zona peduncular del fruto. En las variedades industriales la presencia de parte del pedicelo es indeseable, por lo que son preferibles los cultivares que se separan fácilmente por la zona peduncular (Nuez, 2001). Según este mismo autor la estructura del fruto adulto básicamente está constituida por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

## **2.7. Sistemas de producción en el cultivo de tomate**

En la industria mexicana de horticultura protegida se estima que 80 % de la producción hortícola bajo cubiertas plásticas se lleva a cabo en suelo el restante en hidroponía (Castellanos, 2004).

Las ventajas del cultivo en suelo son: amortigua interrupciones temporales de agua y nutrimentos, sin afectar seriamente su desarrollo, e incrementa la eficiencia en el uso de nutrimentos y agua (Villareal *et al.*, 2002), comparado con el uso de sustrato que requiere de 20 a 30 % más de riego para evitar acumulación de sales en el medio de cultivo (Papadopoulos, 1991), lo que significa pérdida de agua y nutrimentos.

Una desventaja importante del cultivo en suelo es la presencia de enfermedades, debido a que el agricultor repite año tras año los mismos cultivos en el mismo terreno, actualmente, hay un renovado interés en la producción en suelo y tiene que ver con el reciente

surgimiento de la técnica de injerto en hortalizas que se está imponiendo en el mundo bajo condiciones protegidas, como una estrategia para enfrentar las enfermedades provenientes del suelo (Camacho y Tello, 2006), así, las enfermedades pasan a ser un problema de menor relevancia y el cultivo en suelo es una posibilidad atractiva.

En la actualidad, en México es común el cultivo de ornamentales y hortalizas en suelos naturales y suelos modificados a los que se les agrega arena, materia orgánica y otros materiales inertes u orgánicos para mejorar el drenaje y otras características físicas o químicas de los mismos. En estos casos no siempre se tiene un control completo del proceso de fertilización y nutrición de las plantas (Cadahía, 1998).

Estudios realizados empleando el suelo y el uso de fertirrigación muestran resultados de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a campo abierto de 59 a 61.2 t ha<sup>-1</sup> (Alcántar *et al.*, 1999; Villareal *et al.*, 2002), mientras que en invernadero la producción es de 192 a 262 t ha<sup>-1</sup> (Grijalva *et al.*, 2004) de frutos comerciales, si las condiciones de fertilidad y fitosanidad del suelo lo permiten.

En España, en las principales zonas productoras existe una tendencia hacia la disminución en los precios, lo que explica que las modificaciones tecnológicas importantes, como el cultivo en sustrato, se estén implantando lentamente, incluso llegando a un cierto estancamiento. Así, desde el año 2000 en Almería la superficie en sustrato no supera el 20 % (Molina *et al.*, 2003; Fernández y Pérez, 2004).

### **2.7.1. Suelo con acolchado plástico**

Es una técnica cuya principal función es cubrir el suelo para proporcionar mejores condiciones de desarrollo para las raíces y lograr cambios del medio favorables a los cultivos, con estos aspectos básicos se han logrado rendimientos de importancia en la producción agrícola. Se trata de una técnica muy antigua con origen en diversas partes del mundo, incluido México, que consistía en aplicar una cubierta para impedir el desarrollo de

las malezas, proteger el suelo de las bajas temperaturas y evitar la evaporación de la humedad. (Bastida, 2008).

El acolchado en suelos se emplea a campo abierto o bajo invernaderos y otras estructuras protectoras de cultivos, consiste en cubrir los surcos o camas de crecimiento, con películas de plásticos de diferentes colores, de acuerdo con el objetivo particular en cada caso, con la finalidad de modificar el micro clima del suelo y del aire superficial. Con ello se crea un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas, incrementando los rendimientos y mejorando la calidad de las cosechas (Ramírez, 1996).

Son varios los cultivos en los que se aplican acolchados con películas de plástico pues presenta ventajas como: 1) incrementar la temperatura del suelo y reducir fluctuaciones de la misma, 2) ayudar a reducir la evaporación del agua del suelo, 3) evitar el contacto de los frutos con la tierra, 4) disminuir el consumo de agua, 5) disminuir labores culturales, 6) reduce la erosión hídrica y eólica, 7) evitar el desarrollo de malezas, 8) elevar la eficacia de los fertilizantes, 9) incrementa la eficacia de la fumigación del suelo al retener gases, 10) ayudar a reducir la incidencia de plagas y enfermedades, 11) promover el desarrollo de las raíces, 12) disminuir problemas de compactación de los suelos, 13) promover la actividad de los micro organismos del suelo, y 14) ayudar a conservar la estructura del suelo. Respecto a efectos que se obtienen con diferentes tipos de plásticos, no hay un solo material que logre todos los efectos anteriores por si solo (Ramírez 1996; Papaseit, 1997; Gómez, 2002).

Las principales desventajas de la producción agrícola bajo el sistema de acolchados se tienen las siguientes: a) el sistema es más caro que los cultivos sin acolchar, b) se requiere equipo especial para instalarlos y mayores conocimiento para su manejo, con relación a los necesarios para realizar agricultura convencional, c) los plásticos deben retirarse cuando termina el ciclo agrícola y d) si no se retiran o recogen los plásticos aumentan la contaminación ambiental (Bastida, 2008).

La duración de la mayoría de los plásticos para acolchados es de un año, recientemente se han empezado a introducir los filmes de polietileno fotodegradables con espesores de 0.02 mm con una duración diferenciada según los cultivos; esta innovación evita las operaciones de recuperación de los plásticos con notable ahorro de trabajo y con menos problemas de contaminación ambiental (Tesi, 2001).

### **2.7.2. Cultivo sin suelo**

Por cultivo sin suelo, se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato inerte con adición de solución nutritiva (Baixauli y Aguilar, 2002).

La terminología utilizada para este sistema, es diversa, aunque originalmente la denominación es la de cultivos hidropónicos (trabajo en agua), es una tecnología para el cultivo de plantas en soluciones nutritivas (agua conteniendo fertilizantes) con o sin el uso de un medio para proveer soporte mecánico, se clasifica como sistemas abiertos (donde el exceso de solución nutritiva aplicado al cultivo se pierde y no se recupera) o cerrados (el exceso de solución es recuperado, repuesto y reciclado (Jensen, 1997).

Comparativamente con el cultivo en suelo, el interés por la producción en condiciones protegidas bajo invernadero e hidroponía, obedece fundamentalmente a los altos rendimientos que se pueden obtener por unidad de superficie y mejor calidad de los productos generados protegiéndolos de factores externos como el clima y el ataque de insectos, esto se logra porque se brindan condiciones para una mayor expresión del potencial productivo debido a un mayor control de los factores que intervienen en la producción, dentro de los cuales se encuentran, el balance de oxígeno, agua y nutrimentos, ausencia de malas hierbas, control de pH. Permite mayores densidades de población, mayor precocidad de los cultivos, mayor ahorro de agua y fertilizantes, posibilidad de usar aguas duras y/o relativamente salinas, posibilidad de obtener varios ciclos de cultivo al año en especies anuales, entre otras (San Martín, 2011).

Los cultivos hidropónicos se agrupan en tres categorías:

- Cultivo en solución. Sistema en el que las raíces se encuentran sumergidas total o parcialmente en la solución que tiene los elementos nutritivos. En esta categoría se encuentra la técnica de la película nutritiva (del inglés NFT) en la cual se mantiene una lámina delgada de solución en constante circulación pasando a través de las raíces para que estas tomen agua, nutrimentos y oxígeno.
- Cultivo en piedra volcánica. Sistema que utiliza como sustrato a distintas piedras volcánicas (gravas) comunes y diferente granulometría, tales como el tezontle, piedra pómez, ladrillo quebrado, etc.
- Cultivo en agregado. Son aquellos sistemas que utilizan sustratos de partículas < 3 mm de diámetro con propiedades de retención de humedad y aireación a la raíz, empleando perlita, vermiculita, turba de pantanos, lana de roca, espumas sintéticas, arenas, aserrín, entre otras, siendo la forma de hidroponía más practicada a escala mundial. (Sánchez, 2002).

El cultivo en hidroponía consta de los componentes: plantas, solución nutritiva, contenedores sistema de riego y sustratos (Sánchez y Escalante, 1988).

El termino sustrato, refiere a materiales sólidos, distintos de los suelos naturales, minerales u orgánicos, que colocados en un contenedor, en forma pura o mezclada, permiten el anclaje del sistema radical para el soporte de la planta puede ser de material químicamente inerte o activo, que puede o no aportar nutrientes al complejo proceso de la nutrición de las plantas (Abad *et al.*, 2004).

Los materiales empleados como sustratos deben reunir un conjunto de características físicas y químicas que los hagan aptos para el desarrollo de los cultivos. Las principales características que deben reunir los sustratos son:

- 1) Alta capacidad de retención de humedad y nutrientes
- 2) Circulación eficiente del aire
- 3) Buen drenaje
- 4) Apropiada distribución de partículas
- 5) Baja densidad y alta porosidad
- 6) Buena estabilidad física
- 7) Uniformidad y homogeneidad en tamaño y características
- 8) Capacidad de intercambio catiónico
- 9) pH apropiado
- 10) Libre de enfermedades, malezas, plagas y sustancias tóxicas
- 11) Disponibilidad y bajo costo

La producción de plantas en contenedores, no siempre se utiliza materiales únicos como sustratos debido a que difícilmente satisfacen las necesidades hídricas del cultivo tales como aireación, retención de agua o fertilidad (Ansorena, 1994; Cadahía, 1998; Anicua, 2008).

Conviene destacar que con el cultivo en sustrato la exigencia en inversiones es más elevada, y aunque se eleva la calidad también el costo unitario es mayor (Caballero y Fernández, 2006).

### **2.7.3. Sustratos utilizados en la producción de tomate**

El uso de sustratos inertes se ha venido implantando en la producción de tomate en invernadero, con rendimientos hasta de 330 t ha<sup>-1</sup> (Hao y Papadoupulos, 2002), pero también hay pérdidas importantes de agua y nutrimentos por efecto del drenaje (Papadopoulos, 1991). La creciente demanda de sustratos de buena calidad se debe a que son un factor clave en los sistemas de producción de horticultura protegida (Vargas *et al.*, 2008).

En México, la roca volcánica conocida como tezontle es ampliamente utilizado como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo (Gómez, 2003; Vargas *et al.*, 2008; Ojodeagua *et al.*, 2008, Pineda, 2011; San Martín *et al.*, 2012).

De la misma forma, se utilizan materiales orgánicos derivados del sector agropecuario y de otros sectores, para lo cual puede o no sufrir un proceso de tratamiento, tal como el vermicompost. Este producto generado a partir de diversos estiércoles, ha dado resultados favorables sobre el crecimiento y rendimiento de diversas especies (Azarmi *et al.*, 2008; Herrera *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2008; Azarmi *et al.*, 2009), pues posee propiedades físicas, químicas y biológicas que mejoran el medio de crecimiento y aporta nutrimentos (Zaller, 2007). Sin embargo, el vermicompost por si solo es difícil que cumpla con las condiciones adecuadas para el buen desarrollo de las plantas, motivo por el cual es necesario hacer mezclas con otros materiales, como lo menciona Ortega *et al.* (2010) al hacer mezclas con aserrín el volumen 1:1 en la producción de tomate.

De la misma forma, pero en proporción menor se utilizan compostas y fibra de coco (Moreno *et al.*, 2005; Márquez *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2008), no obstante existes diferentes sustratos en México que pueden ser utilizados en la producción en invernadero (Tabla 10).

**Tabla 10. Principales materiales para sustratos disponibles en México.**

Orgánicos	Sustratos	
	Inorgánicos minerales	Industriales
Tierra lama, azolve de presas y canales	Arena de rio, mina, tezontle, volcánica	Vermiculita Perlita Agrolita
suelos de migajón, hoja de encino	Arena de playa y dunas	Lana de roca
Tierra de monte (ando soles)	Arena de dunas	Poliestireno (unicel)
Tierra de hoja de pino	Carbón mineral	Espumas sintéticas (poliuretano)
Tierra de hoja de bosque	Grava de rio y mina	Residuos de fibras sintéticas
Tierra de hoja de oyamel	Grava de tezontle negro	Arcilla expandida
Corteza de árboles	Grava de tezontle rojo	Arcilla calcinada
Musgo y líquenes	Grava de piedra triturada	Geles
Aserrín y viruta	Suelos arenosos y tepetate	Carbón activado
Escombros de minería (jales)	Piedra pómez, tepojal o cacahuatillo	



Restos de poda de árboles	Zeolita	Fibra de vidrio
Estiércoles		Escorias de fundición
Cáscara de cacao		Ladrillo y teja
Pulpa y cascarilla de café		triturados
Restos de magueyes		
Paja de trigo, avena y cebada		
arroz sorgo		
Cascarilla de cacahuete, nuez		
Compost de Champiñones		
Rastrojo de caña de azúcar, maíz		
y frijol		
Bagazo, cachaza de caña, maguey		
y henequén		
Lombricompostas		

---

Fuente: Bastida, 2002.

#### 2.7.4. El uso de agua

La situación en el uso del agua refleja una seria preocupación por el alto desperdicio que se presenta en los diferentes sectores económicos y sociales, consumidores del recurso. El 77 % del recurso concesionado se consume en la agricultura; el 14 % es de uso doméstico y el 9 % restante es de uso industrial; con un desperdicio del 50 % del agua que se consume en los tres sectores. Un análisis general en el consumo de agua en la agricultura, permite concluir que al pasar del riego rodado al riego por compuertas se podría regar el doble de superficie; si se usará riego por aspersión la superficie regada sería del orden de cuatro ha y con sistemas de goteo la superficie regada sería de seis ha (Morales *et al.*, 2008).

Las pérdidas de agua para la agricultura de riego en el país, son del orden del 40 al 75 %, lo que se debe fundamentalmente a la evaporación y conducción en canales largos y no revestidos, azolve de presas y canales, y salinización de suelos, entre otros. El uso del agua debe enfocarse a un uso más eficiente, en términos de la eficiencia transpirativa de las plantas, lo cual está asociado a la estructura genética de la especie y condicionado por el manejo agronómico del cultivo (Castellón, 2011). En la Tabla 11, se presentan valores de consumo de agua para producir un kg de materia seca de diferentes especies.

Para el caso del tomate, se han evaluado diferentes sistemas de producción en cuanto al uso eficiente del agua, logrando cambios significativos en Israel y Almería. En España, a campo abierto se ha logrado producir un kg de producto con 60 L de agua; en plásticos sin calefacción (Almería) la eficiencia se ha incrementado con un consumo de 40 L de agua; mientras que con cristal sin calefacción (Israel) se ha logrado producir un kg de materia seca con 30 L de agua, en cambio en Holanda, en invernaderos de cristal con control climático y aplicación de CO<sub>2</sub> se utilizan 22 L de agua, y el mismo sistema, pero con reutilización del drenaje la eficiencia permite el uso de 15 L de agua por kg de producto (Stanghellini, 2003).

La aplicación de agua en invernadero se basa en programas de riego fijo (cantidades de agua) a diferentes frecuencias durante el día (Ouma, 2007) y en distintos sustratos (Levy y Tylor, 2003), mediante equipos automatizados de fertirriego (Radin *et al.*, 2004). Generalmente, la demanda hídrica del cultivo se estima utilizando la evapotranspiración (Fernández *et al.*, 1995) y radiación diaria o el volumen de lixiviados (Casanova *et al.*, 2009); además de, la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo (Cadahía, 2005), condiciones específicas para el lugar donde se está cultivando.

**Tabla 11. Consumo de agua de diferentes especies para producir un kg de materia seca.**

<b>Especie</b>	<b>Consumo de agua por kg de materia seca (l)</b>
Papa	500
Trigo	900
Sorgo	1100
Maíz	1400
Arroz	1900
Soya	2000
Jitomate (cielo abierto)	1000

Fuente: Stanguellini, 2003.

El uso del agua para la agricultura protegida, está íntimamente relacionada con el concepto de fertirrigación, a través del parámetro de calidad, lo que engloba aspectos químicos como concentración de sales disueltas (CE), presencia relativa de sodio (RAS), contenido de carbonatos y bicarbonatos (lo que condiciona el pH), concentración de cloro, boro, hierro y

manganeso. De igual manera, el agua de riego puede contener nutrimentos como calcio, magnesio y sulfatos; lo que determina el balance final en la aplicación de fertilizantes para la preparación de la solución nutritiva. Estos parámetros son de utilidad para determinar el uso del agua para la agricultura, agua de buena calidad debe contener ente 0.7 y 1.5 dS.m<sup>-1</sup>, es decir; entre 595 y 1,275 mg.L<sup>-1</sup> de sales. El boro no debe rebasar 0.5 ppm, ya que representa serios problemas para el desarrollo de las plantas. El pH debe estar ubicado en un rango de 5.5 a 7.0 con la finalidad de favorecer la absorción de nutrimentos. La RAS debe ubicarse hasta 18, siempre y cuando la CE no esté por encima de 250 ppm de sales (Castellanos y Ojodeagua, 2009).

## **2.8. Fertirrigación**

La fertirrigación es el método por excelencia de aplicación de agua y fertilizantes, cuando se hace de forma adecuada puede maximizar la utilización de nutrientes por las plantas y minimizar el potencial de pérdida de nutrientes por debajo de la zona radical (Lazcano, 1998).

El fertirriego, ha permitido aumentos importantes de la productividad de los cultivos, lo que se traduce en un mejor control y aprovechamiento del agua y los nutrientes, donde ya no se habla de agua y nutrientes, sino de riego y nutrición, de balance hídrico y nutricional, de monitoreo hídrico y monitoreo nutricional (Samuel y Col, 2001).

Según Etchevers (1998), Miranda (2001) y Pérez (2000) en investigaciones realizadas con la tecnología de fertirriego se reportan entre otras informaciones, las ventajas que tiene con relación a la fertilización tradicional, entre estas se encuentran, el ahorro de fertilizantes de un 25 a 50 %, mayor eficiencia en su uso debido a que se aplican en la zona próxima a las raíces de las plantas, así como una menor contaminación del medio ambiente por la reducción de pérdidas de fertilizantes.

Los problemas ocasionados con la revolución verde han obligado a retomar opciones más sanas, lo que ha dado lugar al uso de la fertilización orgánica sin dejar en su totalidad la

tradicional o mineral (Altieri, 1997), y de esta manera disminuir la degradación ambiental en la agricultura moderna.

Estudios realizados con el uso de fertirrigación muestran resultados de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a campo abierto de 59 a 61.2 t ha<sup>-1</sup> (Alcántar *et al.*, 1999; Villareal *et al.*, 2002), mientras que en invernadero la producción es de 192 a 262 t ha<sup>-1</sup> (Grijalva *et al.*, 2004), de frutos comerciales, si las condiciones de fertilidad y fitosanidad del suelo lo permiten.

## **2.9. La solución nutritiva**

La solución nutritiva (SN) es una mezcla de elementos nutritivos en solución, a una concentración y relaciones elementales, de tal forma que favorecen la absorción nutrimental por el cultivo considerados esenciales (Castellanos, 2008).

Los aspectos de la SN que en mayor medida influyen en la producción son: (1) la relación mutua entre los cationes, (2) la relación mutua entre los aniones, (3) la concentración de los nutrimentos, debido a que éstos se encuentran en forma iónica, la concentración se expresa mediante la conductividad eléctrica (CE), (4) el pH y (5) la temperatura (Lara, 1999).

Se han publicado muchas fórmulas para diferentes cultivos acerca de la composición y concentración de las soluciones nutritivas empleadas en la hidroponía por diversos investigadores (Sánchez y Escalante, 1988; FAO, 1990; Resh, 1992), sin embargo, hay que considerar que la composición específica más adecuada depende de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y de la luz y sobre todo de la calidad del agua que se utilice. Se deben también de tomar en cuenta las necesidades nutrimentales de la planta a la que se va a aplicar, así como la edad o etapa fenológica de la misma y el sistema con el cual se lleve a cabo el cultivo; es decir, si se trata de un sistema cerrado en el cual hay recirculación de la solución nutritiva o si se trata de un sistema abierto en el cual no hay recirculación de la solución. Todos estos factores hacen difícil dar reglas generales para la preparación de la solución nutritiva (FAO, 1990; Resh, 1992).

De acuerdo con Steiner (1961, 1966, 1984) y De Rijck y Schrevens (1998) la composición química de una solución nutritiva está determinada por 1) una relación catiónica mutua, 2) una relación aniónica mutua, 3) la concentración iónica total, y 4) el pH. Varios autores (Steiner, 1961, 1966, 1968, 1984; Bugarin *et al.*, 1998; Flores, 1999; Martínez, 1999; Preciado, 2001) indican que entre las características que influyen de manera determinante en la respuesta de las plantas a la solución nutritiva, la más importante es la presión osmótica.

## **2.10. Los plaguicidas**

El término plaguicida se aplica a toda sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir, repeler o controlar una plaga (USEPA, 2008). Se incluyen en esta definición las sustancias defoliantes y las desecantes, además, se emplean para el control de vectores de enfermedades humanas, animales, y de organismos que interfieren en el bienestar del hombre y los animales. El uso generalizado de tales productos se debe a las propiedades biocidas y selectividad que poseen (CICOPLAFEST, 2004; Cortés *et al.*, 2006; Cooper y Dobson, 2007).

El término plaga se define como cualquier organismo (animales, plantas y microorganismos) que al aumentar su población en forma descontrolada causa daño al cultivo perjudicando su normal desarrollo, causando pérdidas económicas (Alavajan *et al.*, 2004).

El uso y aplicación correcta de estos productos en el control de plagas agrícolas es la medida más aceptada y efectiva para lograr la máxima producción y mejor calidad de los cultivos, pues disminuye los riesgos y pérdidas de los sistemas agrícolas, lo cual ha sido un reto permanente (Ferrer y Cabral, 1993; Sánchez, 2002; Bolognesi, 2003; Mansour, 2004).

Por lo antes mencionado, el consumo y la variedad de plaguicidas a nivel mundial se ha incrementado dramáticamente a la par del aumento de la población y de la producción agrícola (Zhang *et al.*, 2011).

### 2.10.1. Clasificación de los plaguicidas

Los plaguicidas pueden ser clasificados de acuerdo a su uso, composición química, naturaleza química, acción específica, concentración, formulación, modo de acción, grado de toxicidad y persistencia en el ambiente, (Tabla 12) la manera más frecuente de clasificarlos, es con base en su estructura química, identificándose cinco grupos principales: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y triazinicos y actualmente los denominados neonicotinoides (Calderón *et al.*, 2012).

**Tabla 12. Criterios para la clasificación de plaguicidas.**

Uso al que se destinan	Formulaciones comerciales	Composición Química	Organismo que controlan	Concentración
Agrícola	solidos	Organoclorados	Insecticida	Ingrediente activo Plaguicida técnico plaguicida formulado
forestal	líquidos	Carbamatos	Bactericida	
urbano	gases	Dinitrofenoles	Acaricida	
jardinería		Piretroides	Molusquicida	
pecuario		Carboxamidas	Rodenticida	
doméstico		Triazinas	Avicidas	
industrial		Organoazufrados	Fungicidas	
		Tiocarbamatos	Herbicidas	
		Tricloropicolinos	Nematicidas	
		Organofosforados	Ovicidas	
		Compuestos De Cobre		
		Clorofenoxi		
		Bipiridilicos		
		Guanidinas		
		Naftoquinonas		

Fuente: SEMARNAT, 2007.

### 2.10.2. Clasificación por su persistencia en el ambiente y toxicidad

La persistencia de los plaguicidas se define por su capacidad para conservar su integridad

molecular, química, física y funcional una vez que se liberan al ambiente; muchos compuestos persisten por largos periodos de tiempo en el suelo, subsuelo, cuerpos de agua y sedimentos. Dicha persistencia varía de acuerdo a la dosis, formulación, condiciones ambientales y tipo de suelo. Esta, se expresa según la vida media del compuesto en no persistente, moderadamente persistente, persistente y permanente (Tabla 13) (WHO, 1990; Bejarano, 2002; Navarro *et al.*, 2007).

La Organización Mundial de la Salud define la toxicidad de plaguicidas como la capacidad de producir un daño agudo a la salud a través de una o múltiples exposiciones, en un período relativamente corto. Así mismo, establece la clasificación de plaguicidas basada en la peligrosidad o grado de toxicidad aguda, ésta se expresa a través de la dosis letal media (DL50) o concentración letal media (CL50), ambos parámetros varían conforme a la presentación del producto (sólido, líquido, gas o polvo), la vía de entrada (respiratoria, oral, dérmica), la temperatura, la dieta, la edad, y el sexo (Tabla 14) (WHO, 1990; CICOPLAFEST, 2004).

**Tabla 13. Clasificación de plaguicidas según la vida media.**

<b>Persistencia</b>	<b>Vida Media</b>	<b>Ejemplos</b>
No persistente	0 días a 12 semanas	Malatión, carbaril
Moderadamente persistente	1 a 18 meses	paratión, lanate
Persistente	1 a 20 años	DDT, aldrín, dieldrín
Permanente	indefinidamente	plaguicidas a base de mercurio, plomo y arsénico

Fuente: Ramírez y Lacasaña, 2001.

Dentro de los plaguicidas extremadamente peligrosos (Ia) están varios Organosfosforados como el forato, entre los altamente peligrosos (Ib) están monocrotofós, profenofós, carbofurán y cipermetrina. En el grupo de los moderadamente peligrosos (II) están dimetoato, 14 cloroirifós, quinalfós y fentiún; endosulfán, cialotrina, y carbaril y como ligeramente peligrosos (III) el insecticida malatión y deltametrina (WHO, 2009).

**Tabla 14. Clasificación de plaguicidas según su toxicidad aguda.**

Clase	vía			
	oral		dérmica	
	Sólido mg kg <sup>-1</sup>	Líquido mg kg <sup>-1</sup>	Sólido mg kg <sup>-1</sup>	Líquido mg kg <sup>-1</sup>
I a Extremadamente peligroso	≤5	≤ 20	≤ 10	≤ 40
I b Altamente peligroso	5 – 50	20 – 200	10 – 100	40 – 400
II Moderadamente peligroso	50 - 500	200 – 2000	100 – 1000	400 – 4000
III Ligeramente peligroso	≥ 500	≥ 2000	≥ 1000	≥ 4000

Fuente: WHO, 1990, International Program of Chemical Safety (IPCS) 2002.

### 2.10.3. Organoclorados

Los Organoclorados son plaguicidas cuya estructura química general es la de los hidrocarburos clorados aromáticos, algunos de ellos contienen además otros elementos, como el oxígeno y el azufre constituyendo tres clases químicas distintas, estructuras relacionadas con el diclorodifeniletano, con el ciclodieno clorado, así como con el benceno y el ciclohexano clorados (Casarett *et al.*, 2001). Son compuestos que han sido incluidos en la lista de los denominados contaminantes orgánicos persistentes, entre ellos se encuentra el diclorodifenil-tricloroetano (DDT), hexaclorociclohexano (HCH) estos, fueron ampliamente utilizados a nivel mundial para actividades agrícolas y para el control de vectores de enfermedades como el paludismo.

Se caracterizan por ser compuestos de alta toxicidad y estabilidad química, pero baja volatilidad, lo que les otorga resistencia a la degradación ambiental y metabólica, son lipofílicos y de baja biotransformación, estas características, les confieren la propiedad de ser efectivos, además presentan las propiedades de bioconcentración y biomagnificación, se transportan a largas distancias de zonas cálidas a frías (efecto saltamontes), donde se depositan y difícilmente son degradados (Ritter *et al.*, 1995; Grimalt *et al.*, 2003; Fernández y Grimalt, 2003; Mrema *et al.*, 2013).



Los residuos de plaguicidas organoclorados y sus metabolitos se han determinado en diferentes matrices ambientales (aire, agua, sedimentos, suelos) del mundo, incluyendo aquellos que están muy alejados del sitio original de su liberación ambiental (Laird *et al.*, 2013), su presencia se ha encontrado en organismos de todos los niveles tróficos, desde el plancton hasta las ballenas y animales de zonas polares, lo que corrobora su capacidad de bioamplificación y bioacumulación (Guglielmo *et al.*, 2009; Haraguchi *et al.*, 2009; Patterson *et al.*, 2009; Manaca *et al.*, 2011).

Entre sus efectos adversos por exposición, cabe destacar la pérdida de peso corporal, hepatotoxicidad, afecciones gástricas, carcinogénesis, efectos inmunotóxicos, alteraciones en el desarrollo y la función reproductora, el sistema nervioso y endócrino (Ejaz *et al.*, 2004; Eskenazi *et al.*, 2009; Ricking y Schwarzbauer, 2012; Androutsopoulos *et al.*, 2013). A pesar de su lenta degradación en el ambiente, frecuentemente se biotransforman en metabolitos lipofílicos que también son persistentes (Smith *et al.*, 2012). La acumulación de estos plaguicidas en el tejido adiposo impide que lleguen a sitios críticos del sistema nervioso, sin embargo, cuando ocurre una remoción súbita de la grasa, como puede ocurrir en situaciones de anorexia, embarazo o enfermedad, estos compuestos se movilizan y retornan a la sangre en concentraciones suficientes para causar signos de intoxicación aguda (Casarett *et al.*, 2001). Los plaguicidas organoclorados tienen la habilidad de atravesar la barrera placentaria alcanzando concentraciones importantes en el feto (Lemaire *et al.*, 2004). El metabolismo de los organoclorados, se lleva a cabo muy lentamente en el hígado por acción de las enzimas microsomales, a través de mecanismos de oxidación (epoxidación) y conjugación, transformando así a las moléculas liposolubles en hidrosolubles que pueden eliminarse lentamente por vía urinaria (Casarett *et al.*, 2001; Trioso *et al.*, 2001).

#### **2.10.4. Organofosforados**

Los plaguicidas organofosforados surgen como una alternativa ante el uso de los organoclorados, son fundamentalmente ésteres del ácido fosfórico, se descomponen con facilidad como consecuencia de su degradación por reacciones de hidrólisis en medios

alcalinos de los suelos, lo que les confiere baja persistencia en el ambiente con relación a los organoclorados, por ello es necesaria su aplicación con mayor frecuencia para mantener su eficacia, son peligrosos para el hombre debido a su alto grado de toxicidad (Badii y Valera, 2008).

Son absorbidos por vía dérmica, respiratoria, digestiva y conjuntiva, cuando el ingrediente activo se disuelve en un solvente orgánico se facilita la absorción del producto y sus propiedades alquilantes les permite actuar directamente sobre el ADN, envenenan a los mamíferos principalmente por la fosforilación de la enzima acetilcolinesterasa, en las terminaciones nerviosas (Escolastico, 2000; Sorgob y Vilanova, 2002). La mezcla de plaguicidas organofosforados produce efectos de sinergismo por adicción y/o potenciación, por ejemplo, estudios realizados con enzimas que metabolizan xenobióticos en el hígado y cerebro de ratas, demostraron que el endosulfan puede aumentar la toxicidad del malatión al inhibir las enzimas responsables de formar el metabolito no tóxico (Casarett *et al.*, 2001; Escolástico *et al.*, 2000).

Entre el 75 y el 100 % de los organofosforados administrados experimentalmente por vía oral, se metabolizan a compuestos polares, su vida media de eliminación oscila entre 2 a 48 horas después de una exposición aguda (Lambert *et al.*, 2005; Wesseles *et al.*, 2003). La principal vía de eliminación es la urinaria y en menor grado la biliar y por el aire espirado (Curwin *et al.*, 2002).

#### **2.10.5. Carbamatos**

Los carbamatos tienen en su estructura un N-ácido estérico sustituido (R3OCONR1R2). Los tiocarbamatos (R3SONR1R2) también se incluyen en este grupo, para muchos carbamatos el grupo R3 incluye un grupo fenilo o un anillo aromático heterocíclico. El grupo R2 es usualmente un metilo y el R3 puede ser un hidrógeno o un metilo o un grupo más complejo, la alta polaridad, solubilidad en agua y descomposición térmica son características típicas de los plaguicidas carbámicos, no obstante, estos atributos no pueden generalizarse a todo el grupo de plaguicidas carbámicos porque sus propiedades varían de

unos a otros (por ejemplo, la N-metil oxima y el sulfóxido son muy polares, mientras que el N-metil aril carbamato es mucho menos polar (Soriano *et al.*, 2001).

La toxicidad de los insecticidas carbámicos es similar a los compuestos organoclorados, pues inhiben la enzima acetilcolinesterasa, pero con los carbamatos esta es reversible y por tanto, es menos tóxico para los mamíferos, algunos carbamatos son altamente tóxicos, por ejemplo, aldicarb y carbofurán (De Bertrand y Barceló, 1991).

Los síntomas iniciales de toxicidad aguda, son la afectación del sistema nervioso central, manifestado a través de coma, convulsiones, hipotonía y efectos nicotínicos (EPA, 2006), incluyendo la hipertensión y la depresión cardiorrespiratoria, broncoespasmos y edema pulmonar, a través de evidencias de carcinogenicidad experimental con animales, el carbosulfán ha sido clasificado como un posible carcinógeno humano en células germinales (Giri *et al.*, 2002).

#### **2.10.6. Piretroides**

Los piretroides son ésteres halogenados clorados o bromados de una de las formas isoméricas del ácido crisantémico y una molécula de alcohol sintético, la estructura puede variar, ya que poseen numerosos átomos de carbonos asimétricos, pero la característica que les da su actividad insecticida y toxicidad consiste en los isómeros 1R $\alpha$ S y generalmente los que son más tóxicos son los 3-cis en comparación con los 3-trans. (Vijverberg y Van Den, 1990).

Los piretroides pueden ser clasificados como tipo I y II, dependiendo de la presencia o ausencia del grupo ciano en la parte alcohólica. Estos dos tipos de piretroides tienen un modo de acción neurofisiológico y sitio blanco (Soderlund y Bloomquist, 1989). Los piretroides tipo I actúan sobre los nervios periféricos ocasionando descargas repetitivas en las fibras nerviosas, esta inducción de picos múltiples son resultado de la entrada prolongada de los iones sodio; sin embargo, esta despolarización de la membrana no bloquea la conducción del impulso nervioso (Casida, 1980; Shafer *et al.*, 2005). Por otra

lado, los piretroides tipo II actúan a nivel central y retardan el cierre de los canales de sodio (inactivación) por un período de tiempo más prolongado que los tipo I. Este retardo en el cierre del canal ocasiona despolarización del potencial de la membrana, bloqueando la conducción del impulso nervioso (Soderlund y Bloomquist 1989; Shafer *et al.*, 2005).

Algunos piretroides son estrógenos ambientales, por lo tanto, interfieren en los procesos hormonales de animales y personas. Su acumulación en el organismo es baja y no persisten en el ambiente (ATSDR, 2003). No hay evidencia de que las piretrinas o los piretroides afectan la capacidad de reproducción en seres humanos, pero algunos estudios en animales han evidenciado la reducción de la fertilidad en machos y hembras. Se ha demostrado que los piretroides inducen efectos genotóxicos en células germinales humanas (Xia *et al.*, 2004).

#### **2.10.7. Triazínicos**

Los herbicidas triazínicos constituyen uno de los grupos de compuestos químicos más importantes en el campo de los herbicidas, no tienen acción sobre la germinación de las semillas, las plántulas lo absorben y es al cabo de unos días cuando aparece el efecto herbicida, actúan sobre la fotosíntesis inhibiendo la reacción de Hill, ejerciendo un control selectivo en preemergencia y postemergencia temprana de mono y dicotiledóneas, las dosis normales de aplicación de las triazinas, no afectan a las malas hierbas perennes (Gómez, 1999). El grupo de las triazinas destaca entre los herbicidas más empleados por los agricultores (Bayer, 1994; CIBA-GEIGY, 1996).

Son considerados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), como posibles carcinógenos humanos, su empleo ha traído graves consecuencias ya que se han incrementado los niveles de estos compuestos en suelo agua y atmósfera, lo que implica serios problemas para la salud y se reconoce la relación entre los jornaleros agrícolas expuestos y la incidencia del linfoma No-Hodgkin (Brusick, 1994), otros estudios desarrollados por Koiffman *et al.* (2002) describen correlación entre el desarrollo de cáncer de ovario y la exposición a este tipo de herbicidas.

Si bien el uso de plaguicidas ha mejorado el rendimiento de las cosechas y disminuido las enfermedades transmitidas por vectores, su uso puede ocasionar efectos adversos a la salud de la población en general y al ambiente en particular, ya sea por exposición directa o indirecta (WHO, 1986).

### **2.11. Efectos adversos de los plaguicidas**

Los plaguicidas son diseñados básicamente para ser tóxicos principalmente para ciertos organismos nocivos al hombre en el ambiente, en el hogar y en la agricultura, abarcando una amplia variedad de organismos blanco, aunque los beneficios de los plaguicidas no pueden ser despreciados, en los últimos años su estudio se ha enfocado en los efectos sobre la salud humana y el ambiente, estos compuestos pueden dañar a los seres vivos, desde microorganismos benéficos del suelo, hasta insectos, plantas no blanco, peces, aves y mamíferos, incluyendo al hombre. De igual manera, los plaguicidas son una de las causas de contaminación del agua y del suelo (Valencia *et al.*, 2013).

La Red de Acción de Plaguicidas (PAN por sus siglas en inglés, Pesticide Action Network) publicó en junio de 2013 la lista de plaguicidas altamente peligrosos con base en las opiniones de un panel de expertos en el manejo de estas sustancias, en ella se incluyen más de 400 productos, los criterios sobre los cuales se fundamenta se establecen con base en su alta toxicidad aguda: “extremadamente peligrosos” (Clase 1a) y “muy peligrosos” (Clase 1b) de acuerdo con The WHO recommended classification of pesticides by hazards and guidelines to classification: 2009 (WHO, 2010); fatales si son inhalados de acuerdo con el Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) (UNECE, 2009). También se consideran tomando en cuenta los efectos tóxicos a largo plazo, es decir carcinógenos, o probables carcinógenos, o carcinógenos sospechosos en seres humanos, de acuerdo con la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA) y el GHS; así como que induzcan mutaciones heredables en células germinales humanas; que sean reconocidos o presuntos agentes tóxicos para la reproducción humana (Categoría 1) de acuerdo con el GHS y a que sean disruptores

endócrinos, o sospechosos de ser tóxicos de la reproducción (Categoría 2) y sospechosos de ser carcinógenos humanos (Categoría 2) de acuerdo con GHS. También se toma en cuenta que causen una elevada preocupación ambiental, en este rubro se incluyen los pesticidas listados en los anexos A y B de la Convención de Estocolmo; otra característica evaluada es que sean agotadores de ozono, de acuerdo con el Protocolo de Montreal; o “muy bioacumuladores” o “muy persistentes” conforme con la regulación REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) de la Comisión Europea. Otro aspecto considerado es que sean peligrosos a los ecosistemas como es el hecho de que tengan “alta toxicidad para abejas” de acuerdo con USEPA; también se les reconoce a causa de su alta incidencia de efectos adversos severos e irreversibles con respecto a los plaguicidas listados en el Anexo III de la Convención de Rotterdam (PAN-International 2013). La mayoría de los plaguicidas utilizados en América Latina se encuentran incluidos en este registro.

En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud, registran cada año entre uno y cinco millones de casos de intoxicación por plaguicidas en países en desarrollo, con miles de muertes, incluidos niños (FAO, 2004).

Los principales grupos de compuestos asociados con intoxicaciones son piretroides, organofosforados, carbamatos y organoclorados (Eddleston *et al.*, 2002, AMIFAC, 2007).

La manipulación y aplicación de plaguicidas puede entrañar riesgos para el ser humano, ya sea como usuario o consumidor de vegetales, frutas y productos tratados, los riesgos también son para el propio cultivo y su entorno, para el ganado, para la fauna terrestre, acuícola, y en definitiva para el equilibrio ecológico (Sánchez, 2002; Fenik *et al.*, 2011).

## **2.12. Uso de plaguicidas**

El empleo de plaguicidas es una de las prácticas que ha contribuido con un incremento aproximado del 50 % de la producción agrícola en las últimas décadas, aunado al empleo de al empleo de fertilizantes sintéticos, sistemas de riego, compuestos orgánico-sintéticos, son en la actualidad indispensables para satisfacer la creciente demanda de alimentos de la producción mundial (MPS, 2003).

El uso de plaguicidas en México ha sido documentado ampliamente por distintos autores, Hernández *et al.* (2007) caracterizaron las intoxicaciones agudas e identificaron el perfil ocupacional y las conductas de uso de los plaguicidas en la jurisdicción Tejupilco, Estado de México. Martínez *et al.* (2009) evaluaron los efectos de los plaguicidas sobre la salud de jornaleros agrícolas en el estado de Sinaloa. González *et al.* (2010) analizaron el patrón de venta y uso de plaguicidas en Nayarit, uno de los principales estados agrícolas en México, y Ruiz *et al.* (2011) documentaron las prácticas de manejo de insecticidas por los productores de tomate en el municipio de Cintalapa, Chiapas, asimismo Hernández y Hansen, (2011) presentan el inventario de plaguicidas y una evaluación de la contaminación de agua y sedimentos en Sinaloa, también Escobar *et al.* (2011) en prácticas de utilización para plaguicidas en la localidad nueva libertad, la concordia Chiapas, por su parte, Gutiérrez *et al.* (2012) la problemática y el riesgo ambiental por el uso de plaguicidas.

## **2.13. Exposición, ingesta, bioacumulación y biomagnificación de plaguicidas**

Los plaguicidas están pueden estar presentes en, tejidos de animales de vida silvestre, agua potable y vegetación en general, pero principalmente en productos agropecuarios que forman parte de nuestra dieta diaria. Altas concentraciones de bifenilos policlorados, (PBC) Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT) y hexaclorociclohexano (HCH) se encontraron en músculos, hígado y riñones de aves en China, en plumas de aves migratorias en Irán y ocasionaron un aumento de mortalidad en ranas arborícolas por endosulfán en Australia (Broomhall y Shine, 2003; Behrooz *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2011). Además se ha reportado la presencia de plaguicidas organoclorados en leche cruda de bovino, huevo, carne y pescado (Dhananjayan y Muralidharan, 2010; Kaushik *et al.*, 2011; Selvi *et al.*,

2012). En México, también se encuentran plaguicidas como DDT y HCH acumulados en el tejido de peces (Tilapias) en Meztitlán, Hidalgo, rebasando los límites permitidos por las normas del país (Fernández *et al.*, 2008); incluso se han encontrado tanto moléculas parentales como metabolitos de HCH, heptaclor, endosulfán, aldrin, endrin y dieldrin en agua embotellada en la Ciudad de México (Díaz *et al.*, 2009).

La ingesta diaria y el contacto con plaguicidas han propiciado la presencia de plaguicidas persistentes en el humano, encontrando así, metabolitos de DDT, HCH y 20 moléculas de la familia de los PBC en leche materna de madres que consumen productos con residuos de estos contaminantes en Túnez (Ennaceur y Rhida, 2012). La población de Veracruz, México, ha mostrado la presencia de DDT, HCH y otros plaguicidas OC en sangre y tejido adiposo abdominal (Herrero *et al.*, 2010; Waliszewski *et al.*, 2012).

#### **2.14. Daños a la salud por plaguicidas**

La dispersión y acumulación de los plaguicidas en el ambiente, causa daños a la salud humana, debido a su presencia en alimentos, casas, aire, animales suelo y agua (WHO, 1990). Los plaguicidas pueden entrar en nuestro organismo por inhalación, ingestión o contacto y sus efectos pueden ir desde una intoxicación aguda o crónica, irritación de ojos y salivación excesiva hasta enfermedades como el cáncer (Kesavachandran *et al.*, 2008).

Los padecimientos y enfermedades que se asocian a la exposición crónica de plaguicidas pueden ser respiratorios, neurológicos, oculares, dérmicos, endocrinológicos y reproductivos. Estos pueden acumularse en el cerebro y dañarlo; además afectan el sistema nervioso periférico ya que es el sitio de acción de plaguicidas como (OC y OP) al provocar la degeneración de la mielina, y la inhibición de la enzima olinesterasa, incrementando con ello el riesgo de enfermedades neurodegenerativas como el mal de Parkinson (WHO, 1990, Kesavachandran *et al.*, 2008). Afectan también el sistema respiratorio, y pueden inducir el padecimiento de asma; en la piel provoca dermatitis y alergias por el contacto; a nivel ocular causa irritaciones y atrofia del nervio óptico; además pueden provocar desorden hormonal, inmunodepresión e inteligencia disminuida. En el sistema reproductivo provocan inmadurez sexual, desórdenes en las hormonas sexuales, abortos, muerte de recién nacidos



y teratogénesis, aumenta el riesgo de desarrollar cáncer de estómago, cerebro y piel. Entre otros padecimientos reportados están el daño al hígado, reducción de hemoglobina, y desórdenes musculo esqueléticos (Safe, 2000; Gupta, 2004; Bassil *et al.*, 2007; Dasgupta *et al.*, 2007; Kesavachandran *et al.*, 2008; Van *et al.*, 2010).

### **2.15. Normatividad sobre el uso de plaguicidas en México**

A través de la Secretaría de Salud, México conto con las normas oficiales NOM-044-SSA1-1993, referente a envase, embalaje y requisitos para contener plaguicidas; NOM-045-SSA1-1993, plaguicidas para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Y etiquetado, y NOM-046-SSA1-1993, plaguicidas para uso doméstico y etiquetado, no obstante, el 11 de noviembre de 2011 se dio aviso mediante el diario oficial de la federación de la cancelación de dichas normas (DOF, 2011).

El 8 de abril de 2014 para efectos de consulta pública, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el proyecto de modificación a la norma oficial mexicana PROY-NOM-032-FITO-1995, en la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitario para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico. La emisión del proyecto para una nueva regulación responde a la necesidad de contar con una norma moderna que reduzca trámites y sustente firmemente sobre, bases científicas y acordes con las buenas prácticas de laboratorio, el dictamen técnico de efectividad biológica para plaguicidas químicos, bioquímicos, microbiales, botánicos o misceláneos.

El DOF menciona que la NOM-032-FITO-1995 debe responder ante los cambios científicos, a fin de mejorar los procedimientos aplicados, establecer claramente los criterios de resolución para emitir el dictamen técnico de efectividad y tener concordancia con las normas internacionales en la materia la ley federal de sanidad vegetal otorga a la SAGARPA la atribución de dictaminar y evaluar la efectividad biológica de los plaguicidas; además de remitir el dictamen técnico ante la dependencia encargada del registro.

De igual manera, la SAGARPA, a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), regula su uso fitosanitario autorizado y reconoce la capacidad que deben tener las personas físicas y morales acreditadas para realizar este tipo de estudios.

En la elaboración de la modificación participaron las siguientes dependencias, instituciones y organismos:

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Colegio de Postgraduados

Universidad Autónoma Chapingo

Ingenieros Agrónomos Parasitólogos, A.C.

Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria, A.C.

Unión Mexicana de Fabricantes y Formuladores de Agroquímicos, A.C.

Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán

Asociación Mexicana de Productores, Formuladores y Distribuidores de Insumos

Orgánicos, Biológicos y Ecológicos, A.C.

Driscoll's Operaciones S.A. de C.V (DOF, 2014).

## 2.16. BIBLIOGRAFIA

- Abad, B; Noguera, M; Carrión, B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: Tratado de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu G. Mundi-Prensa. Madrid, España. 113-158 pp.
- Alavanja, M; Hoppin, J; Kamel, F. 2004. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Annu Rev Public Health* 25:155-197.
- Alcántar, G; Villareal, M; Aguilar, A. 1999. Tomato growth (*Lycopersicon esculentum* Mill), and nutrient utilization in response to varying fertigation programs. *Proc. Int. Sym. Growing Media and Hydroponics. Acta Horticulturae* 481:385-391.
- Alpi, A. y Tognoni, F. 1999. Cultivo en invernadero. 3a Edición. Mundi-prensa Madrid, España. 347 pp.
- Altieri, M. 1997. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES, ed. CETAL Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED) Lima, Perú.
- AMCI. 2010. Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos, A.C. Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos. <http://www.amci.org.mx> (Consulta enero de 2011).
- AMCI. 2008. Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos. Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos (NMX-E-255 CNCP-2008), Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos A.C., <http://www.amci.org.mx/Descargar/Norma.pdf>, (Consulta agosto de 2010).
- AMIFAC. 2007. Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria, A.C. Informe anual. Reporte técnico. Ciudad de México. 18 pp.
- Androutsopoulos, V; Hernández, A; Liesivuori, J; y Tsatsakis, A. 2013. A mechanistic overview of health associated effects of low levels of organochlorine and organophosphorous pesticides. *Toxicology* 307, 89-94.
- Anicua, S. 2008. Caracterización física y micromorfológica de materiales orgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisianthus (*Eustoma gmdijlorum*). Tesis doctoral. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 1998 pp.
- Ansorena, M. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Mundi Prensa, Madrid.

- Arellano, M; Valera. M; Urrestarazu. G; Martín, J; Zermeño, G. 2011. Ventilación natural y forzada de invernaderos tipo Almería y su relación con el rendimiento de tomate Terra Latinoamericana. 29(4), 379-386.
- Argonmexico. 2012. Fracaso de invernaderos [http://www.argonmexico.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=18633:fracaso-de-invernaderos-problema-heredado-por-administracion-rticista&catid=68:reportajes&Itemid=324](http://www.argonmexico.com/index.php?option=com_content&view=article&id=18633:fracaso-de-invernaderos-problema-heredado-por-administracion-rticista&catid=68:reportajes&Itemid=324). (Consulta abril de 2014).
- ATSDR. 2001. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Toxicological profile for 4,4'.DDT, 4,4'-DDE, and 4,4'-DD. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry. US Public Health Service. Atlanta, GA.
- Azarmi, R; Sharifi, Z; Reza, S. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status oftomato (*Lycopersicum esculentum*). Pak. J. Biol. Sci. 11:1797-1802.
- Azarmi, R; Torabi, G; Hajieghrari, B. 2009. The effect of sheep-manure vermicompost on . J. Biotechnol. 8:4953-4957.
- Badii, M y Varela, S. 2008. Insecticidas Organofosforados: Efectos sobre la Salud y el Ambiente. CULCyT. Toxicología de Insecticidas. 5 (28): 5-17.
- Badii, M. y Landeros J. 2007. Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. Cultura Científica y Tecnológica. CULCyT//Toxicología de Plaguicidas. Revista de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez 4(19) 21-34.
- Baeza, E; Pérez, P; López, J; Montero, J. 2006. CFD Study of the natural ventilation performance of a Parral type greenhouse with different numbers of spans and roof vent configurations. Acta Horticulturae 719: 333-340.
- Baeza, E; Pérez, P; López, J; Montero, J; Bailey, B; Lopez, J; Gazquez, J. (2009): "Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics"; Biosystems Engineering, 104 (1); pp. 86-96.
- Baile, A. 2003. Overveiw of greenhouse climate control in the mediterranean region. Cahiers Options Méditerranéennes. 31:59-73.

- Baixauli, C; Aguilar, J. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias. Serie de Divulgación Técnica No. 53. Generalitat Valenciana. Conselleria d'Agricultura, Peixca i Alimentación. España. 110 pp.
- Bakker, J; Bot, H; Challa, N; Van de Braak. 1995. Greenhouse climate control an integrated approach. Wageningen Pers. Wageningen, The Netherlands.
- Baptista, F; Bailey, J; Randall, J; Meneses. F. 1999. Greenhouse ventilation rate: theory and measurement with tracer gas techniques. *J. Agric. Eng. Res.* 72: 363-374.
- Bassil, K; Vakil, C; Sanborn, M; Cole D; Kaur, J; Kerr, K. 2007. Cancer health effects of pesticides. *Can Fam Physician.* 53: 1704-1711.
- Bastida, A. 2007. Invernaderos: Fabrica de alimentos Imagen agropecuaria [www.imagenagropecuaria.com](http://www.imagenagropecuaria.com) (Consulta enero de 2010).
- Bastida, A. 2008. Los Invernaderos en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 123 pp.
- Bastida, T. 2006. Manejo y operación de invernaderos agrícolas. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Bastida, T. 2002. Los sustratos hidropónicos. Materiales para cultivos sin suelo. Serie de publicaciones Agribot. Dpto. de Preparatoria Agrícola. UACH. Chapingo, México.
- Baudoin, W. O. 1999. Protected cultivation in the Mediterranean region. *Acta Horticulturae.* 491, 23-30.
- Bayer, A. 1994. Tratamiento de la intoxicación por plaguicidas. Guía para Médicos. Sector Agrochemicals Crop Protection Business Group, México, 81 pp.
- Behrooz, R; Esmaili, A; Ghasempouri, M; Bahramifair, N; Hosseini, S. 2009. Organochlorine pesticide and polychlorinated biphenyl in feathers of resident and migratory birds of south-west Iran. *Arch Environ Con Tox.* 56:803-810.
- Bolognesi, C. 2003. Genotoxicity of pesticides: a review of human biomonitoring studies. *Mutat. Res.* 543, 251-272.
- Bot, G. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic Model. Ph. D. Dissertation, Agricultural University of Wageningen. The Netherlands. Wageningen Bot, 240 pp.
- Boulard, T. and Wang, S. 2000. Greenhouse Crop transpiration simulation from external climate conditions, *Agric. For. Meteorol.* 100: 25-34.

- Boulard, T; Haxaire, M; Lamrani, J; Jaffrin, A. 1999. Characterization and modelling of the air fluxes induced by natural ventilation in a greenhouse. *J. Agric. Eng. Res.* 74: 135-144.
- Broomhall, S; Shine, R. 2003. Effects of the insecticide endosulfan and presence of congeneric tadpoles on Australian treefrog (*Litoria freycineti*) tadpoles. *Arch Environ Con Tox.* 45: 221- 226.
- Brusick, J. D. 1994. An assessment of the genetic toxicity of atrazine: relevance to human health and environmental effects. *Mutat. Res.* 317(2):133-44.
- Bugarin, M; Baca, C; Martínez, H; Tirado, T; Martínez, G. 1998. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración. *Terra Latinoamericana.* 16:113-124.
- Bunschoten, B. y Pierik, C. 2003. Kassenbouw neemt weer iets toe. CBS Webmagazine (Centraal Bureau voor de Statistiek) Available from: <http://www.cbs.nl/nl-NL/default.htm>.
- Caballero, P. y Fernández. Z. 2006. Valoración económica de la implantación del cultivo en sustrato. En: *Cultivos sin suelo. Ed. Horticultura.* 55-69 pp.
- Cadahía, C. 1998. *Fertirrigación de cultivos hortícolas y ornamentales.* Editorial Mundiprensa. Madrid.
- Cadahía, L. 2005. *Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.* Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Calderón, S; Gómez, S; Villalobos, R; Martínez, C; Carbajal, L; Calderón, C; Cortés, J; García, R; Flores, D; Rodríguez, R; Méndez, P; Bañuelos, R. 2012. Evaluation of genotoxic and cytotoxic effects in human peripheral blood lymphocytes exposed in vitro to neonicotinoid insecticides news. *Toxicology*, 612647.
- Camacho, F; Tello, M. 2006. *Control de Patógenos Telúricos en Cultivos Hortícolas Intensivos.* Ed. Agrotécnicas. Madrid, España. 160 pp.
- Casanova, P; Messing, A; Joel, A; Cañete, M. 2009. Methods to estimate lettuce evapotranspiration in greenhouse conditions in the central zone of Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 69: 60-70.
- Casarett, D; Curtis, D; John, B. 2001. *Manual de Toxicología.* McGraw Hill. 5ª Ed. México. 981 pp.

- Casida, J. E. 1980. Pyrethrum flowers and pyrethroid insecticides. *Environ. Health Perspect.* 34, 189–202.
- Castañeda, M; Rodrigo, V; Ramos, E; Peniche, V; Rebeca, D. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia* 3: 317-335.
- Castellanos, J. Z. 2004. Análisis de costos de inversión y producción de tomate en invernadero, en Javier Z. Castellanos (ed.), *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*, 2da. Edición, intagri, S.C., Celaya, Gto., México.
- Castellanos, J. Z. y Muñoz, R. 2003. La industria de la horticultura protegida en México pp. 1-7. In J. J. Muñoz R Y J.Z. Castellanos (eds) *Manual de producción Hortícola en invernadero*. INCAPA. México.
- Castellanos, J. Z; Borbón, M. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México, en J. Z. Castellanos (ed.), *Manual de producción de tomate en invernadero*, intagri, S.C. México, 458 pp.
- Castellanos, J. Z; Ojodeagua, J. L. 2009. Formulación de la solución nutritiva, en J. Z. Castellanos (ed.), *Manual de producción de tomate en invernadero*, intagri, S.C. México, 458 pp.
- Castellanos, J; Muñoz, R. 2003. La Industria de la Horticultura Protegida en México. En: Muñoz-Ramos, J. J; Castellanos, J. Z. (eds.). *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. INCAPA. México. 1-17 pp.
- Castellón, G. J. 2011. Agricultura protegida, una alternativa de producción en el Atoyac Zahuapan 389- 413.
- Castilla, N. 2001. La radiación solar en invernadero en la costa Mediterránea Española Incorporación de Tecnología al Invernadero mediterráneo. 1a edición Almería: Editorial Cajamar, 35 pp.
- Castilla, N. 2004. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Madrid, Mundi-Prensa.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. 2a edición. Madrid: Editorial Mundiprensa, 462 pp.
- Castilla, N. y Hernández, J. 2005. The plastic greenhouse industry of Spain. *Chronica Horticulturae* 45(3): 15-20.
- CIBAGEIGY. 1996. *Manual de protección de cultivos*. 3ª ed., Ciba Geigy, México, 334 pp.

- CICOPLAFEST. 2004. Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas. SEMARNAP, SECOFI, SAGAR y SSA, México D.F.
- Cook, R. y Calvin, L. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. Economic Research Report, 2.
- Cooper, J; Dobson, H. 2007. The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Prot.* 26, 1337- 1348.
- Cortés, J; Sánchez, R; Díaz-Plaza, E; Villen, J; Vázquez, A. 2006. Large volume GC Injection for the analysis of organophosphorus pesticides in vegetables using the through oven transfer adsorption desorption (TOTAD) Interface. *J. Agric. Food Chem.* 54, 1997-2002.
- Curtis, P. 1996. Aspectos de la morfología de angiospermas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. 134 pp.
- Curwin, B; Sanderson, S; Reynolds, M; Hein, M; Alavanja. 2002. Pesticide Use and Practices in an Iowa Farm Family Pesticida Exposure Study. *Journal of Agriculture Safety and Health* 8(4); 423-433.
- Dasgupta, S; Meisner, C; Wheeler, D; Xuyen, K; Lam, N. 2007. Pesticide poisoning of farm workers-implications of blood test results from Vietnam. *Int J Hyg Environ Health.* 210: 12-32.
- Dasgupta, S; Meisner, C; Wheeler, D; Xuyen, K; Lam, N. 2007. Pesticide poisoning of farm workers-implications of blood test results from Vietnam. *Int J Hyg Environ Health.* 210: 12-32.
- De Bertrand, N; Barceló, D. 1991. Photodegradation of the carbamate pesticides aldicarb, carbaryl, and carbofuran in water. *Anal. Chim. Acta.* 254:235-244.
- De Rijck, G; Schrevens, E. 1998. Comparison of the Mineral Composition of Twelve Standard Nutrient Solutions. *J. Plant Nutr.* 21: 2115-2125.
- Del Bosque, V; Rodríguez, G; Alejandro, Z.; Jasso, C. 2012. Evaluación de un modelo físico de simulación del clima en invernadero con ventilación natural evaluation of a physical model of climate simulation in a greenhouse with natural ventilation. *Agrociencia* 46: 427-440. 2012.



- Dhananjayan, V., Muralidharan S. 2010. Organochlorine pesticide residues in inland wetland fishes of Karnataka, India and their implications on human dietary intake. *B Environ Contam Tox.* 85:619-623.
- Díaz, G; Ortiz, R; Shettino, B; Vega, S; Gutiérrez, R. 2009. Organochlorine pesticides residues in bottled drinking water from Mexico City. *B Environ Contam Tox.* 82:701-704.
- Díaz, T., Espí, E., Fonseca, A., Jiménez, J.C. y Samerón, A. 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. 1a. edición. Madrid: editorial Mundi-Prensa, 315 pp.
- DOF. 2011. Diario Oficial De La Federación. Aviso de cancelación de las normas oficiales mexicanas NOM-044-SSA1-1993, Envase y embalaje. Requisitos para contener plaguicidas; NOM-045-SSA1-1993, Plaguicidas. Productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Etiquetado, y NOM-046-SSA1-1993, Plaguicidas-Productos para uso doméstico-Etiquetado. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5219979&fecha=16/11/2011](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5219979&fecha=16/11/2011) (Consulta marzo de 2014).
- DOF. 2014. Oficial De La Federación. Proyecto de Modificación a la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-032-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5339754&fecha=08/04/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5339754&fecha=08/04/2014) (Consulta marzo de 2014).
- Duncan, G; Loewer, O; Colliver, D. 1981. Simulation of energy flows in a greenhouse: magnitudes and conservation potential. *Transaction of ASAE* (1981): 1014-1021 pp.
- Eddleston, M; Karalliedde, L; Buckley, N; Fernando, R; Hutchinson, G; Isbister, G; Konradsen, F; Murray, D; Piola, J; Senanayake, N; Sheriff, R; Singh, S; Siwach, S; Smit, L. 2002. Pesticide poisoning in the developing world a minimum pesticide list. *The Lancet*, 360, 1163-1167.
- Ejaz, S; Akram, W; Woong, L; Lee, J; Hussain, I. 2004. Endocrine disrupting pesticides a leading cause of cancer among rural people in Pakistan. *Exp. Oncol.* 26, 98-105.
- Elbueno. 2014. Fracaso de invernadero <http://elbuentono.com.mx/index.php/orizaba/32666-fracasan-95-de-invernaderos>. (Consulta abril 2014).

- Elmundodetehuacan. 2013. <http://elmundodetehuacan.com/noticias/local/1117774-TLP2%20NOTA3>. (Consulta abril de 2014).
- Eluniversal. 2013. invernaderos abandonados <http://www.eluniversaledomex.mx/home/-invernaderos-abandonados-falta-personal-capacitado.html> (Consulta abril de 2014).
- Ennaceur, S., Rhida-Driss M. 2012. Time course of organochlorine pesticides and olychlorinated biphenyls in breast-feeding mothers throughout the first 10 months of lactation in Tunisia. *Environ Monit Assess.* 185:1977-1984.
- EPA. 2006. United States Environmental Protection Agency: Insecticidas Carbamatos de Netilo [http://nlquery.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=carbamatos&typeofsearch=epa&fld=&areaname=Proteja+su+Salud&areacontacts=%2Fespanol%2Fcontactenos.html&areasearchurl=&result\\_template=epafiles\\_default.xsl&filter=sample4filt.htm](http://nlquery.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=carbamatos&typeofsearch=epa&fld=&areaname=Proteja+su+Salud&areacontacts=%2Fespanol%2Fcontactenos.html&areasearchurl=&result_template=epafiles_default.xsl&filter=sample4filt.htm) (Consulta junio de 2014).
- Escobar, D; Caballero, A; Rendón, V. 2011. Prácticas de utilización para plaguicidas en la localidad Nueva Libertad, La Concordia, Chiapas. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 1, 19-30.
- Escolástico, L; Cabildo, M. P. 2000. Química y Salud Pública: Pesticidas., Departamento de Química Orgánica y Biología, Facultad de Ciencias.
- Eskenazi, B; Chevrier, J; Goldman, L; Anderson, H; Bornman, M; Bouwman, H; Chen, A; Cohn B.A., de Jager Ch., Henshel D.S., Leipzig F., Leipzig J.S., Lorenz E.C., Suzanne S.M., Snedeker M. y Stapleton D. 2009. The Pine River Statement: Human health consequences of DDT use. *Environ. Health Perspect.* 117, 1359-1367.
- Etchevers, B. I. 1998. Aportaciones en Colegio de Postgraduados a los programas de fertirrigación en México. En: III Simposium Internacional de fertirrigación, México, 1998.
- FAO. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO Plant Production and Protection Paper. 1a. edición. Roma: editorial assistance provided 313 pp.
- FAO. 2002. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 90. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

- FAO. 2004. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Los niños corren mayores riesgos de intoxicación por plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Sala de Prensa <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2004/51018/index.html>. 12/06/2009. (Consulta junio 2013).
- Fenik, J; Tankiewicz, M; Biziuk, M. 2011. Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *Trends Anal. Chem.* 30, 814-826.
- Fernández, B; Ponce, V; Calva, B; Salgado, U; Botello, A; Díaz, G. 2008. Organochlorine pesticides in lacustrine sediments and tilapias of Metztlán, Hidalgo, Mexico. *Rev Biol Trop.* 56: 1381-1390.
- Fernández, M; Orgaz, J; López, G. 1995. La demanda evaporativa en el invernadero parral. I Simposium Iberoamericano sobre: Aplicación de plásticos en las tecnologías agrarias. Actas: 233-241. El Ejido, Almería, España.
- Fernández, P. y Pérez, J. 2004. Características de los invernaderos de la provincia de Almería. Cajamar, 21 pp.
- Fernández, P; Grimalt, J. O. 2003. On the Global Distribution of Persistent Organic Pollutants., *Chimia* 57 514–521.
- Fernández, S. C. 2012. Análisis y Evaluación de riesgos de incidencias naturales en el sistema productivo agrario intensivo de Almería. (Tesis de doctorado) Universidad de Almería. España.
- Ferrer, A; Cabral, R. 1993. Collective poisoning caused by pesticides: mechanism of production, mechanism of prevention. *Rev. Environ. Toxicol.* 5, 161-201.
- FIRA, 2010. Fideicomisos Instituidos con Relación a la Agricultura. Casos de éxito en agricultura protegida en México <http://www.redinnovagro.in/documentosinnov/Catalogo200CasosExito.pdf>. (Consulta abril de 2014).
- Flores, R. J. S. 1999. Concentración total de sales y de magnesio en el cultivo hidropónico del rosal. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 222 pp.
- Flores, S y Quiroz, R. 2012. Predicción de la transmitancia de un invernadero con techo removible. División de Ciencias de la Vida- Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad de Guanajuato.

- García, Nieves; Van der, V; Elings, A. 2011. Mexican protected horticulture. Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed Wageningen UR Greenhouse Horticulture. Landbouw Economisch Instituut. The Hague. Ministry of Economic Affairs. Rapport GTB 1. 126.
- Garnaud, J. C. 2000. Plasticulture magazine: a milestone for a history of progress in plasticulture; *Plasticulture*, 119. 30-43.
- Garza, L. J. 1985. Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México.
- Giacomelli, G. A. 1998. Components of radiation defined: definition of units, measuring radiation transmission, sensors. Greenhouse Glazing & Solar Radiation Transmission Workshop, October 1998. Center for Controlled Environment Agriculture. Rutgers University, Cook College.
- Giri, S; Giri, A; Sharma, G; Prasad, S. 2002. Mutagenic effects of carbosulfan, a carbamate pesticide. *Mutat. Res.* 519, 75-82.
- Giuffré, L.; Alconada, M.; Pascale, C; Ratto, S. 2004. Environmental impact of phosphorus over fertilization in tomato greenhouse production. *Journal Applied Horticulture* V6 (1):58-61.
- Gómez, C. 1999. Comportamiento de herbicidas residuales en suelos posible contaminación de acuíferos. Tesis Doctoral Ingeniero Agrónomo Valencia, España.
- Gómez, P. G. 2002. Agroplástico en México. Editorial del Gobierno del Estado de Veracruz, México.
- Gommes, R. 1998. Climate-related risk in agriculture. FAO, IPCC Expert Meeting on Risk Management Methods, Toronto, AES, Environment Canada, 29 April-1 May.
- González, A; María De Lourdes, R; Medina, I; Velázquez, F; Girón, P; Quintanilla, V; Ostrosky, W; Pérez, H; Elizabeth, R. 2010. Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México *Rev. Int. Contam. Ambie.* 26 (3) 221-228.
- Grijalva, C; Macias, M; Valenzuela, F. 2004. Productivity and fruit quality in tomato varieties under greenhouse conditions in the Northwest of Mexico. *Hort. Science* 39:745-897.
- Grimalt, J; Fernández, L; Berdie, R; Vilanova, J; Catalán, R; Psenner, R; Hofer, P; Appleby, B; Rosseland, L; Massabuau, R; Battarbee, R. 2003. Selective trapping of

- organochlorine compounds in mountain lakes of temperate areas. *Environ. Sci. Technol.* 35, 2.690-2.697.
- Guglielmo, F; Lammel, G; Maier, E. 2009. Global environmental cycling of gamma-HCH and DDT in the 1980s A study using a coupled atmosphere and ocean general circulation model. *Chemosphere* 76: 1509-1517.
- Gupta, P. K. 2004. Pesticide exposure-Indian scene. *Toxicology.* 198: 83-90.
- Gutiérrez, C; Serwatowski, R; Cabrera, S; Saldaña, R; Juárez. G. 2010. Estudio de corte de películas plásticas sobre suelos acolchados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19(4): 30-36.
- Hao, X; Papadopoulos A. 2002. Growth, photosynthesis and productivity of greenhouse tomato cultivated in open o closed rockwool systems. *Can. J. Plant Sci.* 82:771-780.
- Haraguchi, K; Koizumi, A; Inoue, K; Harada, K; Hitomi, T; Minata, M; Tanabe, M; Kato, Y; Nishimura, E; Yamamoto, Y; Watanabe, T; Takenaka, K; Uehara, S; Yang, H. R; Kim, M; Moon, S; Kim, H; Wang, P; Liu, A; Hung, N. 2009. Levels and regional trends of persistent organochlorines and polybrominated diphenyl ethers in Asian breast milk demonstrate POPs signatures unique to individual countries. *Environ. Int.* 35: 1072-1079.
- Hernández, A; Hansen, M. 2011. Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 27 (2) 115-127.
- Hernández, G; Jiménez, G; Jiménez, R; Arceo, G. 2007. Caracterización de las intoxicaciones agudas por plaguicidas: perfil ocupacional y conductas de uso de agroquímicos en una zona agrícola del Estado de México, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental,* 23(4), 159-167.
- Hernández, J; Hernández, G; Soriano, T; Morales, M; Escobar, J; Castilla, N. 2003. La orientación de un invernadero y la geometría de su cubierta determinan la transmisividad global a la radiación solar. *Actas de Horticultura.* 39:379.
- Herrera, F; Castillo, J; Chica, A; López, B. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing médium in the nursery production of tomato plants. *Bioresour. Technol.* 99(2):287-296.

- Herrero, M; Waliszewski, M; Valencia, R; Caba, M; Hernández, C; García, A; Villalba, R. 2010. Organochlorine pesticide levels in adipose tissue of pregnant women in Veracruz, Mexico. *B Environ Contam Tox.* 84:652-656.
- Hudson, N. W. 1967. Why don't we have erosion in England?. In Gigg, J.A.C. (Ed.). *Proceeding of Agricultural Engineering Symposium, Paper 5/B/42,3.*
- Imagenagropecuaria. 2007. Fracaso de invernaderos impulsados por el gobierno federal [http://imagenagropecuaria.com/2007/fracaso\\_50\\_de\\_invernaderos\\_impulsados\\_por\\_gobierno\\_federal/](http://imagenagropecuaria.com/2007/fracaso_50_de_invernaderos_impulsados_por_gobierno_federal/) (Consulta abril de 2014).
- INEGI. 2007. Instituto nacional de geografía e informática Censo Agropecuario. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.
- INEGI. 2009. Estados Unidos Mexicanos. Censo Agropecuario 2007, VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Aguascalientes, Ags. 2009.
- Jensen, M. H. 1997. Hydroponics. *HortScience* 32(6): 1018-1021.
- Juárez, L; Bugarín, M; Castro, R; Brindis, A; Sánchez, M; Cruz, C; Juárez, R; Gelacio, A; Balois; Morales. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente* 3(8).
- Kacira, M; Sase, S; Okushima, L. 2004. Effects of side vents and span numbers on wind-induced natural ventilation of a gothic multi-span greenhouse. *JARQ*, 38(4); pp. 227-233.
- Karami, E; Ebrahimi, H. 2000. Overfertilization with Phosphorus in Iran: A Sustainability Problem. *Journal of Extension Systems* 16:100-120.
- Kaushik, C; Sharma, R; Gulati, D; Kaushik, A. 2011. Changing patterns of organochlorine pesticide residues in raw bovine milk from Haryana, India. *Environ Monit Assess.* 182:467- 475.
- Kesavachandran, C; Fareed, M; Pathak, M; Biahari, V; Mathur, N; Srivastava, A. K. 2008. Adverse health effects of pesticides in agrarian populations of developing countries. In: *Rev Environ Contam Toxicol.* Whitacre D.M. (ed.). 200: 33-52.
- Kinet, M. J. y M. Peet M. 1997. Tomato. In. Wien, C. H. (ed.). *The Physiology of Vegetable Crop.* Cab International, Wallingford, UK. 207-258 pp.
- Koiffman, S; Koiffman, R; Meyer, A. 2002. Human reproductive system disturbance and pesticide exposure in Brazil. *Cad. Saude Publica* 18, 435-445.

- Laird, B; Goncharov, A; Man, C. 2013. Body burden of metals and persistent organic pollutants among Inuit in the Canadian Arctic. *Environ. Int.* 59, 33-40.
- Lambert, W; Lasarev, M; Scherere, J; Rothlein, J; Santana, J; Mc Cauley, L. 2005. Variation in organophosphate pesticide metabolites in urine of children living in agricultural communities. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 113, No. 4. 504-508 pp.
- Lara, H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía *Terra* 17(3), 1999.
- Lazcano, F. I. 1998. Estratificación de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos agrícolas, utilizando sistemas de fertirrigación. En: III Simposium Internacional de fertirrigación, México, 1998.
- LEIDLO. 1996. Dutch Agricultural Economics Research Institute. Holland statistics. The Netherlands, 24 pp.
- Lemaire, F., S. Rivière O. Stievenard, S. Marfa, F. Gschwander. 1998. Giuffrida. Consequences of organic biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. *Acta Hort.* 469: 121-138.
- Levy, J. S; Taylor, B. R. 2003. Effects of pulp mill solids and tree composts on early growth of tomatoes. *Bioresour. Technol.* 89: 297-305.
- López, J; Lorenzo, E; Medrano, M; Sánchez, G; Pérez, H; Puerto, M. 2000. Calefacción de Invernaderos en el Sureste Español. 1a. d. Caja Rural de Almería. Junta de Andalucía. Almería, España. 11-13 pp.
- Manaca, M; Grimalt, J; Sunyer, J; Mandomando, I; Gonzalez, R; Sacarlal, J; Dobaño, C; Alonso, P; Menéndez, C. 2011. Concentration of DDT compounds in breast milk from African women (Manhiça, Mozambique) at the early stages of domestic indoor spraying with this insecticide. *Chemosphere* 85, 307-314.
- Mansour, S. 2004. Pesticide exposure-Egyptian scene. *Toxicology*, 198, 91-115.
- Mariano, S; Josafad, S; Mariano, M; Fernando, B. 1998. Agronomía mesoamericana evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) En invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos 9(1): 59-65.

- Márquez, H; Cano, M; Chew, R; Moreno, D; Rodríguez. D. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 183–189.
- Martínez, B. N. 1999. Estudio nutrimental de *Alstroemeria* híbrida en hidroponía. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 106 pp.
- Matallana, G; Montero, C. J. I. 1995. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Miranda, D. 2001. La fertirrigación aplicada a cultivos industriales y ornamentales en áreas productivas de Colombia, 235 pp.
- Molina, F; Valera, D; Gil, J; Álvarez, A. 2003. Evolución de los invernaderos de Almería. *Revista Riegos y Drenajes XXI*. 58-63.
- Montero, J. 2012. Desarrollo de estructuras para invernaderos Cuadernos de estudios agroalimentario 45-70.
- Morales, I; Miranda, V; Gil, V; Bastida, T; Ramírez, A; Hernández, O; Reyes, R; Flores, E; Navarro, L. 2008. Introducción a la Hidroponía, agribot, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Moreno, R; Aguilar, D; Luévano, G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 29; 763-774.
- Moreno, R; Valdés, P. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc.* 65(1): 26-34.
- MPS. 2003. Ministerio De La Protección Social. Instituto nacional de salud. Organización panamericana de la salud. Protocolo de vigilancia en salud pública de las intoxicaciones agudas y crónicas por plaguicidas. Bogotá. 1-26 pp.
- Mrema, E; Rubino, F; Brambilla, G; Moretto, A; Tsatsakis, A; Colosio, C. 2013. Persistent organochlorinated pesticides and mechanisms of their toxicity. *Toxicology* 307, 74-88.
- Navarro, S., Vela N., Navarro G. 2007. Review: An overview on the environmental behaviour of pesticide residues in soils. *Span J Agric Res*. 5:357-375.
- Nelson, P. 1999. Greenhouse operation and management. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.



- Nielsen, O. F. 2002. Natural ventilation of a greenhouse with top screens. *Biosys. Eng.* (81); 443-452 pp.
- NMCI. 2008. Norma Mexicana De Construcción De Invernaderos [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5052108&fecha=08/07/2008](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5052108&fecha=08/07/2008) (Consulta enero de 2013).
- Nuez, F. 2001. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793p.
- OEIDRUS. 2008. Oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable, inventario de invernaderos en el estado de puebla [http://www.oeidrus-portal.gob.mx/invernaderos/inv\\_pue/](http://www.oeidrus-portal.gob.mx/invernaderos/inv_pue/) (Consulta enero, 2010).
- Ojo de agua, A; Castellanos, R; Muñoz, R; Alcántara, G; Chávez, V; Enríquez, R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4): 367-374.
- Ortega, M; Sánchez, O; Ocampo, M; Sandoval, C; Salcido, R; Manzo, R. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero Ra Ximhai 2010; 6(3): 365-372.
- Ouma, G. 2007. Effect of different container sizes and irrigation frequency on the morphological and physiological characteristics of Mango (*Mangifera indica*) rootstock seedlings. *Int. J. Bot.* 3: 260-268.
- Oziel, L; Pérez, G; Samantha, A. D. 2014. Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre *Terra Latinoamericana* vol. 32 número 1.
- PAEAP. 2007. Proyecto estratégico. Agricultura Protegida. <http://www.inca.gob.mx/territorial/proyectosterritorial/bc/PET%20Ensenada.pdf> (Consulta abril de 2011).
- PAN International. (2013). List of highly hazardous pesticides. Pesticide Action Network International. [http://www.pan-germany.org/download/PAN\\_PAP\\_List\\_090116.pdf](http://www.pan-germany.org/download/PAN_PAP_List_090116.pdf) 29/06/2013.
- Papadopoulos, A. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and soilless media. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa.
- Papaseit, P. 1997. Los plásticos y la agricultura. Ediciones de Horticultura. España. Normalización, invernaderos mejores y más seguros. La norma UNE76-208/92.

- Patterson, D; Wong, Y; Turner, W; Caudill, P; Dipietro, E; McClure, P; Cash, T; Osterloh, J. D. 2009. Levels in the U.S. population of those persistent organic pollutants (2003-2004) included in the Stockholm Convention or in other long range transboundary air pollution agreements Environ Sci Technol. 2009 Feb 15;43(4):1211-8.
- Pérez, E. D. 2000. Fertirrigación, Principios Básicos, Ventajas y Desventajas, Fersan. Informa, Rev. n. 8, 2000.
- PIASRE. 2004. Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente. SAGARPA-UAAAN.
- Pieter de Rijk. 2008. Evolución del sector de agricultura protegida en México. <http://www.amhpac.org/> contenido/plan, (Consulta enero de 2010).
- Pineda, L. 2011. Monitoreo de la retención y absorción de agua en sustratos de diferente granulometría. Tesis maestría Colegio De Postgraduados Montecillos México.
- Preciado, R. P. 2001. Fertirrigación nitrogenada, fosfórica y programa de riego en la producción del cultivo de melón. Tesis. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 99 pp.
- Radin, B; Reisser, J; Matzenauer, H. 2004. Crecimiento de cultivares de alface conduzidas en estufa e a campo. Hort. Bras. 22: 178-181.
- Ramírez, J; Lacasaña, M. 2001. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición Arch Prev Riesgos Labor 4(2):67-75.
- Ramírez, V. J. 1996. El uso de acolchados plásticos en la horticultura. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, México.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos hidropónicos. 3a ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ricking, M. y Schwarzbauer, J. 2012. DDT isomers and metabolites in the environment: an overview. Environ. Chem. Lett. 10, 317–323.
- Ritter, L; Solomon, K; Forget, J; Stemeroff, M; O'Leary, C. 1995. Contaminantes orgánicos persistentes. Informe de evaluación. PCS/95.38.
- Rodríguez, D; Cano, P., Figueroa, G; Palomo, C; Favela, P; Álvarez, H; Márquez, R; Moreno, M. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. Rev. Fitotec. Méx. 31(3): 265–272.
- Rodríguez, R; Tavares, R; Medina, M. 2001. Cultivo Moderno del Tomate 2ª. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 pp.

- Rosete, D. 1998. Invernaderos: Construcciones e instalaciones. Banco de México. FIRA. México.
- Roy, J; Boulard, C; Wang, S; 2002. Convective and ventilation transfers in greenhouses. *Biosystems Engineering*. 83: 1-20.
- Ruiz, N; Eleazar, J; Ruiz, N; Guzmán, G; Esaú, De Jesús, P. 2011. Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27 (2), 129-137.
- Safe, S. H. 2000. Endocrine disruptors and human health, is there a problem?: An Update. *Environ Health Perspect.* 108: 487-493.
- SAGARPA. 2009. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Agricultura protegida. Programa de ejecución directa. Gobierno Federal. SAGARPA. Subsecretaria de Agricultura. <http://www.amhpac.org/>. (Consulta mayo de 2012).
- SAGARPA. 2012. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Inventario de invernaderos del estado de Puebla. 2008. <http://www.oeidrus-puebla.gob.mx/RID.pdf>. (Consulta mayo de 2012).
- SAGARPA.2010. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Proyecto estratégico de agricultura protegida. Lineamientos específicos de operación. Gobierno Federal. SAGARPA. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura> (Consulta mayo de 2012).
- Samuel, S. R; M. Aguilera Y H. Estay, 2001. Manual Básico de fertirriego, Libro Azul, 2001.
- San Martín, H. C. 2011. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes granulometrías de “tezontle” tesis de maestría colegio de postgraduados montecillos México.
- San Martín, H. C; Ordaz, P; Sánchez, G; Beryl, C; Borges, G. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243-254.
- Sánchez del C. F. y E. R. Escalante R. 1988. Hidroponía. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 37-40.

- Sánchez del C, F. 2005. Perspectivas de la agricultura protegida. Diplomado internacional en agricultura protegida. Instituto de horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Sánchez del C. F. 2008. Diseño agronómico de invernaderos en México y el mundo. In: módulo I. primer curso de especialización en horticultura departamento de fitotecnia UACH.
- Sánchez del C. F. 2002. Invernaderos e hidroponía en el contexto de la agricultura: dos alternativas tecnológicas factibles. In: Sánchez C. F., Maldonado R., Álvarez E., Jensen M., Giacomelli G., Waller P., Ojeda W., Rojano A. y Morales J. A. Invernaderos: Teoría y Práctica. Curso internacional de invernaderos. Tomo I. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. A1-A37 pp.
- Sánchez, R. A. J. 2002. Plaguicidas y fitosanitarios. Memorias. XIII Congreso Nacional Farmacéutico. Granada, España. 15-18 de octubre, 2002.
- Selvi, C; Paramasivam, M; Rajathi, D; Chandrasekaran, S. 2012. Multiresidue analysis of organochlorine pesticides in milk, egg and meat by GC-ECD and confirmation by GC-MS. *B Environ Contam Tox.* 89:1051-1056.
- SEMARNAP. 2007. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México. Lo que usted debe saber sobre la gestión de los plaguicidas en México. Serie Plaguicidas núm. 4.
- Serrano, C. Z. 2002. Construcción de invernaderos. Segunda edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.
- Shafer, T; Meyer, D; Crofton, K. M. 2005. Developmental neurotoxicity of pyrethroid insecticides: Critical review and future research needs. *Environ Health Perspect* 13 (2):123-136.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Boletín semanal del SIAP de la SAGARPA, 2.
- Singh, R; Sharma, R. R.; Kumar, S; Gupta, R. K; Patil, R. T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresour. Technol.* 99:8507-8511.
- Smith, E; Weber, J; Rofe, A; Gancarz, D; Naidu, R; Juhasz, A. L. 2012. Assessment of DDT relative bioavailability and bioaccessibility in historically contaminated soils

- using an in vivo mouse model and fed and unfed batch in vitro assays. *Environ. Sci. & Technol.* 46, 2928-2934.
- Soderlund, D; Bloomquist, J. R. 1989. Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annu Rev Entomol* 34:77-96.
- Sorgob, M. A. y Vilanova E. 2002. Enzymes involved in the detoxification of organophosphorus, carbamate and pyrethroid insecticides through hydrolysis. *Toxicol. Lett.* 128, 215–228.
- Soriano, J; Jiménez, B; Font, G; Moltó, J. C. 2001. Analysis of carbamate pesticides and their metabolites in water by solid phase extraction and liquid chromatography: A review. *Critical. Rev. Anal. Chem.* 31(1):19-52.
- Stanguellini, C. 2003. El uso de riego: Su uso, eficiencia y economía, en Fernández Milagros, Lorenzo Mínguez Pilar y Cuadrado Gómez Isabel Ma. (eds.), *Mejora de la eficiencia del riego en el uso del agua en cultivos protegidos*, Curso Superior de Especialización, Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Junta de Andalucía, hortimed, fiapa, cajamar, Almería, España.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15: 134-154.
- Steiner, A. A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil.* 24: 434-466
- Steiner, A. A. 1968. Soilless culture. En *Proc. 6th Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy.* 324-341 pp.
- Steiner, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. En *Proc. 3rd Int. Cong. Soilless Cult. Sassari, Italy.* pp. 43-54.
- Steiner, A. A. 1980. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. En *Proc. 5th Int. Cong. Soilless Cult. Wageningen, Holanda.* 83-94 pp.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. En *Proc 6th Int. Cong. Soilless Cult.* 633-649 pp.
- Steta, M. 2004. México as the new major player in the vegetable greenhouse industry. *Acta Hortic.* 659: 31-36.

- Tesi, R., 2001. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Tognoni, F. 2003. El desarrollo de los sistemas de cultivo en horticultura protegida, en Fernández Milagros, Lorenzo Mínguez Pilar y Cuadrado Gómez Isabel Ma.(eds.), Mejora de la eficiencia del riego en el uso del agua en cultivos protegidos, Curso Superior de Especialización, Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Junta de Andalucía. hortimed, fiapa, cajamar, Almería, España.
- Trioso, G; Haraguchi, K; Caído, S; Nyman, A; Borrel, A; Sibiart, U; Manson, F. C. 2001. J. Toxicol and Environ. Health. Vol. 62, 1.
- Trueba, I. 2002. La Seguridad Alimentaria Mundial. Primeras décadas del siglo XXI. El papel de la FAO y el PMA, Cátedra Alfonso Martín Escudero, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- UNECE. 2009. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). 3ª ed. revisada. United Nations Economic Commission for Europe. Nueva York y Ginebra.
- USEPA. 2008. About pesticides. United States Environmental Protection Agency <http://www.epa.gov/pesticides/about/index.htm> (Consulta marzo de 2010).
- Valencia, Q; Sánchez, A; Gómez, A; Cortés, E; Waliszewski, S; Villalobos, P. 2013. Genotoxicidad de plaguicidas en sistemas vegetales. rev. int. contam. ambie. 29 número especial sobre plaguicidas 133-157.
- Valera, D; Molina, F; Gil, F. 1999. Los invernaderos de Almería: Tipología y mecanización del clima. Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería. Almería, España.
- Van, Maele-Fabry, G; Lantin, A; Hoet, P; Lison, D. 2010. Childhood leukemia and parental occupational exposure to pesticides: a systematic review and meta-analysis. Cancer Cause Control. 21:787- 809.
- Vargas, T; Castellanos, R; Muñoz, P; Sánchez, C; Tijerina, R; López, S; Martínez, A; Ojodeagua, A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. Agricultura Técnica en México 34(3): 323-331.
- Vijverberg, H; Van den, B. J. 1990. Neurotoxicological effects and the mode of action of pyrethroid insecticides. Crit. Rev. Toxicol. 21(2):105-26.

- Villareal, R; García, E; Osuna, B; Armenta, B. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad de poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra* 20:311-320.
- Waliszewki, S. M; Caba, M; Herrero, M; Saldariaga, N; Meza, E; Zepeda, R; Martínez. V; Gómez, A; Villalobos, P. 2012. Organochlorine pesticide residue levels in blood serum of inhabitants from Veracruz, Mexico. *Environ Monit Assess.* 184:5613-5621.
- Wang, S. y Boulard, T. 2000. Measurement and prediction of solar radiation distribution in full-scale greenhouse tunnels. *Agronomie* 20: 41-50.
- Wessels, D; Dana, B; Pauline, M. 2003. Use of biomarkers to indicate exposure of children to organophosphate pesticides: Implications for longitudinal study of children's, *Environmental Health. Perspec.* 111 (16)1939-1945.
- WHO. 1986. World Health Organization. Organophosphorus insecticides: a general introduction. *Environmental Health Criteria Series 63. International Programme on Chemical Safety, Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 181 pp.*
- WHO. 1990. World Health Organization. Public Health impact of Pesticides Used in Agriculture. Geneva. ISBN:92-4-156139  
<http://whqlibdoc.who.int/publications/1990/9241561394.pdf>. (Consulta Octubre de 2012).
- WHO. 2009. Health Organization. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2009. Alemania: World Health Organization.
- WHO. 2010. World Health Organization. The WHO recommended classification of pesticides by hazards and guidelines to classification: 2009. World Health Organization. Ginebra. 81 pp.
- Xeouradio. 2014. Abandono de invernaderos de jitomte  
<http://www.xeouradio.com/2009/10/03/en-la-mixteca-se-reporta-30-de-abandono-en-invernaderos-de-jitomate/> (Consulta abril 2014).
- Xia, Y; Bian, Q; Xu, L; Cheng, S; Song, L; Liu, J; Wu, W; Wang, S; Wang, X. 2004. Genotoxic effects on human spermatozoa among pesticide factory workers exposed to fenvalerate. *Toxicology* 203, 49-60.
- Zabeltitz, C. V. 2002. Greenhouse structures. In: G. Stanhill and H. Z. Enoch (eds.). *Ecosystems of the world 20: Greenhouse ecosystems. Elsevier Sciences B. V. The Netherlands. 17-71 pp.*

- Zabeltitz, C. V. 1998. Greenhouse structures. En G. Stanhill y H. Z. Enoch (eds.), *Ecosystems of the World*, 20: greenhouse ecosystems. Amsterdam: Elsevier: 17-69 pp.
- Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scie. Hort.* 112:191-199.
- Zhang, W; FuBin, J; Ou1, J. 2011. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences.* 1:125-144.
- 2000agro, 2010. Fracaso de invernaderos hidropónicos en México <http://www.2000agro.com.mx/hidroponia/fracasa-60-de-invernaderos-de-hidroponia-por-falta-de-capacitacion-uach/> (Consulta abril de 2014).
- 2000agro, 2013. Fracaso de invernaderos, inversión millonaria en el estado de Coahuila <http://www.2000agro.com.mx/agriculturaprotegida/a-la-basura-la-millonaria-inversion-en-invernaderos-de-coahuila/>(Consulta abril de 2014).



## CAPÍTULO III.

Artículo publicado en la Revista científica Bio Ciencias 2(4): 261-270 ISSN 2007-3380

DOI: <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.02.04.04>

### Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan Puebla, México

### Characterization and functionality of greenhouses in Chignahuapan Puebla, Mexico

Ortega-Martínez, L.D.<sup>1\*</sup>, Ocampo-Mendoza, J.<sup>1</sup>, Sandoval-Castro, E.<sup>1</sup>, Martínez-Valenzuela, C.<sup>2</sup>, Huerta-De La Peña, A.<sup>1</sup>, Jaramillo-Villanueva, J.L.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Km 125.5 Carr. Fed. México-Puebla (Blvd. Forjadores), Santiago Momoxpan, C.P. 72760. Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México. Tels. 01 (222) 285 0013, 285 1442.

<sup>2</sup>Instituto de Investigación en Ambiente y Salud, Universidad de Occidente, Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional. Los Mochis, Sinaloa. México.

\***Autor correspondiente:** Ortega Martínez, L.D., Colegio de Postgraduados Campus. Fed. México-Puebla (Boulevard Forjadores), Santiago Momoxpan, C.P. 72760. Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México. Tels.: 01(222) 285 0013; 285 1442. Correo electrónico: ldortega@colpos.mx.

### 3.1. Resumen

Se caracterizaron los invernaderos y se evaluó su funcionalidad en el municipio de Chignahuapan, Puebla; mediante un censo se entrevistó a 31 productores que representan el 100 % de invernaderos durante el ciclo agrícola 2011. Inicialmente se realizaron recorridos exploratorios y se aplicó un cuestionario a productores propietarios de invernaderos. A partir de la información obtenida se determinaron por análisis clúster, cinco clasificaciones de invernaderos, una corresponde a tipo multitúnel y las restantes son multitúnel con ventana cenital fija, diferenciados por su tecnología para la producción como acolchados plásticos, hidroponía, sistemas de calefacción y de riego. De acuerdo a su clasificación, se encontraron diferencias significativas en rendimiento de tomate. De la misma forma, los indicadores de funcionalidad: largo, ancho, altura, volumen de superficie y metros cuadrados de ventana del invernadero, mostraron una correlación significativa con el

rendimiento. A partir de estos resultados se podrán desarrollar e implementar estrategias que conlleven a un mejor manejo de invernaderos, así como a la implementación de nuevas técnicas agrícolas para mejorar los rendimientos de los sistemas de cultivo.

PLABRAS CLAVE Agricultura protegida, diseño estructural, sistemas de producción.

### **3.2. Abstract**

Greenhouses were characterized and evaluated for their functionality in the municipality of Chignahuapan, Puebla; in a census, 31 producers were interviewed representing 100 % of greenhouse during the 2011 season. Initially exploratory trips were made and a questionnaire was applied to producers and greenhouse owners. From the information obtained, five classifications of greenhouse were determined by cluster analysis, one corresponding to multitunnel type and the rest are multitunnel with fixed roof window, differentiated by their production technology as padded plastics, hydroponics, heating and irrigation. According to their classification, significant differences in tomato yield were found. Similarly, indicators of functionality: length, width, height, volume and surface square meters greenhouse window, showed a significant correlation with performance. From these results we can develop and implement strategies that lead to better management of greenhouses, as well as the implementation of new agricultural techniques to improve yields of crop systems.

KEY WORDS: Protected agriculture, structural design, production systems.

### **3.3. Introducción**

La agricultura protegida es el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas, entre los que destacan los invernaderos, que tienen como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a la producción de cultivos a libre exposición, su función principal es recrear las condiciones óptimas y apropiadas de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono, para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de

plantas, incrementando la producción en cantidad, calidad y oportunidad comercial (Castañeda *et al.*, 2007; Bastida, 2008; Moreno *et al.*, 2011).

El invernadero es el elemento cualitativamente más importante del sistema de producción en agricultura protegida, debido a que de él depende en gran medida la capacidad productiva (Fernández, 2012), su estructura está conformada por el conjunto de elementos verticales, horizontales y curvos, que son los que le otorgan la forma y resistencia de la carga. Los materiales más comunes que lo constituyen son: madera, fierro o acero, su función es soportar la carga y esfuerzos que ocasionan el montaje de la cubierta; además de los aparatos de climatización o de riego, las plantas y los frutos (Alpi y Tognonni, 1999).

La clasificación de invernaderos se realiza de acuerdo a la tipología, equipos y tecnología utilizada, que considera tres niveles: baja, media y alta (Pieter de Rijk, 2008), NMDCI (2008), los clasifica según al periodo de vida útil, así como a la tolerancia a los desplazamientos de la estructura de cubierta. Es decir, los de clase A: estructuras de invernaderos unitarios o en batería y, la clase B: estructuras tipo casa-sombra, macro y micro túneles, para estos últimos, no existe una línea divisoria bien definida, sin embargo, se ha optado por considerar como elemento de referencia el volumen de aire encerrado por metro cuadrado de piso cubierto (Moreno *et al.*, 2011).

La funcionalidad de los invernaderos se basa en sus características tipológicas y operación, material de cubierta, condiciones climáticas externas, tipo y manejo del cultivo, sistemas de producción y la ventilación, esta última, representa un aspecto fundamental en la funcionalidad de los invernaderos pues de ella depende más que de ningún otro factor. El control de la temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub> son variables climáticas que afectan el desarrollo de las plantas, reflejado en los resultados de producción en cantidad y calidad (Matallana y Montero, 2001; Roy *et al.*, 2002; Pérez, 2002; Castilla, 2004; Castilla y Hernández, 2005; García *et al.*, 2010).

En México, la horticultura protegida en los últimos años está en constante crecimiento y desarrollo. Nieves *et al.*, (2011) mencionan que la información existente sobre agricultura protegida no está lo suficientemente actualizada, es incompleta y no siempre fidedigna.

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en 2007 reportó 12,540 ha; mientras que la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2010 reportó 11,760 ha, cifra menor a lo reportado por el INEGI; por su parte, la Asociación Mexicana de Agricultura Protegida Asociación Civil (AMHPAC) censó 15,300 ha en el mismo año. En el año 2013 la SAGARPA menciona que en México existen 19,985 unidades de cultivo protegido; 66 % corresponden a invernaderos, 11 % a macro túneles, 10 % a casa sombra, 5 % a micro túneles, 5 % techo sombra y 3 % pabellón (SIAP, 2013).

Las discrepancias en la fuente de datos del número de hectáreas reportadas pueden ser causadas por el crecimiento acelerado de invernaderos, la falta de un sistema de registro nacional, y por la definición de agricultura u horticultura protegida, pues la agricultura protegida considera en sus datos a las estructuras con malla sombra, túneles de diferentes dimensiones e incluso las estructuras sin cobertura (Nieves *et al.*, 2011). De la misma forma el abandono y la no permanencia de los invernaderos genera contradicciones, ya que el INEGI en 2007 reportó 18,127 unidades de producción, de las cuales 10,270 unidades (56.6 %) no tienen ventas debido a que la producción es para autoconsumo. En otros casos, son invernaderos que fueron abandonados, como consecuencia de una mala conducción y desarrollo, pues no se generan métodos y técnicas para el productor y acordes con la región, así como la falta de técnicos con conocimientos y experiencia en la producción de cultivos en invernaderos, incertidumbre fitosanitaria, inversión económica alta y el mal diseño de invernaderos (Steta, 2003; Castañeda, 2007; INEGI, 2007; Steta, 2003; Moreno *et al.*, 2011).

Para la producción en invernaderos, la tecnología, investigaciones y formas de investigar han sufrido cambios en el mundo. Por lo que hay una gran necesidad de investigación local con relación a cultivos bajo condiciones de invernaderos, especialmente en países como

México, donde este tipo de tecnología de producción es relativamente nueva para los agricultores (Baeza *et al.*, 2006; Castañeda, 2007; Rico *et al.*, 2007; Vázquez *et al.*, 2007; Acuña *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010; López y Hernández, 2010; Briceño *et al.*, 2011).

Por las razones expuestas, es importante documentar y analizar la situación actual de los invernaderos, lo que ayudaría a referir información básica sobre la tipología dominante en la zona, así como aspectos de diseño, estructurales y funcionales que posibiliten mejorar su diseño, y sentar las bases para futuros estudios. Además, aportará información importante que puedan intensificar esfuerzos en la capacitación y la actualización permanente del personal técnico, jornaleros y agricultores, así como fortalecer acciones para mejorar la producción. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar, documentar las características y la funcionalidad de los invernaderos en el municipio de Chignahuapan, Puebla.

### **3.4. Materiales y Métodos**

La investigación se realizó en el municipio de Chignahuapan, que se localiza en la región morfológica de la Sierra Norte de Puebla, formada por sierras individuales y similares entre los paralelos 19° 39' 42" y 19° 58' 48" latitud norte y 97° 57' 18" y 98° 18' 06" longitud oeste. El clima corresponde a C(w1), templado subhúmedo: con temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la temperatura mínima varía de -3 °C a 18 °C y la máxima de 22 °C. La precipitación total anual varía de 600 a 1000 mm; el porcentaje de lluvia invernal es menor a 5 %, y una altitud promedio de 2,260 m (SMRN, 2007).

La obtención de información, para desarrollar el presente estudio consistió en realizar recorridos de campo, empleando entrevistas a productores con invernadero, mediante un cuestionario semi-estructurado. El mismo se aplicó de manera individual, realizando preguntas cerradas y abiertas, lo que facilitó al productor expresar su opinión. El instrumento consistió de 56 preguntas elaboradas y divididas en 5 secciones: 1) datos generales del productor; 2) producción; 3) comercialización; 4) financiamiento del invernadero; y 5) certificaciones. La caracterización de los invernaderos, se realizó a partir

de indicadores de nivel tecnológico: a) tipología de invernadero; b) material de estructura; c) tipo de cubierta; d) control de factores climáticos; e) sistema de riego y; f) sistemas de producción. También permitió, determinar la extensión y área del mismo; simultáneamente las mediciones de ventanas se realizó mediante un distanciómetro *Blue-ca 740 Precaster®*. Para la evaluación de la funcionalidad con respecto al rendimiento por metro cuadrado, se utilizaron indicadores propuestos por Bouzo *et al.*, (2009), que relacionan las características de los invernaderos con la superficie de suelo.

El criterio para seleccionar a los productores entrevistados, se basó en el inventario de invernaderos del estado de Puebla (SAGARPA, 2008). Los entrevistados representan una superficie sembrada en invernadero de 57,732 m<sup>2</sup> al ser un número pequeño de productores se consideró realizar un censo, que reconociera analizar el 100 % del área total sembrada.

Para la aplicación de las entrevistas, se utilizó el método no probabilístico de bola de nieve, que consiste en localizar a informantes clave que conduzcan hacia los otros participantes. Este método facilita establecer una relación de confianza con los nuevos participantes, también permite acceder a personas difíciles de identificar y proporciona especificar las características de los encuestados (Crespo y Salamanca, 2007).

Dada la variabilidad climática estacional, manejo de cultivo y de plagas de cada año, se optó por las preguntas del ciclo de cultivo anterior, para facilitar la respuesta y su veracidad; la encuesta fue aplicada de octubre a diciembre de 2011. El procesamiento estadístico de la información contempló las variables categóricas y frecuencias, un ANOVA, prueba de Tukey, correlaciones y análisis de componentes principales con el programa estadístico SPSS.

### **3.5. Resultados y Discusión**

Se entrevistó a 29 productores que representan el 86.6 % de la superficie total cubierta por invernaderos, el restante está fuera de servicio o no accedieron a responder la entrevista.

De los encuestados 38 % fueron del sexo femenino y 62 % masculino con edad promedio de 37.4 años y 6 años de escolaridad. El 100 % sabe leer y escribir, y manifestaron que el invernadero y la tecnología que adoptaron se basaron en sus posibilidades económicas y de gestión, y no a las necesidades del cultivo o características agroclimáticas de la zona. En general estos resultados coinciden con lo mencionado por Fernández *et al.* (2006). El invernadero lo obtuvieron con apoyos estatales o federales e inversión propia, el promedio de tiempo que llevan laborando en el invernadero es de 2.6 años. Aunque 78 % realizó actividades económicas distintas al invernadero, principalmente en el sector primario. Una mayoría de ellos (75 %), afirma que reciben asesoría técnica para la producción, mientras que el 100 % no tiene vinculación con algún centro de investigación o universidad, resultados similares a los mostrados por Padilla *et al.* (2012).

El total de los productores (100 %) refirió cultivar tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con un promedio de superficie por productor de 1,690 m<sup>2</sup>, que significó un rendimiento promedio de 194 t ha<sup>-1</sup>. El 86 % vende su producción en presentación a granel de manera local y el restante fuera del estado. El 100 % indicó no realizar un esquema de agricultura por contrato; además, no cuenta con alguna certificación de inocuidad, calidad o buenas prácticas agrícolas. Por otra parte, se encontró que la principal fuente de abastecimiento de agua para la producción, proviene de ríos y manantiales, aunque, el 27.5 % mencionó utilizar agua potable.

Por otra parte, el 100 % utiliza y manipula plaguicidas, pues mencionan que sin su uso los rendimientos disminuyen drásticamente, de tal forma que 93.1 % indican que su cultivo tuvo enfermedades causados por hongos, principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y pudrición blanca (*Botrytis cinerea*). En cuanto a la presencia de bacterias como cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis*), el 37.9 % las señaló como un problema importante. Las virosis estuvieron presentes en el cultivo, el 41.4 % lo expresaron. El 69 % manifestó la presencia de plagas, principalmente por vectores como la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y áfidos, estas enfermedades también son mencionadas por Borboa *et al.*, (2009), Rodríguez *et al.*, (2011) y Ruiz *et al.*, (2011).

## **Caracterización de los invernaderos**

Los invernaderos de los productores encuestados en este municipio, están situados y dispersos en una zona con bajas temperaturas e inversión térmica (helada), principalmente en los meses de invierno (SMRN, 2007), por lo que el 100 % de los productores no realiza ninguna actividad productiva durante este periodo. Resultados similares fueron mencionados por Moreno *et al.*, (2011), quienes señalan que los invernaderos en México se han ubicado donde decidió el inversionista, y no necesariamente donde se tienen las mejores condiciones climáticas para producir a menor costo. Sin embargo, estos resultados son distintos a los mostrados por Briassoulis *et al.* (1997), Von *et al.* (2000), García *et al.* (2010), quienes señalaron que la concentración de invernaderos, se observa en regiones con condiciones climáticas favorables, para el cultivo durante todo el año.

El 100 % emplea el polietileno como material de cubierta que es un plástico flexible resultados que concuerdan con los reportados por Díaz (2001). El 20.6 % de los invernaderos están orientados de norte a sur, por lo que su iluminación interna es más uniforme y más constante, debido a los ángulos de incidencia de los rayos solares para la transmisión porcentual de luz en diferentes periodos del año (Matallana y Montero, 2001). El resto de los invernaderos están orientados en distintos ángulos, en donde se observó un exceso de polvo en la cobertura plástica; además, la baja radiación en la zona de estudio minimizan la penetración de la luz y maximiza el sombreado de las plantas a lo largo del día, lo que limita la tasa fotosintética (Wang y Boulard, 2000; Bouchet, 2003), y el rendimiento, asumiendo que éste es proporcional a la integral lumínica (Bailey y Richardson, 1990). Por lo tanto, algunos aspectos que inciden en la transmisión de la radiación como el ángulo de techo, el tipo de invernadero y la transmisión hacia el interior son mencionados por varios autores (Bouzo y Pilatti, 1999; Geoola *et al.*, 2000; Castilla, 2001; Iglesias y Muñoz, 2007), o el aumento en el número de invernaderos adosados lateralmente (Bouzo *et al.*, 2009), son importantes debiendo considerarse para mejorar la transmisión de la radiación solar principalmente durante los meses invernales.



El 93 % de los invernaderos cuenta con cámara sanitaria con doble puerta para acceso al interior, este es un cuarto hermético frecuentemente con temperaturas mayores a los 40 °C, une los puntos de comunicación entre el interior y el exterior del mismo y su función es evitar la entrada de patógenos y vectores; sin embargo, es utilizada como almacén de plaguicidas, fertilizantes, alimentos, ropa, maquinaria agrícola, entre otros materiales.

Dentro de la cámara sanitaria el 100 % cuentan con tapete fitosanitario con el fin de desinfectar el calzado de las personas, o las ruedas del equipo que tienen acceso a las instalaciones, pero no lo utilizan.

El 100 % de invernaderos son de baja tecnología según la clasificación de Pieter de Rijk (2008) y de García *et al.* (2010), quienes indican que genera vulnerabilidad en el sistema, estos resultados son similares a lo mencionado por Moreno *et al.* (2011). También se encontró que el 100 % cuentan con tecnología de riego por goteo, y solo 17.2 % calefacción. Con estos resultados, el análisis de clúster mediante la tipología de los invernaderos, materiales de construcción y cubierta, así como de sus elementos tecnológicos, permitió establecer 5 niveles de clasificación (Tabla 1).

**TABLA 1.** Clasificación de invernaderos por tipología y componentes en Chignahupan, Puebla.

Clasificación	Tipo de invernadero	Material de construcción/cubierta	Sistema de Producción	Control climático	%
A	Macro túnel	Madera y plástico	Suelo y acolchado	Nulos	6.8
B	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Suelo y acolchado	Nulos	31.0
C	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Suelo y acolchado	Calefacción	13.7
D	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Sustrato y tezontle	Nulos	31
E	Para clima templado con ventana cenital	Acero y plástico	Sustrato y tezontle	Calefacción programador de riego	17.2

Fuente: Información obtenida del estudio.

En la tipología de invernaderos, los clasificados como A son invernaderos tipo macro túnel de estructura de madera, dependientes del ambiente exterior con Sistema de riego por goteo, los clasificados como B, C, D y E son invernaderos para clima templado con ventana cenital, de estructura acero, y riego por goteo. La diferencia en estos invernaderos radica en el método de cultivo, ya sea suelo con acolchado plástico, sustrato tezontle y con control climático, que incluye a los calefactores, lo cual es similar a los resultados reportados por Grijalva *et al.*, (2011) y Luna (2011).

Para la producción, 51.7 % utiliza acolchado plástico sobre el suelo, con un promedio de 18 kg/m<sup>2</sup>, el restante 41.3 % utiliza hidroponía con sustrato tezontle, y un promedio de 19.7 kg/m<sup>2</sup>. Resultados similares a los 17.2 kg m<sup>2</sup> que fueron reportados por Ortiz (2004), pero inferiores a los obtenidos por Bernabé y Solís, (1999). Mientras que 25.5 kg/m<sup>2</sup> fue el valor en los invernaderos tipo A, con promedio de 9 kg/m<sup>2</sup>, menor a los mostrados por Ortega *et al.*, (2010); quienes mencionan 24.0 kg/m<sup>2</sup>.

La diferencia de rendimiento (Tabla 2) puede estar influenciada por el tipo de invernadero: en ventilación, temperatura, humedad y la concentración de dióxido de carbono, lo cual afecta el desarrollo y crecimiento de los cultivos tal como lo mencionan Coelho *et al.*, (2006), que compararon el comportamiento de los parámetros internos temperatura y humedad del aire con una gestión diferente de la ventilación natural y tipo de invernadero.

**Tabla 2.** Rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) según la clasificación de invernadero.

Clasificación de invernaderos	Rendimiento de tomate kg m <sup>-2</sup>
Tipo A (túnel, suelo acolchado, sin calefacción)	10.5a
Tipo B (con ventana cenital, suelo acolchado, sin calefacción)	18.5b
Tipo C (con ventana cenital, suelo acolchado, con calefacción)	18.1b
Tipo D (con ventana cenital, sustrato tezontle sin calefacción)	19.1b
Tipo E (con ventana cenital, sustrato tezontle con calefacción)	19.3b

Medias con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales (p<0.05).

No obstante, Cook y Calvin (2005), mencionan que los nuevos productores en el negocio de los invernaderos no logran de inmediato los rendimientos potenciales esperados en la adopción de tecnologías que aplican.

No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de tomate entre los grupo B, C, D y E, a pesar de utilizar distintos sistemas de producción con sustratos y suelo (Tabla 1). Estos resultados son similares a los reportados por Ojo de Agua *et al.*, (2008). De igual forma, no se encontró diferencia significativa en los invernaderos con control climático (E) en rendimiento, contrario a lo mencionado por Díaz *et al.*, (2001) y Castilla (2005), probablemente consecuencia de que la calefacción es utilizada únicamente cuando existe la posibilidad de inversión térmica (helada), y no para mantener una temperatura nocturna constante; de la misma forma, el productor no usa los calefactores justificando el alto costo de la fuente de energía (gas licuado del petróleo); no obstante, el tipo de invernaderos mostró diferencias significativas y una correlación significativa con respecto al rendimiento (Tabla 3).

**TABLA 3.** Correlaciones entre rendimiento y distintas tecnologías aplicadas en invernadero.

	Tipo de invernadero	Control climático	Sistema de producción
Rendimiento	0.82**	0.28	0.36
Tipo de invernadero	1	0.18	0.01
Control climático		1	0.10

\*La correlación es significativa al nivel 0.05.

\*\*La correlación es significativa al nivel 0.01.

### **Análisis de indicadores calculados**

Los valores medios de los indicadores de funcionalidad de los invernaderos se presentan en el tabla 4. El rendimiento por metro cuadrado, mostró una correlación significativa con los siguientes indicadores: largo, altura y cuadrados de ventana, esto puede ser debido, a que la interacción de estos indicadores aumenta la superficie y volumen del invernadero. La influencia en las condiciones climáticas y de ventilación en el interior (Tabla 2), difieren en los resultados que obtuvieron Bouzo *et al.*, (2009), quienes mencionan que una mayor

superficie de invernadero posibilita el incremento de los problemas de ventilación, y disminuye el rendimiento. No obstante, los invernaderos tipo A, mostraron una altura máxima al cenital de 4 m, de tal forma que el volumen de invernadero y los metros cuadrados de ventana se ven afectados, en cambio el rendimiento mostró diferencias significativas con respecto a los tipos B, C y D, lo que coincide con lo indicado por Bouchet *et al.*, (2007), quienes destacan que el incremento en la superficie de ventana es favorecida con invernaderos de mayor altura; además estos tienen un comportamiento sujeto a fluctuaciones menores de la temperatura en comparación a invernaderos de escaso volumen.

Para los indicadores sobre ventilación de invernadero, los resultados muestran una superficie media de 350.3 m<sup>2</sup> de ventanas, con una correlación significativa entre largo, ancho, volumen de superficie y el rendimiento por metro cuadrado (Tabla 4 y 5).

**Tabla 4.** Valores medios de los indicadores de funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan, Puebla.

Invernadero	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Largo (m)	47	145	71.6	32.9
Ancho (m)	20	64	26.0	13.3
Altura (m)	4	7.8	7.1	0.8
Volumen	4.160	71.885	15.858	18.298
Superficie (m <sup>2</sup> )	960	9.280	2.193	2.457
Ventana (m <sup>2</sup> )	204	808	350.3	176.4

**TABLA 5.** Correlaciones entre el rendimiento m<sup>-2</sup> con indicadores de funcionalidad de invernadero.

Invernadero	Largo	Ancho	Altura	Volumen	Superficie	m <sup>2</sup> de ventana
Rendimiento m <sup>-2</sup>	0.444*	0.257	0.862**	0.355	0.311	0.443*
Largo	1	0.788**	0.226	0.880**	0.881**	0.963**
Ancho		1	0.151	0.977**	0.981**	0.901**
Altura			1	0.227	0.164	0.256
Volumen				1	0.995**	0.956**
Superficie					1	0.959**

\*La correlación es significativa al nivel 0.05

\*\*La correlación es significativa al nivel 0.01

Estos resultados, pueden estar influenciados, como se mencionó anteriormente, por las características climáticas mismas que se generan, según Montero *et al.*, (2001) y Connellan (2002), los metros cuadrados de ventana con la superficie de suelo establecen una relación directamente proporcional con la tasa de ventilación del invernadero. También el 100 % de los invernaderos utiliza la ventilación natural para controlar altas temperaturas y promover la renovación del aire, resultados similares fueron reportados por Molina *et al.*, (2004) y López *et al.*, (2007).

Los invernaderos para clima templado con ventana cenital a diferencia del tipo multitúnel, evitan cambios bruscos que afecten el cultivo. Al ser estructuras altas, protegen el cultivo de temperaturas mayores. No obstante, el área total de ventilación fue de 23.6 %, este resultado es menor a lo propuesto por Hanan (1998), quien menciona que no debe ser menor del 30 % del área cubierta. Aunque estos resultados coinciden con lo indicado por la FAO (1990), Zabeltitz (1990), Montero *et al.*, (2001) y Connellan (2002). Se considera que para una eficiente ventilación natural pasiva, el valor debe ser al menos de 25 %.

### **3.6. Conclusiones**

Los resultados mostraron dos tipos de invernaderos en la zona de estudio, el primero para clima templado con ventana cenital; el segundo macro túneles, ambos de baja tecnología, clasificados en cinco grupos diferenciados por su tipología, material de construcción y cubierta, sistemas de producción, control climático y por el rendimiento.

A pesar de utilizar distintos sistemas de producción, no se encontraron diferencias significativas en rendimiento, en cambio, los indicadores de funcionalidad mostraron una correlación entre las características del invernadero con el rendimiento.

A partir de estos resultados se podrán desarrollar e implementar estrategias que conlleven a su mejor manejo, así como a la implementación de nuevas técnicas agrícolas para mejorar los rendimientos de los sistemas de cultivo.

### 3.7. Literatura citada

- Acuña, C. y John, F. 2009. Control climático en invernaderos. Ingeniería e Investigación 3: 149-150.
- Alpi, A. y Tognoni, F. 1999. Cultivo en invernadero. 3a Edición. Mundi-prensa Madrid, España. 347 pp.
- Baeza, E., Pérez, P., López, J. y Montero, J. 2006. CFD study of the natural ventilation performance of a Parral type greenhouse with different numbers of spans and roof vent configurations. Acta Horticulturae 719: 333-340.
- Bailey, B. y Richardson, G.A. 1990. Rational approach to greenhouse design. Acta Horticulturae 281: 111-118.
- Bastida, A. 2008. Los Invernaderos en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 123 pp.
- Bernabe, A. y Solis, V. 1999. Evaluación del rendimiento, calidad y precocidad y vida de anaquel de 21 genotipos de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mil.) en invernadero en Chapingo (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Chapingo México.
- Borboa, F., Rueda, P., Acedo, F., Ponce, J., Onécimo, G. y García, O. 2009. Detección de *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis* en el tomate del estado de Sonora, México. Revista Fitotecnia Mexicana 32(4): 319-326.
- Bouchet, E., Freyre, C., Bouzo, A. y Favaro, J. 2007. Efecto de las dimensiones de un invernadero sobre la temperatura interna en períodos cálidos. Revista Científica Agropecuaria 11(2): 111-119.
- Bouchet, E., Freyre, C. y Bouzo, C. 2003. Relación entre la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa de una cubierta plástica y el ángulo de incidencia solar, Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias 1(2): 7-14.
- Bouzo, C., Gariglio, N., Favaro, J. y Vera, C. 2009. Survey and technical analysis of the greenhouses in Cordoba and Santa Fe provinces. Horticultura Argentina 28(67): 24-36.
- Bouzo, C. y Pilatti, R. 1999. Evaluación de algunos factores que afectan la transmisión de la radiación solar en invernaderos. Revista FAVE 13(2): 13-19.

- Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Gratraud, J. y Von, E. 1997. Mechanical properties of covering materials for greenhouses, Part I: a general overview. *Journal of Agricultural Engineering Research* 67: 81-96.
- Briceño, M., Leyde, Y., Ávila, M., Manuel, V., Jaimez, A. y Ramón, E. 2010. Modelo de simulación del microclima de un invernadero. *Agrociencia* 2: 801-813.
- Castañeda, M., Rodrigo, V., Ramos, E., Peniche, V. y Rebeca del R. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia* 3: 317-335.
- Castilla, N. Invernaderos de plástico. 2005. Tecnología y manejo. 2a edición. Madrid: Editorial Mundiprensa, 462 pp.
- Castilla, N. 2001. La radiación solar en invernadero en la costa Mediterránea Española Incorporación de Tecnología al Invernadero mediterráneo. 1a edición Almería: Editorial Cajamar, 35 pp.
- Castilla, N. y Hernández, J. 2005. The plastic greenhouse industry of Spain. *Chronica Horticulturae* 45(3): 15-20.
- Coelho, M., Baptista, F., Fitas, C., García, J. 2006. Comparison of four natural ventilation strategies in a Mediterranean greenhouse. *Acta Horticulturae* 719: 157-164.
- Connellan, G. 2002. Selection of greenhouse design and technology options for high temperatura regions. *Acta Horticulturae* 578: 113-117.
- Cook, R. y Calvin, L. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. *Economic Research Report*, 2.
- Crespo, M. y Salamanca, C. 2007. El muestreo en la investigación cualitativa. *Revista Nure Investigación* 27: 1-4.
- Díaz, T., Espí, E., Fonseca, A., Jiménez, J.C. y Samerón, A. 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. 1a. edición. Madrid: editorial Mundi-Prensa, 315 pp.
- F.A.O. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. *FAO Plant Production and Protection Paper*. 1a. edición. Roma: editorial assistance provided, 313 pp.
- Fernández, S.C. 2012. Análisis y Evaluación de riesgos de incidencias naturales en el sistema productivo agrario intensive de Almería. (Tesis de doctorado) Universidad de Almería. España.

- Fernández, Z.M., Pérez, A. y Caballero, P. 2006. Análisis económico de la tecnología de los invernaderos mediterráneos: aplicación en la producción del pimiento. ITEA, 102(3): 260-277.
- García, M.C., Balasch, S.F., Alcon, M.A. y Fernandez, Z. 2010. Characterization of technological levels in Mediterranean horticultural greenhouses. Spanish Journal of Agricultural Research 8(3): 509-525.
- Geoola, F., Kashti, Y. y Peiper, U.M. 2000. Solar radiation transmissivity of greenhouse cladding materials. Acta Horticulturae 534: 109-116.
- Grijalva, C., Macias, D. y Robles, C. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. Trop subtrop agroecosyt 14: 675-682.
- Hanan, J. Greenhouses. Advanced technology for protected horticulture. Boca Raton, CRC Press 1998; 684 pp.
- Iglesias, N. y Muñoz, A. 2007. Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. Horticultura Argentina 26 (60): 10-16.
- INEGI. 2007. Instituto nacional de geografía e informática Censo Agropecuario. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.
- López, C., Rojano, A., Ojeda, B. y Salazar, M. 2007. Modelos ARX para predecir la temperatura del aire de un invernadero: una metodología. Agrociencia 1: 181-192 .
- López, C. y Hernández, L. 2010. Modelos neuro-difusos para temperatura y humedad del aire en invernaderos tipo cenital y capilla en el centro de México. Agrociencia 44: 791-805.
- Luna, G. 2011. Producción de autoindicadores y biopelículas microbianas y su relación con la calidad y composición química de jitomate cultivado en la región de Aquixtla Puebla. (Tesis de doctorado) Colegio de postgraduados Campus Puebla.
- Matallana, G. y Montero C. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. 2ª Edición. Madrid: Mundi-prensa, 2001. 209.
- Molina, F., Valera, D. y Alvarez, A. 2004. Measurements and simulation of climate inside Almería-type greenhouses using computational fluid dynamics. Agricultural and Forest Meteorology 125: 33-51.



- Montero, J., Antón, A., Kamaruddin, R. y Bailey, B. 2001. Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouses using small scale models. *Journal of Agricultural Engineering Research* 79:213-222.
- Moreno, R., Aguilar, D. y Luévano, G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 29; 763-774.
- Nieves, G., Van der, Valk V. y Elings, A. 2011. Mexican protected horticulture. Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed Wageningen UR Greenhouse Horticulture. Landbouw Economisch Instituut. The Hague. Ministre of Economic Affairs. Rapport GTB 1. 126.
- Ojo de agua, A., Castellanos, R., Muñoz, R., Alcántar, G., Chávez, V. y Enríquez, R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4): 367-374.
- Ortega, M., Sánchez, O., Ocampo, M., Sandoval, C., Salcido, R. y Manzo, R. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero Ra Ximhai 2010; 6(3): 365-372.
- Ortiz, G. 2004. Comparación de la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía y suelo bajo invernadero en Miahuatlan, Puebla (Tesis licenciatura). Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Padilla, B., Reyes, R. y Pérez, V. 2004. Evaluación de un cluster bajo agricultura protegida en México. *Contaduría y Administración* 2012: 57 (3): 219-237.
- Pérez, J., López, J. y Dolores, F. 2002. La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense 2a. edición Madrid: Editorial Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, 235.
- Pieter de, Rijk. Evolución del sector de agricultura protegida en México [serie en internet] 2008. En: <http://www.amhpac.org/> contenido/plan, última consulta: 30 de enero de 2010.
- Ramos, F., López M. Lafont, F., Enea, G. y Duplaix, J. 2010. Una estructura neurodifusa para modelar la evapotranspiración instantánea en invernaderos". *Ingeniería. Investigación y Tecnología* 127-139.

- Rico, G., Castañeda, M., García, E., Lara, H.A. y Herrera, R. 2007. Accuracy comparison of a mechanistic method and computational fluid dynamics (cfd) for greenhouse inner temperature predictions. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13(2): 207-212.
- Rodríguez, A., García, L. y Fernández, P. 2011. Enfermedades del jitomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero en la zona centro de Michoacán, México. *Revista Mexicana de fitopatología* 29: 50-60.
- Ruiz, N., Guzmán, G. y Pérez, L. 2011. Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 2: 129-137.
- Roy, J., Boulard, C., Kittas y Wang, S. Convective and ventilation transfers in greenhouses. *Biosystems Engineering* 2002. 83: 1-20.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Inventario de invernaderos del estado de Puebla. [Serie en internet] 2008. En: <http://www.oedrus-puebla.gob.mx/RID.pdf>. Última consulta: 12 de mayo de 2012.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Boletín semanal del SIAP de la SAGARPA, 2.
- SMRN. 2007. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico Socioeconómico y de Manejo Forestal
- Unidad de Manejo Forestal Zacatlán. Asociación Regional de Silvicultores Chignahuapan-Zacatlán A. C., 281.
- Vázquez, R., Sánchez C. y Moreno, P. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero”. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13(1): 55-62.
- Von, E., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Zabeltitz, Ch., Gratraud, J., et al. 2000. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Agricultural Engineering Research* 75: 1-16.
- Wang, S. y Boulard, T. 2000. Measurement and prediction of solar radiation distribution in full-scale greenhouse tunnels. *Agronomie* 20: 41-50.
- Zabeltitz, C. 1990. Greenhouse construction in function of better climate control. *Acta Horticulturae* 263: 357-374.

## CAPÍTULO IV.

Artículo publicado en la revista científica *Acta Universitaria*, 24(3), 3-12  
DOI: 10.15174.au.2014. 570.

**Uso y manejo de plaguicidas en invernaderos de la región norte del estado de Puebla,  
México**

**Use and management of pesticides in greenhouses in the northern state of Puebla,  
Mexico**

Luis Daniel Ortega Martínez,\* Carmen Martínez Valenzuela,\*\* Arturo Huerta de la Peña,\* Juventino Ocampo  
Mendoza,\* Engelberto Sandoval Castro,\* José Luis Jaramillo Villanueva \*

### 4.1. RESUMEN

Se evaluó el uso y manejo de plaguicidas en invernaderos de Chignahuapan, Puebla, México; mediante un censo se entrevistó y aplicó un cuestionario a 31 jornaleros que laboran en 57 732 m<sup>2</sup> de invernadero que representan el 100% de área total durante el ciclo agrícola 2011. Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Los resultados muestran que el 100% de los jornaleros utiliza plaguicidas; el grupo químico y plaguicida más empleados fueron los carbamatos y mancozeb, respectivamente, y el 82.7% de los usuarios mezcla los compuestos. El 100% no utiliza equipo completo de protección personal, el 10.3% ha presentado síntomas de intoxicación, el 75.8% incineran los envases de plaguicidas dentro del invernadero. Los resultados demuestran la necesidad de postular,

---

\* Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Km 125.5, Carretera Federal México-Puebla, Santiago Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula, Puebla (Blvd. Forjadores), C.P. 72760. Tels.: (222) 2 85 00 13, 2 85 14 42 y 3 24 77 90. Correo electrónico: [Ldortega@colpos.mx](mailto:Ldortega@colpos.mx)

\*\* Instituto de Investigación en Ambiente y Salud, Universidad de Occidente. Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional, Los Mochis, Sinaloa, C.P. 81256.

desarrollar e implementar estrategias que conlleven a un mejor uso y manejo de los plaguicidas en invernaderos.

#### **4.2. ABSTRACT**

The use and management of pesticides in greenhouse in Chignahuapan, Puebla, Mexico, was evaluated, a census was applied during the 2011 season and a questionnaire was given to 31 laborers working in 57.732 m<sup>2</sup> greenhouses representing 100% of total area. The data obtained were analyzed using descriptive statistics. The results show that 100% of the laborers used pesticides and chemical pesticides, carbamates and mancozeb were the most used, 82.7% of users applied a mixture of them. 100% does not use full personal protective equipment, 10.3% presented symptoms of poisoning, 75.8% incinerated the pesticide containers inside the greenhouse. The results demonstrate the need to apply, develop and implement strategies that lead to a better use and management of pesticides in greenhouses.

Palabras clave: agricultura protegida; plagas; conductas de uso de plaguicidas; exposición ocupacional.

Keywords: protected agriculture; pests; pesticide use behaviors; occupational exposure.

#### **4.3. INTRODUCCIÓN**

La horticultura protegida es el sistema de producción realizado bajo diversas estructuras y cubiertas, entre los que destacan los invernaderos; su función principal es establecer las condiciones de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono óptimas y apropiadas para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas (Castañeda,

Ventura, Peniche & Herrera, 2007; Sammons, Furukawa & Bulgin, 2005). Sin embargo, al igual que para las plantas, estas condiciones son ideales para el crecimiento y desarrollo de organismos tanto benéficos como perjudiciales, por lo que se originan plagas y enfermedades que implican mayor riesgo económico por tratarse de un sistema intenso de producción. Por tal motivo se recurre de manera continua a diferentes agentes químicos para la eliminación de dichos riesgos (Muiño *et al.*, 2007).

Los plaguicidas representan una de las familias de agentes químicos más empleados por el hombre, y se considera la medida más eficiente para el control de plagas agrícolas. Son utilizados ampliamente en todo el mundo, sin embargo la exposición a éstos sigue siendo un problema importante de contaminación al ambiente y daños en la salud de los seres humanos (Bortoli, Azevedo & Silva, 2009; Muñoz, 2011).

Los plaguicidas se han agrupado en insecticidas, acaricidas, herbicidas, nematocidas, fungicidas, molusquicidas y rodenticidas. La Organización Mundial de la Salud, más bien, hace su clasificación en función del riesgo que implican para la salud (OMS, 2009). Esta clasificación ordena la toxicidad en números del I al IV: extremadamente tóxicos, muy tóxicos, moderadamente tóxicos y ligeramente tóxicos (Cicoplafest, 2004; WHO, 2009). Sin embargo, la manera más frecuente de clasificarlos es con base en su estructura química, identificándose cinco grupos principales: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y triazínicos, y actualmente los denominados *neonicotinoideas* (Calderón *et al.*, 2012).

Las exposiciones ocupacionales a plaguicidas ocurren en agricultores, jornaleros de campo, obreros industriales, exterminadores de plagas, trabajadores de invernaderos, entre otros, por el uso de estos productos. De igual forma, la población en general está expuesta a través de las cadenas tróficas al consumir alimentos contaminados por estos compuestos, por el empleo de insecticidas de uso doméstico, por dispersión en el ambiente, etcétera (Bolognesi, 2003; Guillén, Serrano, Candau, Camino, Parrón y Marín, 2003).

En los invernaderos, la circulación de aire es insuficiente, provocando que se incremente la concentración del dióxido de carbono, la humedad relativa, las temperaturas. Asimismo, es frecuente que los jornaleros no respeten o no conozcan las instrucciones de uso y manejo de los plaguicidas, lo que aumenta la exposición, el riesgo y la probabilidad de afectación para la salud de las personas que trabajan en ellos (Acaccia, Michelini, Molfino & Razzoli, 2003; Sammons *et al.*, 2005).

A pesar del alto riesgo que se presenta por el uso de los plaguicidas en invernadero, en México existen pocos reportes de intoxicaciones provocadas por estos compuestos en los trabajadores agrícolas (Durán & Collí, 2000), quienes por sus condiciones sociales, laborales y culturales minimizan el riesgo para su salud (Haro, Chaín, Barrón & Bohórquez, 2002), o bien, ignoran el peligro que enfrentan y que pone en riesgo su vida (Tinoco & Halperin, 2001). Hay, además, fallas de operatividad en la legislación vigente que está orientada a sólo regular el registro y comercialización de los plaguicidas (Ruiz, Ruiz, Guzmán & Pérez, 2011).

A nivel mundial, la mortalidad por intoxicación con plaguicidas alcanza la cifra de 220 mil defunciones al año (Eddleston *et al.*, 2002). Además de la gran cantidad de productos que se aplican, existe el problema de la recolección, tratamiento y disposición final de envases vacíos de plaguicidas y residuos sólidos y biológicos que se generan en invernaderos, pues se estima que originan 0.1 toneladas de residuos plásticos por ha y año (Ferrer & Dolores, 2010; Martínez Gómez, Villalobos, Waliszewski, Félix & Álvarez, 2009).

En el estado de Puebla se ha promovido la agricultura protegida como una alternativa de desarrollo agrícola, a tal grado que es la entidad con mayor número de unidades de producción (Sagarpa, 2008). Al ser un sistema intensivo de producción se recurre de manera constante a plaguicidas, por lo que el adecuado conocimiento de su uso y manejo es un requisito básico, que constituye un elemento fundamental para orientar y estructurar estrategias que contribuyan a optimizar el uso de estos compuestos, sentando las bases para futuros estudios de evaluación de los efectos de estos productos en la salud humana y los ecosistemas. Además, para aportar información importante para las autoridades sanitarias y reguladoras que puedan intensificar esfuerzos en la capacitación y la actualización permanente del personal técnico, jornaleros y agricultores, así como fortalecer acciones de prevención y educación hacia la comunidad. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar y documentar, de manera precisa, el uso y manejo de plaguicidas en invernaderos del municipio de Chignahuapan, Puebla.

#### **4.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó en el municipio de Chignahuapan, localizado en la región morfológica de la Sierra Norte del estado de Puebla, entre los paralelos 19° 39' 42" y 19° 58' 48" latitud norte y 97° 57' 18" y 98° 18' 06" longitud oeste. El clima corresponde a C (w1), templado subhúmedo: temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C. La precipitación total anual varía de 600 mm a 1000 mm (SMRN, 2007).

La información para desarrollar el presente estudio transversal se obtuvo empleando entrevistas semiestructuradas, mediante una autorización personal por escrito; se aplicó un cuestionario de manera individual y en privado a los trabajadores del invernadero que contenía preguntas cerradas y abiertas, lo que facilitó expresar su opinión. El cuestionario aplicado consistió de 53 preguntas, divididas en seis secciones: 1) características sociodemográficas de la población en estudio, 2) características del invernadero, 3) historial laboral, 4) plaguicidas utilizados en el año de estudio, 5) análisis de riesgo laboral, uso de equipo de protección personal para el manejo de plaguicidas, almacenaje de los productos, 6) manejo de los residuos biológicos, químicos y envases.

El criterio para seleccionar a los productores entrevistados se basó en el inventario de invernaderos del estado de Puebla (Sagarpa, 2008). Los entrevistados representan una superficie sembrada en invernadero de 57 732 m<sup>2</sup>, al ser un número pequeño de productores se consideró realizar un censo, que reconociera analizar el 100% del área total sembrada.

Para la aplicación de las entrevistas se utilizó el método no probabilístico de bola de nieve, que consiste en localizar a informantes clave que conduzcan hacia los otros participantes.



Este método facilita establecer una relación de confianza con los nuevos participantes, también permite acceder a personas difíciles de identificar, y hace posible especificar las características de los encuestados (Crespo & Salamanca, 2007).

Dada la variabilidad climática estacional y de plagas de cada año, se optó por las preguntas del ciclo de cultivo actual para facilitar la respuesta y su veracidad; la encuesta fue aplicada de octubre a diciembre de 2011. Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico SPSS para medir las variables cuantitativas, se utilizaron medidas de tendencia central y de dispersión y para categóricas distribuciones de frecuencias.

#### **4.5. RESULTADOS**

##### **Características de la población en estudio**

Se entrevistó a 29 productores que representan el 86.6% de la superficie total cubierta por invernaderos, el restante está fuera de servicio o no accedieron a responder la entrevista.

De los encuestados, 11 fueron del sexo femenino y 18 del masculino, con promedio de edad de 37.4 años con rango de 18 a 60 años, y una desviación estándar de 12.5, y seis años de escolaridad con rango de 3 a 12 años y una desviación estándar de 2,5; el 100% sabe leer y escribir, el 78.1% realiza actividades económicas distintas al invernadero, principalmente en el sector primario; y el 100% refirió utilizar y manipular plaguicidas, y cultivar tomate (*Lycopersicon esculentum* Mil) en un promedio de superficie por productor de 1 690 m<sup>2</sup>.

### **Características de los invernaderos**

El 93% de la superficie de invernaderos es del tipo diseñado para clima templado, y constan de estructura de fierro con ventila cenital fija y perimetral manual, con malla antiáfidos, mientras que el restante son invernaderos rústicos con estructura de madera; el 100% utiliza riego por goteo; el 44.8% utiliza el sistema hidropónico en bolsas con sustrato de tezontle; y el 55.2% suelo con acolchado plástico.

El 100% de los invernaderos inspeccionados presentó hules rotos o con rasgaduras, por lo cual es incompleta la función de barrera física contra patógenos o vectores. El 93.1% cuenta con cámara sanitaria con doble puerta para acceso al invernadero, que es un cuarto hermético, frecuentemente con temperaturas mayores a los 40 °C una los puntos de comunicación entre el interior y el exterior del mismo, y su función es evitar la entrada de patógenos y vectores; sin embargo, es utilizada principalmente como bodega para el almacén de plaguicidas, fertilizantes, alimentos, ropa, maquinaria agrícola, entre otros. Dentro de la cámara sanitaria, el 100% cuenta con tapete fitosanitario que es un recipiente o poza que contiene una solución antiséptica, el cual se coloca en el suelo con el fin de desinfectar el calzado de las personas o las ruedas del equipo que tienen acceso a las instalaciones, pero no lo utilizan; además, el 100% de invernaderos no cuenta con un sistema de detección o monitoreo de plagas.

### **Historial laboral agronómico**

La producción en agricultura protegida es una actividad agrícola reciente para los productores y jornaleros en la zona de estudio, por lo que el promedio de años trabajando en el invernadero es de 2.6, realizando distintas actividades agronómicas propias al cultivo

de tomate, razón por la cual la exposición a plaguicidas ha sido de manera constante. De la misma forma, el 48.8% refiere haber manipulado plaguicidas previo a su trabajo en invernadero, principalmente en actividades agrícolas, además de que el 100% de los productores manifestó no haber recibido cursos de capacitación para su uso y manejo.

La aplicación de plaguicidas la realizan en promedio de dos veces por semana, y esta actividad se hace entre una y dos horas; el momento de mayor exposición es principalmente por la mañana, entre las 6 y 11 horas, evitando las altas temperaturas que se generan dentro del invernadero.

Los plaguicidas son utilizados con fines preventivos y curativos. La técnica de aplicación consiste en utilizar un aspersor manual para fumigar o mediante el sistema de riego. El 100% de los encuestados refiere que la elección de los productos se basa en las indicaciones del técnico o asesor de la casa de ventas y por recomendación de otros productores. La disponibilidad de asistencia técnica en el área de estudio no asegura, por sí sola, que se haga un empleo racional de los plaguicidas, de tal forma que el 82.7% hace mezclas de compuestos que se justifican por la resistencia de plagas y búsqueda de mejores resultados. El 74.9% no lee lo indicado en la etiqueta, que es una fuente de información básica para las personas que utilizan plaguicidas, tanto en lo referente a las características del producto como a la forma de aplicación y las precauciones para su uso adecuado. Si bien, el grupo restante consultan la etiqueta, éste no la comprende en su totalidad, de tal forma que expresaron no fijarse en la categoría toxicológica debido a no entender el significado de ésta.

El 93.1% refiere que su cultivo tuvo problemas causados por hongos, principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y pudrición blanca (*Botrytis cinerea*), el 37.9% por bacterias como cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis*), 41.4% virosis; asimismo, 69% presentó plagas, principalmente vectores como mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y áfidos.

### Plaguicidas utilizados en el último año

El grupo químico más aplicado es el de los carbamatos y ditiocarbamatos, seguido de los compuestos de cobre, piretroides, entre otros (cuadro I).

Cuadro I. Principales plaguicidas aplicados en invernadero en el ciclo 2011.

Nombre común*	Fórmula química	Grupo químico al que pertenece	Clasificación de peligrosidad	Tipo de plaguicida	Mecanismo de acción
Hidróxido cúprico	$Cu(OH)_2$	Compuestos de cobre	II	Fungicida	C
Propamocarb clorhidrato	$C_9H_{21}ClN_2O_2$	Carbamato	U	Fungicida	S
Mancozeb	$C_4H_6N_2S_4Mn + C_4H_6N_2S_4Zn$	Ditiocarbamato	U	Fungicida	S, C
Benomil	$C_{14}H_{18}N_4O_3$	Benzimisol	U	Fungicida	S, C
Sulfato de cobre	$CuSO_4$	Compuestos de cobre	II	Fungicida	S
Carbofurán	$C_{12}H_{15}NO_3$	Carbamato	Ib	Insecticida	S, C
Maneb	$C_4H_6MnN_2S_4$	Ditiocarbamato	U	Fungicida	C
Zoxamide	$C_{14}H_{16}Cl_3NO_2$	Benzamida	U	Fungicida	S
Cymoxanil	$C_7H_{10}N_4O_3$	Compuesto de cobre	II	Fungicida	S
Fosetil-Al	$C_2H_7O_3P$	Fosfonato	U	Fungicida	S
Imidacloprid	$C_9H_{10}ClN_5O_2$	Neonicotinoides	II	Insecticida	S, C, I
Estreptomina	$C_{21}H_{39}N_7O_{12}$	Antibiótico		Bactericida	S
Metam sodio	$C_2H_4NS_2Na$	Ditiocarbámico	II	Fumigante	C
Betaciflutrin	$C_{22}H_{18}Cl_2FNO_3$	Piretroide	Ib	Insecticida	C
Captam	$C_9H_8Cl_3NO_2S$	Carboxamida	U	Fungicida	C, U
Pirimetanil	$C_{12}H_{13}N_3$	Anilino pirimidina	III	Insecticida	C
Metomilo	$C_5H_{10}N_2O_2S$	Carbamato	Ib	Insecticida	C, I
Cipermetrina	$C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$	Piretroide	III	Insecticida	C, I
Nicosulfurón	$C_9H_{21}O_2PS_3$	Sulfunilurea	U	Herbicida	S

Clorotalonil	$C_8Cl_4N_2$	Aromático policlorado	U	Fungicida	S, C
Quintozeno	$C_6Cl_5NO_2$	Clorobenceno	U	Fungicida	S, C
Tiram	$C_6H_{12}N_2S_4$	Ditiocarbamato	II	Fungicida	C
Diclorán	$C_6H_4Cl_2N_2O_2$	Nitroanilina	III	Fungicida	C
Paratión metílico	$C_8H_{10}NO_5PS$	Organofosforado	Ia	Insecticida	C, I, H

\*Según WHO (2009), la clasificación de peligrosidad: Ia= extremadamente peligroso, Ib= altamente peligroso, II= moderadamente peligroso, III= ligeramente peligroso, U= poco probable que presente riesgo agudo en uso normal. Mecanismo de acción: C= contacto, S= sistémico, I= ingestión, H= inhalación. Fuente: elaboración propia con información de campo, censo de 29 productores de jitomate en invernadero.

Los plaguicidas empleados con mayor frecuencia son los clasificados como poco probable de presentar riesgo agudo en uso normal, seguido de los moderadamente peligrosos, según la clasificación de peligrosidad de WHO (2009). Sin embargo, también se hace uso de los clasificados como extrema y altamente peligrosos.

De los plaguicidas empleados, 15 corresponden al tipo fungicidas, siete a insecticidas, uno a herbicida y uno a fumigante, los cuales su mecanismo de acción contra el patógeno o plaga o vector es primordialmente sistémico y de contacto.

El 100 % de los productores menciona haber utilizado hidróxido cúprico, propamocarb clorhidrato y mancozeb (cuadro I). Estos fungicidas son clasificados con respecto a la peligrosidad como U (cuadro II). Es importante mencionar que el 38 % indicó el empleo de paratión metílico, un insecticida organofosforado altamente tóxico y de extrema peligrosidad; asimismo, el 89.7 % usó carbofuran clasificado como altamente peligroso.

Cuadro II. Frecuencia de uso de los principales plaguicidas.

Nombre Común	Nombre comercial	Tipo de plaguicida	Frecuencia de uso (al menos una vez por)			% de uso
			Semana	Mes	Ciclo	
Hidróxido cúprico	Cupravit <sup>®</sup>	F	8	18	3	100
Propamocarb clorhidrato	Previcur N <sup>®</sup>	F	0	4	25	100
Mancozeb	Mancozeb <sup>®</sup>	F	25	2	2	100
Benomil	Benomil <sup>®</sup>	F	1	22	3	88
sulfato de cobre	Sulfato de cobre <sup>®</sup>	F	3	20	3	90
Carbofurán	Furadán <sup>®</sup>	I	18	5	3	90
Maneb	Maneb <sup>®</sup>	F	23	2	0	86
Zoxamide+cymoxanil	Harpon <sup>®</sup>	F	0	11	12	80
Fosetil-Al	Aliette 80 W <sup>®</sup>	F	0	15	17	76
Imidacloprid	Confidor <sup>®</sup>	F	0	11	9	70
Estreptomina	Agrimicin <sup>®</sup>	B	13	6	0	65
Metam sodio	Lucafum <sup>®</sup>	T	0	0	18	62
Betaciflutrin	Bulldock <sup>®</sup>	F	8	5	5	62
Captam	Captam 400 <sup>®</sup>	F	15	3	0	62
Pirimetanil	Scala 400 SC <sup>®</sup>	I	0	5	10	52
Metomilo	Metomilo 90%PS <sup>®</sup>	I	0	6	7	45
Cipermetrina	Cynoffv <sup>®</sup>	I	0	3	13	45
Nicosulfurón	Paraquat 200 <sup>®</sup>	H	0	9	5	45
Clorotalonil+Cimoxanil	Strike 800 PH <sup>®</sup>	F	2	10	2	49
Quintozeno+ tiram	Interguzan <sup>®</sup>	F	0	0	10	34
Diclorán	Botran 75 Ph <sup>®</sup>	F	1	6	4	34
Paratión metílico	Foley 50 E <sup>®</sup>	I	0	5	4	31

Ciclo=8 a 9 meses. F= fungicida, I= insecticida, B= bactericida, H= herbicida, T= fumigante. Fuente: elaboración propia con información de campo, censo de 29 productores de jitomate en invernadero.

Los fungicidas son los plaguicidas empleados con mayor frecuencia durante el ciclo de cultivo para el control de enfermedades fungosas, con uso predominante de mancozeb y maneb, ambos clasificados como ligeramente tóxicos y poco probable que presente riesgo agudo en uso normal (WHO, 2009). La frecuencia de este empleo puede ser debido a que las condiciones ambientales de la zona de estudio son favorables para el crecimiento y desarrollo de hongos. Es importante recalcar que los invernaderos son 100% dependientes de las condiciones ambientales externas, aunados a las condiciones de hules rotos o rasgados, asunto que favorece el aumento de patógenos.

El insecticida empleado con mayor frecuencia es el carbofurán, un carbamato altamente peligroso, seguido del paratión metílico; la peligrosidad y alta toxicidad de ambos insecticidas ponen en riesgo al grupo expuesto. La estreptomicina es el principal bactericida empleado, su uso se hace al menos una vez por semana por una frecuencia total de 19 encuestados. El metam sodio es el fumigante utilizado con mayor frecuencia para desinfección de suelos, junto con el quintoseno; ambos son manipulados previo al trasplante definitivo de las plantas, por lo que su aplicación está limitada a una sola vez por ciclo de cultivo.

### **Análisis de riesgo y protección personal**

La mejor manera de prevenir los riesgos en la aplicación de plaguicidas en invernadero es eliminarlos o controlarlos desde su fuente de origen con el uso del equipo de protección personal: mascarilla, anteojos, guantes, ropa adecuada y botas. No obstante, el 100 % de productores no utiliza el equipo de protección completo (cuadro III), por lo que aumenta el riesgo y las probabilidades de que sufra una intoxicación e inclusive la pérdida de la vida.

El 100 % ingiere al menos una vez por semana líquidos o alimentos dentro del invernadero, y el 10.3 % manifestó haber tenido algunos síntomas de intoxicación como vómito, mareos, ronchas, ardor, cefalea, entre otros síntomas. Sin embargo, no asistieron a un centro hospitalario para ser atendidos, pues consideraron que eran síntomas que podrían desaparecer ingiriendo leche, limón, agua, o bien, bañarse de inmediato. A pesar de que un porcentaje mínimo manifestó distintos síntomas de intoxicación, el 74.9 % mencionó haber presentado cefalea posterior a la aplicación de plaguicidas, aunque no de manera constante.

Cuadro III. Indicadores de uso, manejo y hábitos durante o después de haber aplicado plaguicidas en invernadero.

VARIABLES	Frecuencia	%
No lee lo que se recomienda en la etiqueta	23	75
No emplea equipo de protección completo	29	100
Utiliza ropa exclusiva para la aplicación de plaguicidas	12	41
Acostumbra cambiar de ropa después de la aplicación	13	45
Baño posterior al uso de plaguicidas	15	52
Después de la aplicación lava las prendas de protección	6	21
No lava por separado la ropa que utiliza en la aplicación	29	100
Entra al invernadero antes de 12 horas posteriores a la aplicación de plaguicidas	29	100
Entra al invernadero antes de tres horas posteriores a la aplicación de plaguicidas	20	70
Intoxicación con plaguicidas	3	10
Síntomas de intoxicación posterior a utilizar plaguicidas	20	70
Consume el producto que cultiva	25	86

Fuente: elaboración propia con información de campo, censo de 29 productores de jitomate en invernadero.

El 41.4% utiliza ropa exclusiva para las aplicaciones de plaguicidas, que consiste en un pantalón, camisa o playera de tela común y zapatos, pero es empleada en varias y constantes ocasiones antes de ser lavada. El 55.2% no se cambia de ropa posterior a la aplicación, y cuando ésta se lava no se hace por separado de otras prendas personales e incluso familiares. De la misma forma, el 94% no lava los equipos de protección como guantes, cubre bocas, botas, entre otros.

Debido a que la aplicación de plaguicidas se realiza entre las 6 y 11 horas, el 70.4% reingresan al invernadero antes de tres horas para continuar con labores agronómicas. El 100% de los jornaleros ingresan a las labores antes de las 12 horas posteriores a la



aplicación, también entran otras personas ajenas a actividades del invernadero o que no están involucradas en las labores de éste.

### **Almacenamiento de los plaguicidas**

Con respecto al almacenamiento de los plaguicidas, el 62.1% lo hace en el invernadero, principalmente en la cámara de anteacceso en la cual las temperaturas suelen ser mayores a los 40 °C, y son almacenados junto con fertilizantes, maquinaria, ropa y comida. El 13.8% los almacenan en su casa, y sólo el 24.1% en bodegas, aunque ésta no es única y especial para los plaguicidas.

Posterior a la aplicación, el 75.9% mencionó tirar el sobrante que se aplicó, si es que tuviera, y el 24.1% lo reutiliza, por lo que éste es guardado en su envase original, botellas de PET o bolsas de plástico.

### **Manejo de los residuos biológicos, químicos y sólidos de invernadero**

Con respecto a la disposición final de los envases de plaguicidas, el 10.3% lo desecha en basureros propios y cercanos al invernadero, el 13.7% prefiere enterrarlos sin un lavado previo, el restante 75.8% los incinera junto con llantas, aserrín, PET, papel o madera. Esto se hace en botes de aluminio fuera o dentro del invernadero, principalmente cuando las temperaturas son bajas y existe la posibilidad de inversión térmica (helada) para provocar aumento de la temperatura y humo.

La biomasa generada por la poda constante de la planta, propia del manejo agronómico, así como la planta completa al final del cultivo, es enterrada por 27.6% de los jornaleros;

asimismo, el 27.6% mencionó incinerarla y el 31% la utiliza para comida de animales, mientras que el 13.8% hace composta.

#### **4.7. DISCUSIÓN**

La producción de tomate en invernadero es una actividad reciente en la zona de estudio que se desarrolla con el uso intensivo de plaguicidas, sin una previa capacitación infringiendo en las medidas de seguridad.

Estas observaciones son similares a las reportadas en otros estudios (Falck, Hirvonen, Scarpato, Saarikoski, Migliore L. & Norppa, 1999; Varona *et al.*, 2006). Por su parte, Bogliani, Masiá & Onorato (2005) mencionan que la falta de capacitación y conocimiento técnico impide asegurar la efectividad de los plaguicidas y, al mismo tiempo, disminuir su impacto negativo ambiental y económico.

Las condiciones que se generan en el interior del invernadero, principalmente altas temperaturas y humedad relativa, potencian la toxicidad de los productos fitosanitarios (Palomar, 1993). Las condiciones de temperatura incomodan la utilización del equipo de protección y las medidas preventivas recomendadas para el uso de los plaguicidas, aunado a hábitos como consumir alimentos y bebidas dentro del invernadero, así como almacenar plaguicidas, con ropa, herramientas de trabajo, equipo de protección e incluso con alimentos, lo cual aumenta la exposición a dichas sustancias. Estos individuos se exponen a moléculas tóxicas por las vías respiratorias, dérmicas o digestivas, como lo mencionan

Gómez, Díaz, Meneses, Villalobos & De León (2000) al evaluar a un grupo de trabajadoras en invernadero en la floricultura mexicana expuestas a plaguicidas que contienen diferentes ingredientes activos, principalmente organofosforados y organoclorados; algunos de ellos ya han sido prohibidos en varios países, debido a su mutagenicidad y la actividad cancerígena. Sin embargo, Sammons *et al.* (2005) indican que la exposición está condicionada por la variabilidad de tiempo a la exposición y éste, a su vez, por la superficie del invernadero. En nuestro estudio, el promedio de exposición es de cinco a ocho horas diarias, resultado que difiere con los tiempos de Requena (2009), quien señala que el trabajo por hectárea de invernadero en España puede oscilar entre 12 y 14 horas, y con una variabilidad en función de que el trabajador sea fumigador habitual o esporádico.

La aplicación de plaguicidas por parte de los jornaleros se realiza con equipo de protección inadecuado, siendo congruente con lo señalado por Gil, Pérez & Díaz (2003), por lo que la exposición del operario aumenta. Los resultados del estudio demuestran que se utilizó principalmente la aspersion, los cuales son similares a los mencionados por Cabello (1996).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, el grupo químico más utilizado son los carbamatos, principalmente el carbofuran. Estos plaguicidas son distintos a los reportados por Salcedo & Melo (2005), quienes mencionan que el paraquat y metamidofos son los más utilizados, mientras que González *et al.* (2010) reportaron clorpirifos, cipermetrina y carbofuran. Por su parte, Ruiz *et al.* (2011) aplican endosulfan y amitraz, no obstante son similares a los reportados por Varona *et al.* (2006). Las diferencias en el uso de plaguicidas pueden estar influenciadas por un distinto manejo agronómico del

cultivo y por características agroclimáticas de la zona de estudio, lo que ocasionan diferentes plagas y enfermedades. Es importante recalcar el empleo de paratión metílico, un insecticida organofosforado que tiene en la actualidad un papel preponderante como plaguicida fitosanitario. Estos resultados son similares a los reportados por Escobar, Caballero & Rendón (2011), no obstante, cuando no se aplica correctamente, el paratión metílico puede dispersarse en el ambiente y representar un peligro para la salud pública (Ripley, Ritcey, Harris & Denommé, 2001), e incluso ha sido prohibido en varios países. A pesar de su alta toxicidad se sigue usando en México, con un riesgo pronunciado al trabajador del invernadero (Mansour, 2004). De la misma forma, se utiliza con frecuencia el mancozeb. En este sentido, Ecobichon (1996) menciona que la toxicidad aguda del mancozeb es prácticamente mínima por vía oral en mamíferos, al igual que por vía dérmica, sin embargo se han descrito respuestas irritantes que aconsejan evitar la exposición.

La mezcla de plaguicidas se hace de manera constante, lo que incrementa la dificultad de conocer la posible formación de metabolitos de toxicidad desconocida, como lo menciona García, Soria, Jiménez, Menéndez & Repetto (1998). Se ha demostrado que en muchos casos la mezcla de dos plaguicidas del mismo o distinto grupo provoca mayor efecto en plagas y enfermedades resultado de la suma de las acciones individuales de cada uno de ellos por separado. Este mecanismo llega a destruir no sólo a los insectos nocivos, sino también a los benéficos, por la aplicación de un tratamiento intenso (Garaj & Zeljezic, 2001; Salazar, Napolitano, Scherer & McCauley, 2004). El uso de mezclas de plaguicidas también fue reportado por Gómez *et al.* (2000) y Martínez *et al.* (2009), que se aplicaron en invernaderos en el estado de Morelos y en campos agrícolas del norte de Sinaloa.

La disposición, tratamiento y recolección final de los residuos sólidos y biológicos en la zona de estudio coinciden con las acciones mencionadas por Martínez *et al.* (2009) y Escobar *et al.* (2011), en los estados de Sinaloa y Chiapas, respectivamente. No obstante, enterrar los envases de plaguicidas y hules del invernadero, así como incinerarlos, es una disposición inadecuada que favorece el deterioro ambiental en las zonas agrícolas (Arellano, 2005). De acuerdo con Peñuela y Barceló (1998), los plaguicidas presentes en los plásticos permanecen sin sufrir ningún proceso de degradación, lo que debe tomarse en cuenta a la hora de manipular este material contaminado o disponer los residuos en vertederos, mediante incineración o reciclaje. Asimismo, los residuos biológicos son utilizados como alimento animal, pero se ha demostrado la presencia de residuos de plaguicidas en restos vegetales de distintos cultivos en invernaderos (Garrido, Arrebola, González, Martínez & Díez, 2003). Por ello, es urgente la necesidad de controlar los desechos poscosecha.

#### **4.7. CONCLUSIONES**

Los resultados de este estudio muestran que el desarrollo de las prácticas agrícolas por parte de los productores en invernadero en Chignahuapan, Puebla, se realizan mediante un uso intensivo de una gran variedad de plaguicidas. La problemática descrita no sólo afecta al productor que sufre la mayor exposición a los plaguicidas, sino también al ambiente y población en general. Esto hace necesario postular, desarrollar e implementar estrategias, principalmente de capacitación y concientización, que conlleven a su mejor uso y manejo,

así como a la implementación de nuevas técnicas agrícolas para racionalizar la necesidad de aplicación de los agroquímicos.

#### 4.8. REFERENCIAS

- Acaccia, G., Michelini, R., Molfino R. M. & Razzoli, R. P. (13 to 15 march, 2003). *Mobile robots in greenhouse cultivation: inspection and treatment of plants*. Memories. 1st International Workshop on Advances in Services Robotics. Bardolino, Italia.
- Arellano, M. (2005). *Apropiación territorial, deterioro ambiental y gestión de recursos hídricos en la cuenca superior del río Custepec, Chiapas* (Tesis para obtener el grado de maestra). Dirección de Centros Regionales Universitarios, Universidad Autónoma Chapingo, Chiapas, México.
- Bogliani, M., Masiá, G. & Onorato, A. (13-14 de septiembre de 2005). *Aspectos teóricos y prácticos en las aplicaciones de agroquímicos*. Trabajo presentado en la Primera jornada regional de fungicidas y tecnología de aplicación del cono Sur. Bolsa de Comercio de Rosario, Santa Fe.
- Bolognesi, C. (2003). Genotoxicity of pesticides: a review of human biomonitoring studies. *Mutation Research*, 543(3), 251-272.
- Bortoli, G. M., Azevedo, M. & Silva, L. B. (2009). Cytogenetic biomonitoring of Brazilian workers exposed to pesticides: micronucleus analysis in buccal epithelial cells of soybean growers. *Mutation Research*, 675, 1-4.
- Cabello, T. (1996). Utilización de pesticidas en cultivos en invernaderos del sur de España y análisis de los riesgos toxicológicos y medio ambientales. *Phytoma*, 75, 11-19.
- Calderón, S., Gómez, S., Villalobos, R., Martínez, C., Carbajal, L., Calderón, C., Cortés, J., García, R., Flores, D., Rodríguez, Romero, Méndez, P. & Bañuelos, R. (2012). Evaluation of genotoxic and cytotoxic effects in human peripheral blood

lymphocytes exposed in vitro to neonicotinoid insecticides news. *Toxicology*, 2012, 612647.

Castañeda, E., Ventura, R., Peniche, V. & Herrera, G. (2007). Analysis and simulation of a greenhouse physical model under weather conditions of the central region of Mexico. *Agrociencia*, 41(3), 317-335.

Cicoplafest (2004). *Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas*. México, D.F.: Semarnap, Secofi, Sagar y SSA,

Crespo, C. & Salamanca, C. (2007). El muestreo en la investigación cualitativa. *Revista Nure Investigación*, 27, 1-4.

Durán, J. & Collí, Q. (2000). Intoxicación aguda por plaguicidas. *Salud Pública de México*, 42(1), 53-55.

Ecobichon, D. (1996). *Toxic Effects of Pesticides. Casarett and Doull's Toxicology* (5a ed.). Nueva York: McGraw Hill.

Eddleston, M., Karalliedde, L., Buckley, N., Fernando, R., Hutchinson, G., Isbister, G., Konradsen, F., Murray, D., Piola, J. C., Senanayake, N., Sheriff, R., Singh, S., Siwach, S. & Smit, L. (2002). Pesticide poisoning in the developing world a minimum pesticide list. *The Lancet*, 360, 1163-1167.

Escobar, D., Caballero, A. & Rendón, V. (2011). Prácticas de utilización para plaguicidas en la localidad Nueva Libertad, La Concordia, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 19-30.

Falck, M., Hirvonen, A., Scarpato, R., Saarikoski, S. T., Migliore, L. & Norppa H. (1999). Micronuclei in blood lymphocytes and genetic polymorphism for GSTM1, GSTT1



and NAT2 in pesticide exposed greenhouse workers. *Mutation Research*, 441(2), 225-237.

Ferrer, A. & Dolores, M. (2010). Evaluación del impacto de los plaguicidas en la agricultura intensiva almeriense. En Ferrer, M., Romano, M., Hernández, J. (Ed. 1), *Prevención del riesgo químico en los procesos productivos*. pp. 23-24. España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud.

Garaj, V. & Zeljezic, D. (2001). Cytogenetic monitoring of Croatian population occupationally exposed to a complex mixture of pesticides. *Toxicology*, 165(2-3), 153-162.

García, R., Soria, L., Jiménez, M., Menéndez, M. & Repetto, M. (1998). Deaths from pesticide poisoning in Spain from 1991 to 1996. *Veterinary and Human Toxicology*, 40(3), 166-168.

Garrido, A., Arrebola, J., González, M., Martínez, J. & Díez, N. (2003). Rapid pesticide analysis, in post-harvest plants used as animal feed, by low-pressure gas chromatography- tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 377(6), 1038-1046.

Gil, R., Pérez, A. & Díaz, M. (2003). Seguridad en la aplicación de productos fitosanitarios en los cultivos protegidos de la provincia de Almería. Junta de Andalucía. *Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico*, 3, 27.

Gómez, S., Díaz, S., Meneses, P., Villalobos, R. & De León, R., (2000). Cytogenetic biomonitoring in a Mexican floriculture workers group exposed to pesticides. *Mutation Research*, 466(1), 117-124.

- González, A., Robledo, M., Medina, M., Velázquez, B., Girón P., Quintanilla, B., Ostrosky, P., Pérez, H. & Rojas, G. (2010). Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(3), 221-228.
- Guillén, J., Serrano J., Candau, A., Camino, F., Parrón, T. & Marín, P. (2003). *Programa de vigilancia epidemiológica de los efectos agudos en la salud del uso de sustancias plaguicidas en Andalucía*. En Guillén, J., Serrano J. (Ed. 1), *Respuesta ante las intoxicaciones agudas por plaguicidas*. pp. 29-54. España: junta de Andalucía. Consejería de salud
- Haro, L., Chaín, T., Barrón, R. & Bohórquez, L. (2002). Efectos de plaguicidas agroquímicos: Perfil epidemiológico-ocupacional de trabajadores expuestos. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 40(1), 19-24.
- Mansour S. (2004). Pesticide exposure-Egyptian scene. *Toxicology*, 198(1-3), 91-115.
- Martinez, C., Gómez, S., Villalobos, P., Waliszewski, S., Félix G. & Álvarez, T. (2009). Genotoxic biomonitoring of agricultural workers exposed to pesticides in the north of Sinaloa State, Mexico. *Environment International*, 35(8), 1155-1159.
- Muiño, E., Botta, E. Pérez, A., Ballester, D., Moreno, F., Rodríguez, E. & Fernández R. (2007). Sistemas de manejo integrado de plagas como alternativa al uso del bromuro de metilo en la producción de cultivos protegidos, flores y ornamentales. *Boletín Fitosanitario*, 12(1), 1-71.
- Muñoz, Q. (2011). Aspectos bioéticos en el control y aplicación de plaguicidas en Chile. *Acta Bioethica*, 17(1), 95-104.

- OMS (2009). Organización Mundial de la Salud. Sistema de Información Estadística de la OMS (WHOSIS). Recuperado de <http://www.who.int/research/es/>, el 8 de agosto de 2010.
- Palomar, O. (1993). *Los invernaderos y el medio ambiente* (1ª ed). Cantón, Almería, España.
- Peñuela, G. & Barceló, (1998). D. Application of C-18 disks followed by gas chromatography techniques to degradation kinetics, stability and monitoring of endosulfan in water. *Journal of Chromatography A*, 795(1) 93-104.
- Requena, M. (2009). *Estudio andaluz de prevalencia de diversas patologías en áreas con distinto nivel de utilización de plaguicidas* (tesis para obtener el grado de doctorado). Universidad de Granada, España.
- Ripley, G., Ritcey, R., Harris, M. & Denommé, P. (2001). Pyrethroid insecticide residues on vegetable crops. *Pest Management Science*, 57(8), 683-687.
- Ruiz, E., Ruiz, A., Guzmán, S. & Pérez, L. (2011). Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 129-137.
- SAGARPA (2008). Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Inventario de invernaderos del estado de Puebla. Recuperado de <http://www.oeidrus-puebla.gob.mx/RID.pdf> 06/02/2010, el 6 de febrero de 2010.
- Salazar, M., Napolitano, M., Scherer, J. & McCauley, L. (2004). Hispanic adolescent farmworkers perceptions associated, with pesticide exposure. *Journal Nursing Research*, 26(2), 146-166.

- Salcedo, M. & Melo, T. (2005). Evaluación del uso de plaguicidas en la actividad agrícola del departamento de Putumayo. *Revista de Ciencias de la Salud*, 3(2), 168-185.
- Sammons, P. J., Furukawa, T. & Bulgin, A. (9 September, 2005, pp. 1-9). Autonomous Pesticide Spraying Robot for use in a Greenhouse. Australasian Congress Robotics and Automation Sydney, Australia.
- SMRN (2007). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diagnóstico Socioeconómico y de Manejo Forestal Unidad de Manejo Forestal Zacatlán. México: Asociación Regional de Silvicultores Chignahuapan-Zacatlán A. C.
- Tinoco, O. & Halperin, F. (2001). Investigación sobre plaguicidas y salud en Chiapas: Lecciones para compartir. En O. Rivero, P. Rizo, G. Ponciano & G. Oláiz (Eds.), *Daños a la salud por plaguicidas. Manual Moderno* (pp. 93-105), México-Bogotá: centro de investigaciones en salud de Comitán, A.C.
- Varona, M., Henao, G., Lancheros, A., Murcia, A., Díaz, S., Morato, R., Morales, L., Revelo, D. & Segurado, P. (2006). Factores de exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en el departamento del Putumayo. *Biomédica*, 27(3), 400-409.
- World Health Organization (WHO) (2009). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2009. Alemania: World Health Organization.

## CAPÍTULO V.

Artículo enviado para su posible publicación en la revista *Terra Latinoamericana*

# EFICIENCIA DE SISTEMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO

## Efficiency Of Systems For Greenhouse Tomato Production

Luis Daniel Ortega Martínez<sup>1\*</sup>, Juventino Ocampo Mendoza<sup>1</sup>, Carmen Martínez Valenzuela<sup>2</sup>, Engelberto Sandoval Castro<sup>1</sup>, Arturo Huerta De La Peña<sup>1</sup>, José Luis Jaramillo Villanueva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Km 125.5 Carr. Fed. México-Puebla, Santiago Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula, Pue. (Blvd. Forjadores) C.P. 72760. Tels. 01 (222) 2 85 00 13, 2 85 14 42.

<sup>2</sup>Instituto de Investigación en Ambiente y Salud, Universidad de Occidente, Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional. Los Mochis, Sinaloa.

\*autor para correspondencia: Luis Daniel Ortega Martínez, Km 125.5 Carr. Fed. México-Puebla, Santiago Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula, Pue. (Blvd. Forjadores) C.P. 72760, [Ldortega@colpos.mx](mailto:Ldortega@colpos.mx)

### 5.1. RESUMEN

Los sistemas utilizados para la producción de tomate en invernadero son heterogéneos por lo que los rendimientos varían. En este estudio se determinó la eficiencia de los sistemas tezontle, fibra de coco, suelo, suelo acolchado y la mezcla aserrín-composta en la producción de tomate. El rendimiento con una densidad de siembra de 6 plantas m<sup>2</sup> presentó diferencias significativas entre tratamientos, destacando el tezontle con promedio

de 25.2 kg/m<sup>2</sup>, seguido del suelo acolchado con 23.3 kg/m<sup>2</sup>. El consumo de agua y solución nutritiva fue mayor en los tratamientos fibra de coco (2708 L/m<sup>2</sup>) y tezontle (2158 L/m<sup>2</sup>), el mayor beneficio económico (1.8) lo mostró el suelo acolchado, con un coeficiente de productividad de 63.6 L de agua por kg/m<sup>2</sup> de tomate. Los resultados indican el potencial del suelo acolchado en el ahorro de agua y fertilizante.

**Palabras clave:** *horticultura protegida, Lycopersicon esculentum Mil., sustratos, solución nutritiva.*

## **5.2. SUMMARY**

The systems used for the production of greenhouse tomatoes are heterogeneous so yields vary. In this study the efficiency of systems tezontle, coir, soil, mulch and soil-sawdust compost mixture into tomato production was determined. Performance with a seeding density of 6 floors m<sup>2</sup> significantly different between treatments, highlighting the tezontle score of 25.2 kg/m<sup>2</sup>, followed by the padded floor with 23.3 kg/m<sup>2</sup>, and water consumption was greater in nutrient solution treatments coir (2708 L/m<sup>2</sup>) and tezontle (2158 L/m<sup>2</sup>) the greatest economic benefit (1.8) showed how the padded floor, a productivity ratio of 63.6 L of water per kg/m<sup>2</sup> of tomatoes. The results indicate the potential of the padded floor in saving water and fertilizer.

**Keywords:** *protected horticulture, Lycopersicon esculentum Mil, substrates, nutrient solution.*

### 5.3. INTRODUCCIÓN

En México, uno de los principales cultivos hortícolas desarrollado bajo condiciones protegidas es el tomate, que actualmente experimenta un fuerte desarrollo en regiones y en condiciones heterogéneas de clima, suelo, calidad de agua, manejos agronómicos y sistemas de producción (Nieves *et al.*, 2013).

Los sistemas utilizados para la producción de tomate en invernaderos son heterogéneos, basados principalmente en variables climáticas, agronómicas y de fertilización que pueden ayudar a aumentar su eficiencia y rentabilidad (Rucoba *et al.*, 2006; Ortega *et al.*, 2014). Estas variables interactúan con factores ambientales y fisiológicos, de los cuales el productor ejerce un grado de control sobre ellos pues aplica sus propios esquemas de manejo de acuerdo con su criterio (Bojaca *et al.*, 2009).

Se estima que 80% de la producción hortícola bajo cubiertas plásticas se lleva a cabo en suelo y el resto en sistemas hidropónicos, empleando algún sustrato como medio de crecimiento y desarrollo del sistema radical de las plantas (Ojodeagua *et al.*, 2008). No obstante, se maneja al suelo como un sustrato inerte, pues la aplicación de fertilizantes inorgánicos, abonos orgánicos y plaguicidas es continua, esta actividad se realiza sin considerar su riqueza y potencialidad productiva, así como las consecuencias en el ambiente. También se aplican, basados en las recomendaciones desarrolladas para otras condiciones ambientales y sistemas productivos, además de un aumento en los costos de producción (Alconada *et al.*, 2000; Giuffré *et al.*, 2004). Esto ha sido también reportado en otros sitios del mundo con consecuencias ambientales, productivas y económicas negativas (Moorman, 1998; Karami y Ebrahimi, 2000; Baixauli y Aguilar, 2002).

La elección del suelo se basa en ventajas tales como amortiguar interrupciones temporales de agua y nutrimentos, e incrementar la eficiencia de estos (Villareal *et al.*, 2002; Castellanos, 2004). No obstante, presenta inconvenientes como degradaciones del suelo vinculados entre sí: salinización, alcalinización, disminución de permeabilidad, desequilibrios nutritivos y desarrollo de enfermedades (Alconada *et al.*, 2011).

Estudios que evalúan rendimientos de tomate en invernadero empleando suelo, muestran diferencias, debido principalmente a los distintos complementos que se utilizan en el sistema como acolchados plásticos, soluciones nutritivas, adición de abonos orgánicos y suelos con distintas propiedades físicas y químicas (Kirda *et al.*, 2004, Grijalva *et al.*, 2011; Ojodeagua *et al.*, 2008, Alconada *et al.*, 2011; Bouzo *et al.*, 2012).

De la misma forma se utilizan sustratos inertes para la producción de tomate en invernadero, donde la roca volcánica (tezontle) es ampliamente empleada (Gómez, 2003; Vargas *et al.*, 2008; San Martín *et al.*, 2012), y en proporción menor el aserrín, compostas y fibra de coco (Moreno *et al.*, 2005, Márquez *et al.*, 2006, Rodríguez *et al.*, 2008, Ortega *et al.*, 2010). Uno de los problemas observados es que el rendimiento varía, debido principalmente a diferencias, en las características físicas y químicas de cada uno de los sustratos empleados; el interés por utilizar distintos sistemas de producción está basado en disminuir costos, aumento de rendimiento, calidad de frutos y optimización en el uso de agua y fertilizante (Inden y Torres, 2004).

Para la producción de tomate en invernadero, los sistemas utilizados, la tecnología, investigaciones y formas de investigar han sufrido cambios en el mundo, por lo que hay una



gran necesidad de investigación local con relación a cultivos bajo condiciones de invernadero, especialmente en países como México, donde este tipo de tecnología de producción es relativamente nueva para los agricultores (Baeza *et al.*, 2006; Castañeda, 2007; Rico *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2007; Acuña *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010; López y Hernández, 2010; Briceño *et al.*, 2011).

El objetivo del presente estudio fue comparar sistemas de producción de tomate en invernadero con base en suelo y sustratos, en relación al rendimiento y a la eficiencia de uso del agua y de solución nutritiva.

#### **5.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó en el municipio de Chignahuapan, que se localiza en la región morfológica de la Sierra Norte del estado de Puebla. El clima corresponde a C(w1), templado subhúmedo: temperatura media anual entre 12 y 18 °C. La precipitación total anual en la zona varía de 600 a 1000 mm (SMRN, 2007), se consideró un invernadero de 1000 m<sup>2</sup> para clima templado con ventana cenital de polietileno. Las temperaturas medias máxima y mínima dentro del invernadero fueron de 3 y 31 °C. Se cultivó tomate variedad Suun 7705 de la empresa Nunhems de crecimiento indeterminado.

Se evaluaron cinco sistemas de producción: suelo, suelo acolchado con plástico, y los sustratos piedra volcánica (tezontle rojo), fibra de coco y la mezcla de aserrín con composta de ovino en proporción 1:1. En la tabla 1 se presenta la caracterización física de cada tratamiento.

Para los tratamientos con sustratos, el volumen por planta fue de 10 L. y se depositaron en bolsas de polietileno calibre 70, para el tratamiento suelo con acolchado, se utilizó polietileno negro/plateado adicionado con antioxidantes y protectores de rayos ultra violeta, color negro/plata calibre 90. La densidad de plantación fue de 6 m<sup>2</sup>, tanto en sustrato como en suelo.

Se dispuso de una instalación de riego localizado, la gestión del riego se hizo mediante riego a tiempos, que consiste en establecer un calendario de riego con una frecuencia definida para 24 h. que se ajustó de acuerdo al porcentaje de agua retenida. Así mismo se colectó y cuantificó la solución drenada de los sistemas con sustratos.

La solución nutritiva utilizada fue la propuesta por Steiner (1961) y se formuló a partir de Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, KNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 85%, más micronutrientes (complejo quelatado de microelementos, Fe- EDTA y H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). El pH se ajustó entre 5.6 y 6.2, con una C.E. 2.0 dS m<sup>-1</sup>.

La solución nutritiva se usó al 75% de su concentración hasta la tercera semana después del trasplante, y al 100% a partir de la cuarta semana hasta finalizar el experimento, así mismo cada 7 días se aplicó únicamente agua para lavar sales.

El diseño experimental fue bloques completamente al azar con 8 repeticiones, se evaluaron 5 tratamientos, cada unidad experimental estuvo constituida por 15 plantas, con una separación de 30 cm entre ellas; y se utilizó un arreglo topológico a tresbolillo,

ajustando la distribución para cada densidad de plantación, se buscó que quedara uniforme, se muestrearon cuatro plantas por repetición para determinar las variables.

Tabla 1 Características físicas y químicas de los sustratos empleados.

Tratamientos	V (mg kg <sup>-1</sup> ) 500 gr	DA	DR	EPT%	%AR	pH	CE
Fibra de coco	2700	0.1	2.3	93	22	5.7	3.5
Aserrín-composta	1200	0.4	0.6	53	73	7.4	1.0
Suelo agrícola	800	0.6	1.6	28.6	65	7.5	0.9
Suelo Acolchado	800	0.6	1.6	28.6	65	7.5	0.9
Tezontle	450	1.1	1.6	45	40	7.2	1.2

**V** volumen **DA** densidad aparente y **DR** densidad real Determinados mediante el método propuesto por De Boodt *et al.* (1974). **EPT** espacio poroso total (%)  $(1 - Da/Dr) \times 100$  **AR** agua retenida. Determinados mediante el método propuesto por Martínez (1992). **CE** conductividad eléctrica y mg kg<sup>-1</sup>. Propiedades medidas en extracto saturado, descrito por Warncke (1988). Medidos con un potenciómetro HI 98312 DiST<sup>®</sup> Hanna Instrumenst. Fuente: Elaboración propia con información de campo.

Se determinó la eficiencia de los sistemas mediante los cocientes de cantidad utilizada de agua, fertilizantes y peso de tomate producido por metro cuadrado, rendimiento total, y comercial, y los frutos se clasificaron según su diámetro chicos (4-6 cm), medianos (6-8 cm), grandes ( $\geq 8$  cm), para fines de este trabajo se separaron del rendimiento comercial total, aquellos frutos con diámetro menor que 4 cm y los que tuvieron alguna malformación. Las variables fueron sujetas a un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.01$ ) y correlaciones, mediante el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Se recabó la información económica de la inversión realizada para cada sistema, así como los costos de producción y los ingresos obtenidos por la venta de tomate, posteriormente se determinó la rentabilidad a través del indicador costo beneficio.

## 5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento presentó diferencias significativas entre tratamientos, destacando el tezontle con promedio de 25.2 kg/m<sup>2</sup>, (Tabla 2), estos resultados son superiores a los obtenidos por Ortega *et al.* (2010) con, 19.6 2 kg/m<sup>2</sup> al emplear el mismo sustrato, pero inferiores a los de Ojodeagua *et al.* (2008) con 34.1 2 kg/m<sup>2</sup> y San Martín *et al.* (2001) que utilizó mezcla de tezontle con polvo de fibra de coco. El suelo con acolchado plástico, mostró un rendimiento de 23.3 kg/m<sup>2</sup>, mayor al suelo sin acolchar 19.4 kg/m<sup>2</sup>, estos resultados fueron similares a los reportados por Villa real (2002) y Macías (2010).

La mezcla composta aserrín resultó estadísticamente menor en rendimiento con respecto al tezontle y suelo con acolchado, resultados que no concuerdan con Burés (1997); Nelson (1999); Strojny y Nowak (2001) quienes mencionan que un material por si solo es difícil que cumpla con las mejores condiciones físicas y químicas para el desarrollo de las plantas, por lo que es necesario hacer mezclas de materiales con diferentes propiedades físicas y químicas. Sin embargo, concuerda con los resultados presentados para el tratamiento fibra de coco que mostró el mayor consumo de agua y solución nutritiva y menor rendimiento, (16.8 kg/m<sup>2</sup>) lo que pudo estar ocasionado por uso excesivo de estos fertilizantes pues como menciona (Villarreal y Romero, 2009) provoca, además de un aumento en los costos de producción, desbalances nutricionales en los cultivos y problemas de contaminación ambiental.

Tabla 2 Eficiencia de agua y fertilizantes en el rendimiento de tomate

Tratamientos	kg/m <sup>2</sup> de tomate	Agua L	SN L	L/ kg de tomate	gr/m <sup>2</sup>				Mg	C/B
					N	P	K	Ca		
Fibra de coco	16.8e†	2708a	2295a	160.8a	520a	169a	636a	604a	229a	0.7e
Suelo agrícola	19.4d	1490d	1413c	76.7c	270d	88d	331d	313d	120d	1.5b
Aserrín composta	22.1c	1684c	1450d	76.1c	323c	104c	397c	375c	143c	1.4c
Suelo acolchado	23.3b	1482d	1408c	63.6d	268d	88d	330d	310d	119d	1.8a
Tezontle	25.2a	2158b	1860b	85.4b	415b	135b	507b	481.9b	183b	1.3d

C/B costo beneficio SN solución nutritiva † Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.01$ ).

El tratamiento tezontle obtuvo (55%) de frutos mayores a 8 cm en la clasificación por tamaños de frutos seguido del suelo acolchado 52%, (Figura 1), resultados similares a los mencionados por Ojodeagua *et al.* (2008), al evaluar tezontle y suelo, así mismo ambos tratamientos mostraron la menor cantidad de frutos pequeños, es decir un diámetro entre 4-6 cm, (8%).

Las diferencias en rendimiento entre los tratamientos podrían ser efecto de las diferencias entre sus propiedades físicas y químicas (Tabla 1) así como la degradación de estas (Burés, 1997; Lemaire *et al.*, 1998; Medrano *et al.*, 2001; Abad *et al.*, 2004; Blok *et al.*, 2008).

Es importante destacar que los datos con los que se compara el rendimiento de este experimento con los de otros autores se dieron bajo condiciones ambientales distintas, las cuales son factores que influyen en el rendimiento (Kittas *et al.*, 2011; Shipp *et al.*, 2011).

Los resultados del costo beneficio, demuestran que todos los tratamientos evaluados son rentables a excepción de la fibra de coco, (Tabla 2). No obstante, a pesar de que el tratamiento tezontle presentó los mejores rendimientos, el suelo acolchado exhibo el mejor beneficio, pues por cada peso invertido se obtuvo 0.8 pesos. Los conceptos de costo mayores fueron la mano de obra y el fertilizante, resultados similares a los de Rucoba *et al.* (2006).

Los resultados económicos que hemos presentado, deben ser interpretados con cautela, pues no son una muestra representativa de la región (municipio), además de que existe gran variabilidad natural, como pueden ser: la localización, calidad del agua, orientación y estructura básica del invernadero, fecha de plantación del cultivo precio de tomate entre otros.

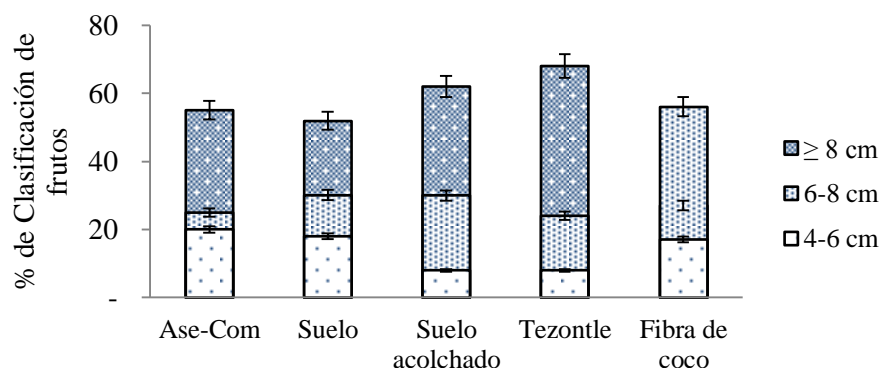


Figura 1. Clasificación del tomate según el rendimiento y diámetro del fruto.

### Eficiencia de agua y solución nutritiva

El consumo de agua y solución nutritiva fue mayor en los tratamientos fibra de coco (2708 L) y tezontle (2158 L), no obstante con diferencias significativas en rendimiento, que mostraron menor y mayor rendimiento respectivamente. Estos resultados pueden estar

influenciados por la poca retención de agua, al mostrar una correlación altamente significativa entre rendimiento y el porcentaje de agua retenida (Tabla 3). Resultados que coinciden con los obtenidos por Vargas *et al.* (2008), tal como era de esperarse; el consumo de agua por kilogramo de tomate producido fue mayor en ambos sistemas, lo que difiere con Abad y Noguera (2004); Tahi *et al.* (2007). Ellos mencionan que la producción de hortalizas en invernadero es una de las alternativas que se llevan a cabo para alcanzar un uso sustentable del agua, siendo importante señalar que para este estudio el sistema consistió en drenaje libre; es decir un sistema abierto, por lo que la solución nutritiva no se reutilizó.

Para los tratamientos suelo y suelo con acolchado, no se encontraron diferencias significativas en consumo de agua y solución nutritiva, no así en rendimiento. El suelo con acolchado plástico resultó mayor, así mismo con mayor eficiencia de agua por kilogramo de tomate producido. No obstante, Brouse *et al.* (2006) mencionan que el acolchado plástico del suelo tiene repercusiones negativas, porque induce a la degradación biológica del suelo, un impacto adverso en el ambiente (Peña *et al.*, 2001), además contaminación de la atmósfera (Ramanathan *et al.*, 1985), en los suelos (Castellanos y Carriles, 1990) y los mantos acuíferos; así como la eutrofización de aguas superficiales (Gilliam *et al.*, 1985).

El consumo de agua y fertilizantes en ambos tratamientos (suelo y suelo con acolchado), fue menor, al del tezontle, pero no se consideran sistemas de producción sustentables. Por tal razón productores de diversos países han adaptado prácticas orgánicas al cultivo sin suelo (Inden y Torres, 2004; Grigatti *et al.*, 2007; Jordán *et al.*, 2010). No

siendo así en México donde el suelo es ampliamente utilizado en distintos cultivos (Inzunza *et al.*, 2007; Munguía *et al.*, 2011; Gutiérrez *et al.*, 2010 Cih *et al.*, 2011).

Los resultados muestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la eficiencia de las sales N, Ca, P, K, y Mg, sin correlaciones con el rendimiento, mismos que coinciden con los obtenidos por (Adams, 1986; FAO, 1990; Chung *et al.*, 1992; Chi y Han,1994; Cadahía, 1995), quienes mencionan que no hay efecto significativo en el rendimiento por el uso de diferentes concentraciones, dentro del intervalo de 10 a 320 mg/L de nitrógeno, de 5 a 200 mg/L de fosforo y de 20 a 300 mg/L de potasio. Sin embargo, fundamentalmente las evaluaciones que se han desarrollado han sido para sistemas hidropónicos que involucran la recirculación de la solución nutritiva.

Tabla 3 Correlaciones entre rendimiento, agua, solución nutritiva y características físicas de los sustratos.

	Consumo		gr/m <sup>2</sup>					V	%	%
	Agua	solución	N	Ca	K	P	Mg	(mg kg <sup>-1</sup> ) 500 gr	EPT	agua retenida
Rendimiento	-.4*	-.4*	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-.8**	-.6**	.5**
Consumo de agua	1.0	.9**	.9**	.9**	.9**	.9**	.9**	.7**	.9**	-.9**
Consumo de solución		1.0	.9**	.9**	.9**	.9**	.9**	.7**	.8**	-.9**
N			1.0	1**	1**	1**	1**	.7**	.9**	-.9**
Ca				1.0	1**	1**	1**	.7**	.9**	-.9**
K					1	1**	1**	.7**	.9**	-.9**
P						1	1**	.7**	.9**	-.9**
Mg							1	.7**	.9**	-.9**
V (cc.)								1	.9**	-.8**
% EPT									1	-.8**

\*La correlación es significativa al nivel  $\alpha = 0.01$ \*\*. N=nitrógeno, Ca=calcio, K=potasio, P=fosforo, Mg=magnesio, V=volumen centímetros cúbicos, % EPT= Espacio Poroso Total.



Existe una correlación altamente significativa en el consumo de agua y la eficiencia de sales, en los sistemas, entre mayor sea el gasto de solución nutritiva el uso de sales aumenta y al ser abiertos, como mencionan (Volke *et al.*, 1993; Crovetto, 1996), producen degradación física, química y biológica del suelo, debido a la disminución del contenido de materia orgánica, la acumulación residual de sales solubles y la reducción de su población microbiana. Además, el uso de fertilizante nitrogenado en exceso a los requerimientos de los cultivos provoca altas emisiones de NO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, lo cual contribuye al efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono (Baggs *et al.*, 2003).

La cantidad de agua que se aplicó a las plantas de tomate, en sus diferentes etapas de crecimiento y desarrollo en los tratamientos, aumentó conforme transcurrió el tiempo, la mayor cantidad fue durante los meses julio, agosto y septiembre (Figura 1), aunado al aumento de la radiación solar (Radin *et al.*, 2004); a pesar de tener las mismas características climáticas para cada tratamiento, el suelo acolchado, mostró el mayor coeficiente 63.6 L por kilogramo de tomate producido, 50% y 48% menor al gasto por kilogramo en el sistema fibra de coco y tezontle respectivamente (Tabla 2). No obstante, los volúmenes de agua aplicados son superiores a los recomendados por (Albiac, 2004), pero son para densidades de siembra y características climáticas distintas, por lo que nuestros resultados varían entre los resultados obtenidos por Ojodeagua *et al.* (2008); Yescas *et al.* (2011); Alconada *et al.* (2011).

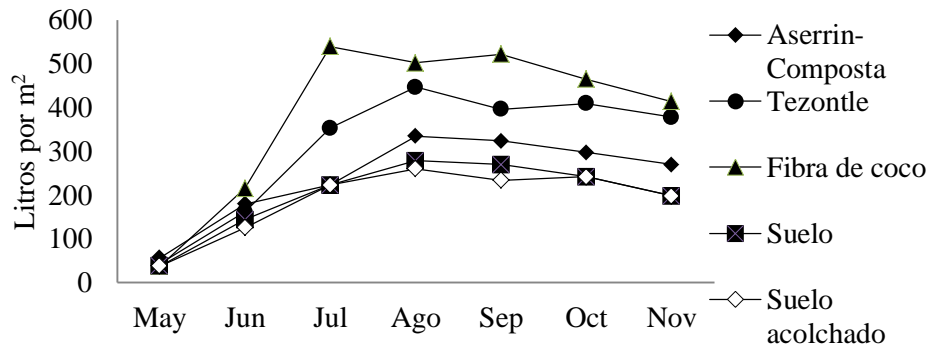


Figura 2. Consumo de litros de agua mensual por m<sup>2</sup> de los tratamientos.

## 5.6. CONCLUSIONES

- La eficiencia en agua y fertilizante que se puede lograr mediante el sistema de cultivo en suelo acolchado, es del orden de 50% en agua con fertilizantes, en comparación con los sistemas de fibra de coco y tezontle. Las diferencias observadas en rendimiento entre los tratamientos podría ser efecto de las diferencias entre sus propiedades físicas y químicas.
- El rendimiento mostró diferencias significativas, destacando el tezontle, no obstante, el tratamiento suelo acolchado, mostró el mejor beneficio económico.
- El tomate es un producto cuyo precio fácilmente es influido por las condiciones del mercado, por lo tanto, no se recomienda depender de forma directa de él para aumentar la rentabilidad, sino del sistema de producción.

## 5.7. LITERATURA CITADA

- Abad, B. M., P. Noguera M. y B. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 113-158. In: Tratado de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu G. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Acuña-Caita J. 2009. Control climático en invernaderos. *Ingeniería e Investigación*; 3:149-150.
- Adams, P. 1986. Mineral nutrition Chapman and Hall. London, UK. 281–334 p.
- Albiac, J., 2004. El modelo para el análisis del sector agrario: Necesidades hídricas de los cultivos. Instituto Juan de Herrera. Madrid, España <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n27/ajalb4.html> (Octubre, 2013).
- Alconada M., L. Giuffrè, L. Huergo, y Pascale, C. 2000. Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. *Avances en Ingeniería Agrícola* Editorial, Facultad de Agronomía.
- Alconada M., M. Cuellas, P. Poncetta., S. Barragán, E. Inda y A Mitidieri. 2011. Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. *Horticultura Argentina* 30:(72) 5-13.
- Baeza E., P. Pérez., J. López, J. Montero. 2006. Study of the natural ventilation performance of a Parral type greenhouse with different numbers of spans and roof vent configurations. *Acta Horticulturae* 719:333-340.
- Baggs E. M., M. Stevenson, M. Pihlatie, A. Regar, H. Cook y G. Cadisch. 2003. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. *Plant Soil* 254: 361-370.
- Baixaui S., Aguilar O. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Serie de divulgación técnica no. 53. Generalitat Valenciana; 110.
- Blok, C., De kreij, C., Baas, R. y Wever G. 2008. Analytical Methods Used in Soilless Cultivation. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. RAVIV, M.; LIETH J. H. Ed Elsevier. United Stated of America.
- Bojacá-Ricardo B., N. Yurani., O. Monsalve. 2009. Análisis de la productividad del tomate en invernadero bajo diferentes manejos mediante modelos mixtos. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*. 3:(2) 188-198.
- Bouzo-Carlos A. E. Astegiano. 2012. Efectos de diferentes agroecosistemas en la dinámica de nitrógeno, fósforo y potasio en un cultivo de tomate. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 3:5.
- Briceño-Medina L. Y., M. Ávila., R. Jaimez. A. 2010. Modelo de simulación del microclima de un invernadero. *Agrociencia*; 2: 801-813.
- Brouse, S., Kirkegaard, J., Pratley, Y., Howe, G. 2006. Growth suppression of canola through wheat stubble. I. Separating physical and biochemical causes in the field. *Plant Soil* 286: 203-218.
- Burés S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S. L. Madrid, España.
- Cadahía L. C. 2005. Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Castañeda-Miranda R., V. Ramos. E., R. Peniche., G. Herrera. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia*; 3: 317-335.
- Castellanos-Ramoz J. Z. y J. J. Peña. Cabriales. 1990. Los nitratos provenientes de la agricultura: Una fuente de contaminación de los acuíferos. *Terra* 8: 113-126.
- Castellanos R., J. (2004). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. INTAGRI. México. 103-123 p.
- Chi S., Han. G. 1994. Effect of nitrogen concentration in the nutrient solution during the first 20 days after planting on the growth and fruit yield of tomato plants. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 35(5): 415-420.
- Chung S., Seo B., Lee B. 1992. Effects of nitrogen and potassium levels and their interaction on the growth and development of hydroponically grown tomato. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 33(3): 244-251.
- Cih-Dzul I. R., J. L. Jaramillo, M. A. Tornero., R. Schwentesius. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en el estado de Jalisco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 501-512.
- Crovetto C. 1996. Stubble over the soil. The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. Special publication American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- De Boodt M., O. Verdonck., I. Cappaert. 1974. Methods for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Gilliam J., T. Logan., F. Broadbent. 1985. Fertilizer use in relation to the environment. In: Fertilizer technology and use. Third edition. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 561-588 p.
- Giuffré L., M. Alconada., C. Pascale., S. Ratto. 2004. Environmental impact of phosphorus overfertilization in tomato greenhouse production. *Journal Applied Horticulture* 6(1):58-61.
- Gómez-Hernández T., C. Sánchez. 2003. "Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo". *Terra Latinoamericana*, núm. Enero-Marzo, pp. 57-63
- Grigatti M., M. Giorgioni., L. Cavani., V. Ciavatta. 2007. Vector Analysis in the study of the nutritional status of *Philodendron* cultivated in compost-based media. *Scientia Horticulturae* 112: 448-455.
- Grijalva-Contreras R., D. Macias., C. Robles. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Trop. subtrop. agroecosyt* 14(2): 675-682.
- Gutiérrez-Vaca C., R. Serwatowski., S. Cabrera., R. Saldaña., G. Juárez. 2010. Estudio de corte de películas plásticas sobre suelos acolchados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4): 30-36.

- Inden H., A. Torres. 2004. Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *Acta Hort.* 6(44): 205-210.
- Inzunza-Ibarra M. Mendoza., F. Segundo., V. Catalán., M. Castorena., C. Sánchez., L. Román. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4): 429-436.
- Jordán A., A. Zavala., A. Gil. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Rev Catena* 81(1), 77–85.
- Karami E. H. Ebrahimi. 2000. Overfertilization with Phosphorus in Iran: A Sustainability Problem. *Journal of Extension Systems* 16:100-120.
- Kırda, C. Cetin, M. Dasgan, Y. Topcu, S. Kaman, H. Ekici, B. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 69: 191–201.
- Kittas C., N. Katsoulas., T. Bartzanas. 2011. Characterization and analysis of the effects of greenhouse climate control equipment on greenhouse microclimate and crop response. *Acta Hort.* 893:117-132
- Lemaire, F., S. Rivière O. Stievenard., S. Marfa., F. Gschwander. 1998. Giuffrida. Consequences of organic biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. *Acta Hort.* 469: 121-138.
- López-Cruz I., L. Hernández. 2010. Modelos neuro-difusos para temperatura y humedad del aire en invernaderos tipo cenital y capilla en el centro de México. *Agrociencia*; 44: 791-805.
- Macías-Duarte R., R. Grijalva., F. Robles. 2010. Efecto de tres volúmenes de agua en la productividad y calidad de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 7(2):11-19.
- Márquez-Hernández., R. Cano., M. Chew., R. Moreno., D. Rodríguez. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 183–189
- Martínez F. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura* 11: 55-66.
- Medrano E., P. Lorenzo., M. Sánchez. 2001. Evaluation of a greenhouse crop transpiration model with cucumber under high radiation conditions. *Acta Horticulturae.* 559: 465-470.
- Moorman, G. 1998. Overfertilization. The Pennsylvania State University. [www.cas.psu.edu/docs.CASDEPT/PLANT/ext/overfert](http://www.cas.psu.edu/docs/CASDEPT/PLANT/ext/overfert) (consulta noviembre 2013)
- Moreno-Reséndez A., P. Valdes. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc.* 65(1): 26-34 .
- Munguía-López J., A. Zermeño G., M. Quezada., J. Ibarra. 2011. Balance de energía en el cultivo de chile morrón bajo acolchado plástico. *Terra Latinoamericana*, 29(4): 431-440

- Nelson P. 1999. Greenhouse operation and management. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Nieves-García V., O. Van der Valk A. Elings, A. 2011. Mexican protected horticulture. Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed Wageningen UR Greenhouse Horticulture. Landbou Economisch Instituut. The Hague. Ministry of Economic Affairs. Rapport GTB 1:126.
- Ojodeagua-Arredondo J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina Ch., P. Vargas T. y S. Enríquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Rev. Fitotec. Mex. 31: 367-374.
- Ortega-Martínez L. D., J. Sánchez O., J. Ocampo., E. Sandoval., R. Salcido., F. Manzo. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai, 6(3):339-346
- Ortega-Martínez, L. D., J. Ocampo., E. Sandoval, C. Martínez., A. Huerta de la Peña., J. Jaramillo. 2014. Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan, Puebla, México. Revista Bio Ciencias 2(4): 261-270.
- Papadopoulos A. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and soilless media. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa.
- Peña-Cabriales J. J., C. Grajeda., N. Vera. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (<sup>15</sup>N). Terra 20: 51-56.
- Radin B., J. Reisser., H. Matzenauer. 2004. Crecimiento de cultivares de alface conducidas en estufa e a campo. Hort. Bras. 22: 178-181.
- Ramanathan V., H. Cicerone., J. Kiehl. 1985. Trace gas trends and their potential role in climate change. J. Geophys. Res. 90: 5547-5566.
- Ramos-Fernández J.C., M. López., G. Enea., J. Duplaix. 2010. Una estructura neurodifusa para modelar la evapotranspiración instantánea en invernaderos. Ingeniería. Investigación y Tecnología. 11(2):127-139.
- Rico G., M. Castañeda., E. García., H. Lara., R. Herrera. 2007. Accuracy comparison of a mechanistic method and computational fluid dynamics (cfd) for greenhouse inner temperature predictions. Revista Chapingo. Serie Horticultura 13(2): 207-212.
- Rodríguez-Dimas N., P. Cano., V. Figueroa., G. Palomo., C. Favela., P. Álvarez., H. Márquez., R. Moreno. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. Rev. Fitotec. Méx. 31(3): 265-272.
- Rucoba-García N. Anchondo., A. Lujan., G. Olivas. 2006. "Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región centro-sur de Chihuahua.". Revista Mexicana de Agronegocios, 10(19): 2-5.

- San Martín-Hernández C., V. M. Ordaz., P. Sánchez G., M. T. Beryl C. L. y L. Borges G. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243-254.
- Shipp L., L. Vänninen., R. Jacobson. 2011. Greenhouse climate: An important consideration when developing pest management programs for greenhouse crops.", *Acta Horticulturae* 893(1): 133-143.
- SMRN (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2007. Diagnóstico Socioeconómico y de Manejo Forestal Unidad de Manejo Forestal Zacatlán. Asociación Regional de Silvicultores Chignahuapan-Zacatlán A. C. 2007; 281.
- Steiner A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Strojny Z., J. Nowak. 2001. Effect of different growing media on the growth of some bedding plants. *Acta Hort.* 644: 157-162.
- Tahi H., R. Wakrim., B. Agachich., M. Centritto. 2007. Water relations, photosynthesis, growth and water–use efficiency in tomato plants subjected to partial rootzone drying and regulated deficit irrigation. *Plant Biosystems.* 141:265-274.
- Vargas-Tapia P., J. Castellanos R., R. Muñoz., P. Sánchez., C. Tijerina., R. López., S. Martínez., A. Ojodeagua. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*, 34(3): 323-331.
- Vázquez-Rodríguez J. C., F. Sánchez. Castillo., E. Moreno. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*; 13(1): 55-62.
- Villarreal-Romer M., T. Parra., P. Sánchez., V. Hernández., E. Osuna., M. Corrales., A. Armenta. 2009. Fertirrigación con diferentes formas de nitrógeno en el cultivo de tomate en un suelo arcilloso. *Interciencia* (34): 2.
- Villareal-Romero M., E. García., A. Osuna. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad de poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra* 20:311-320.
- Villarreal-Romer M., R. Pérez., C. Siller. 1999. Fertirrigación nitrogenada y potásica, y su efecto en la producción y calidad del tomate, en el Valle de Culiacán, Sinaloa. *Horticultura Mexicana* 7: 358-367.
- Volke H., F. Reyes., B. Merino. 1993. La materia orgánica del suelo como función de factores físicos y el uso y manejo del suelo. *Terra* 11: 85-92.
- Warncke D. 1988. Recommended test procedure for greenhouse growth media. In: Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. Bulletin 499. North Dakota Agricultural Experiment Station. Fargo,

Yescas-Coronado P., C. Segura., V. Orozco., S. Enríquez., S. Sánchez., R. Frías., T. Montemayor., R. Preciado., 2011.

Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiviados en la producción de tomate. *Terra Latinoamericana*, 29(4): 441-448.



## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES**

Con base en los resultados de la presente investigación se consideraron relevantes las siguientes conclusiones:

### **Caracterización y funcionalidad de invernaderos en el municipio de Chignahuapan Puebla**

- Los invernaderos evaluados en la zona de estudio se encuentran diferenciados por la tipología, estructura, material de construcción, cubierta y control del clima. Estos factores son determinantes para la producción y rendimiento de tomate, pero presentan un uso de la tecnología de nivel bajo.
- El principal cultivo establecido en los invernaderos es el tomate, para su producción se utilizan sistemas hidropónicos y el suelo con acolchado plástico. No obstante, no presentó diferencias significativas en rendimiento entre ellos, aunque si la muestran con invernaderos tipo túnel, sin calefacción y sistema suelo con acolchado plástico.
- Los indicadores de funcionalidad de invernaderos como altura, dimensiones y superficie mostraron una correlación significativa con el rendimiento del tomate y el tipo de invernadero.

### **Uso y manejo de plaguicidas en invernaderos de la región norte del estado de Puebla, México**

- Los productores de tomate en invernadero realizan la actividad mediante el uso intensivo de una gran variedad de plaguicidas, la aplicación de estos se hace con escasa protección y se utilizan principalmente funguicidas pues las condiciones ambientales de la zona son propicias para la presencia de hongos en el cultivo.

- Con la información resultante se puede desarrollar y establecer estrategias orientadas a la capacitación, para que los productores y jornaleros tengan un mejor conocimiento del uso y manejo de los plaguicidas, así como de nuevas técnicas agrícolas para racionalizar la aplicación de los agroquímicos.

### **Eficiencia de sistemas para la producción de tomate e invernadero**

- La eficiencia en agua y fertilizante que se puede lograr mediante el sistema de cultivo en suelo acolchado, es del orden de 50 % en comparación con los sistemas de fibra de coco y tezontle. Las diferencias observadas en rendimiento entre los tratamientos podría ser efecto de las diferencias entre sus propiedades físicas y químicas.
- El tezontle mostró el mayor rendimiento de tomate, consumo de agua, fertilizante, insumos y mano de obra por lo que el costo beneficio resultó menor que el suelo con acolchado plástico.

## **CAPÍTULO VII. PROPUESTA PARA MEJORAR LAS PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO EN CHIGNAHUAPAN, PUEBLA**

### **7.1. Introducción**

Con base en los estudios y los resultados obtenidos de la presente investigación así como considerando las necesidades e inquietudes de productores de la región de estudio, se diseñó una propuesta para la producción de tomate en invernadero en el municipio de Chignahuapan, Puebla, dirigida principalmente a productores con el propósito de mejorar las actividades que tienen una mayor influencia en el cultivo de tomate, la propuesta gira alrededor de cuatro ejes principales:

- A. Aspectos generales a considerar en la producción de tomate en invernadero.
- B. Invernadero y condiciones ambientales.
- C. Producción.
- D. Manejo de plaguicidas.

Es importante recalcar que durante las entrevistas a productores y en los resultados de la presente investigación, se observó variabilidad de sus condiciones ambientales, de uso de tecnología actual, tipo de invernadero y manejo agronómico en cultivo de tomate; es de esperar que la información que se proporciona en la presente propuesta deba tomarse con reserva, ya que quien la utilice tendrá que evaluar su conveniencia y los resultados deseados.

### **7.2. Aspectos generales a considerar en la producción de tomate en invernadero**

Los productores que incursionen en la siembra de tomate en invernadero deberán tomar en cuenta los siguientes aspectos generales que son importantes para evitar un fracaso e incrementar las probabilidades del éxito en sus operaciones.

### **7.2.1. Disponibilidad de agua para riego**

Es importante contar con la suficiente cantidad y calidad de agua requerida para establecer y mantener el cultivo. Existen muchos fracasos y abandonos de invernaderos tan solo por no darle el valor que merece al tema relacionado con el agua de riego, así como de la cantidad y calidad.

### **7.2.2. Climatología de la localidad**

Es importante contar con información que refiera a los factores climáticos de la región donde se establecerá el proyecto así como de la adaptación del cultivo en cuestión, pues en el invernadero a pesar de que se pueden controlar algunas condiciones ambientales su adquisición y manipulación aumentara el costo de producción, de la misma forma es importante el análisis de parámetros del clima como velocidad y dirección predominante del viento, temperatura máxima, mínima y promedio, humedad relativa nocturna y diurna del ciclo del cultivo, intensidad de luz y fotoperiodo en diferentes estaciones del año y precipitaciones pluviales.

### **7.2.3. Vías de comunicación**

Los accesos principales al invernadero, así como las carreteras y rutas de destino de la producción son factores importantes a considerar en el desplazamiento de los embarques del producto terminado, pues la distancia entre estos, es un aspecto a considerar al momento de definir el tipo de transporte a utilizar en el desplazamiento del producto empacado.

### **7.2.4. Disponibilidad de mano de obra**

Se requieren como mínimo un operario por cada 1000 m<sup>2</sup> de invernadero en el cultivo de tomate en suelo, en actividades de producción, cosecha y empaque del producto.

### **7.2.5. Conocimiento técnico y administrativo**

Se debe contemplar el conocimiento referente a los aspectos técnicos del manejo de invernadero y del cultivo, principalmente de situaciones en un ambiente productivo real de invernaderos, traducándose en el desarrollo de competencias concretas y en la creación de conocimientos útiles para sostener ventajas competitivas. En la cuestión administrativa en temas de inducción en los procesos administrativos, esquemas de planeación y control de los procedimientos de producción.

### **7.2.6. Infraestructura**

Cuando se plantea el desarrollo de un proyecto productivo en invernadero es común que se pasen por alto aspectos relevantes que sobre la marcha sorprenderán, debido al impacto económico que implican, tales aspectos pueden ser los relacionados a infraestructura como:

- Maquinaria agrícola
- Bodega para empaque
- Almacén para agroquímicos y fertilizantes
- Red de electrificación
- Instalaciones sanitarias, baños, comedores, etc.
- Telefonía.
- Agua potable para el consumo de los trabajadores.

### **7.2.7. Mercado.**

Es importante analizar y evaluar el mercado de consumidores, es decir que es lo que se está demandando en la actualidad, pues además de saber producir, es importante definir qué es lo que se quiere y como se va a lograr.

### **7.2.8. Capacitación y vinculación**

La capacitación para el cultivo de tomate en invernaderos deberá enfocarse a proveer de conocimientos para el diseño, organización, implementación y evaluación de las actividades a realizar, de la misma forma es importante crear vinculación, que consista en una oportunidad de intercambio de experiencia entre productores, instituciones y centros de investigación, estimulando el interés en adoptar o implementar distintas tecnologías.

### **7.3. Invernadero y condiciones ambientales**

La utilización de invernaderos en el municipio, representa una alternativa de producción y oportunidad comercial, ya que, además de ofrecer protección contra las condiciones adversas del clima a los cultivos le dan una mejor calidad y mayores rendimientos, dicha actividad dentro del sector primario tiene un auge muy importante, llegando a ser detonante en la economía del municipio.

Los invernaderos para la producción de tomate, se han establecido por los productores en diferentes localidades del municipio, donde la altura oscila entre los 2.200 y 3.400 metros sobre el nivel del mar (msnm), temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C. y precipitación total anual varía de 600 mm a 1000 mm dichos factores influyen en la producción, se recomienda para futuras construcciones de invernaderos, el análisis de una adecuada selección del lugar para su establecimiento, tipo de invernadero, orientación y su tecnología.

#### **7.3.1. Temperatura**

Es importante mantener una temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate (23-25 °C día y 15-17 °C noche), además se recomienda la limpieza de la cubierta del invernadero, principalmente del polvo adherido con la intención de aumentar la temperatura y el aprovechamiento de la luz por las plantas, este proceso se realiza mediante la fotosíntesis en el cual la planta aprovecha la energía solar para transformar los

nutrimentos del suelo, agua y aire, en azúcares que utilizan las plantas para su crecimiento y desarrollo.

Durante el invierno las bajas temperaturas y heladas que se presentan en el municipio, son restricciones para producir tomate, utilizar calefacción, rara vez se justifica económicamente. Recurrir a incinerar hules, aserrín, llantas entre otros, puede afectar gravemente la salud del productor jornaleros y a la población en general.

### **7.3.2. Humedad relativa**

En la producción en invernadero es común que se le dé mayor importancia a la temperatura que a la humedad relativa. Sin embargo, un aumento o disminución de esta, puede ocasionar baja en los rendimientos, ya que se relaciona con otros factores como alta incidencia de hongos.

Se debe considerar que la evolución diaria de la temperatura y la humedad relativa se comportan en forma inversa, es decir conforme incrementa la temperatura baja la humedad relativa. Por lo tanto, la humedad relativa en un invernadero alcanza su máximo valor normalmente por la noche y primeras horas de la mañana y disminuye en las horas más calientes del día, cuando se tienen temperaturas bajas durante el día se puede también tener alta humedad relativa debido a la humedad generada por las plantas dentro del invernadero de tal forma que la humedad relativa óptima para el cultivo del tomate oscila entre el 50 y 60 %, cuando la humedad relativa es baja se deshidrata el polen reduciendo el cuaje de los frutos y cuando la humedad relativa es alta propicia el desarrollo de enfermedades principalmente de hongos y bacterias.

La prevención de la condensación de las gotas de agua es muy importante. En días soleados se incrementa la transpiración de las plantas, pero debido a que la temperatura es alta, la humedad no se condensa. Sin embargo, en la tarde o la noche la temperatura y el aire tiene menor capacidad de almacenar agua por lo que se condensa en la cubierta y hojas de las

plantas propiciando la germinación de las esporas de hongos que pueden afectar severamente el cultivo de tomate principalmente *Botrytis (Botrytis cinérea)*.

La condensación del vapor del agua en las paredes y cubierta del invernadero tiene una relación directa con la humedad relativa del aire, de tal forma que las gotas tienen un efecto negativo en los cultivos, ya que impiden el paso de la luz y aumentan las probabilidades del desarrollo de enfermedades.

El control de la humedad relativa alta se hace mediante las siguientes opciones:

- Abrir ventanas cuando la humedad relativa exterior es inferior a la interior
- Elevar la temperatura dentro del invernadero, cerrando las ventanas laterales y cenitales o con el uso de calefactores, (pero recordemos que es un proceso costoso).
- Poda de tallos y hojas de las plantas.
- Reducir la densidad de plantas dentro del invernadero.

El monitoreo de la humedad relativa interior y exterior del invernadero es importante para poder tomar una decisión correcta, es decir, si debemos abrir o que permanezcan cerradas las ventanas laterales y/o cenitales.

#### **7.4. Producción**

El sistema de producción de tomate en invernadero suelo con acolchado plástico es una tecnología apta para el municipio, pues la región cuenta con condiciones agroclimáticas, suelo, agua y características socioeconómicas adecuadas para el cultivo mediante dicho sistema. La implementación del uso de suelo con acolchados plásticos, innovaciones tecnológicas (fertirrigación, manejo preventivo de plagas y enfermedades, adecuado uso de plaguicidas, bitácora de manejo técnico y costos de producción) son opciones tangibles para productores.



#### **7.4.1. Diseño de camas**

Una de las ventajas del cultivo en suelo, es que tiene la capacidad de amortiguar excesos de sales de tipo nutricional y de manejo del agua. Cuando se tienen interrupciones temporales de suministro, el sistema no se vería afectado seriamente, como ocurre en cultivo con sustrato conocido como hidroponia. Distintos autores recomiendan el cultivo en suelo para iniciar el proceso de aprendizaje de la producción de tomate en invernadero.

El diseño técnico de las camas es muy importante, tanto para el manejo agronómico del cultivo como para las prácticas de cosecha. Se recomienda que las camas deban medir 120 centímetros de ancho y 40 centímetros de pasillo, con 35 a 40 centímetros de altura. El suelo debe estar completamente mullido y desmenuzado para favorecer las subsecuentes labores culturales, como son la incorporación de materia orgánica, desmoronar terrones y agregar estiércol el cual debe haber pasado por un proceso de intemperización y esterilización para su adecuada incorporación al suelo, ya que puede traer consigo esporas de hongos, nematodos, bacterias u otros patógenos al invernadero.

#### **7.4.2. Solarización**

Posterior al trabajo del suelo (preparación de camas) y previo a la aplicación de desinfectantes químicos, se recomienda la solarización que es un término que se refiere a la desinfección del suelo por medio del calor generado de la energía solar capturada, es una esta técnica sencilla, consiste en cubrir el suelo con hule transparente, el cual cubra un periodo de 4 a 6 semanas.

Posterior a la solarización, 24 horas antes del trasplante, se debe hacer un riego para mantener las condiciones propicias de humedad en el suelo, es importante respetar los tiempos de riego. Se recomienda hacer los hoyos al menos un día antes del trasplante empleando estacas a la medida de la cavidad del cepellón y a una profundidad ligeramente superior al cepellón. La clave para hacer los hoyos en forma correcta es que el suelo contenga suficiente humedad. De la misma forma, realizar la actividad cuando las

condiciones climáticas sean favorables, y es decir con temperaturas que no causen estrés a la planta.

### **7.4.3. Fertilización**

Numerosas soluciones nutritivas han sido formuladas para hacer crecer plantas en cultivo sin suelo, entre ellas, su composición química varía ampliamente. Se enfatiza que las concentraciones de nutrientes requeridos para satisfacer las demandas internas de las plantas difieren de acuerdo con la especie. Por lo tanto, no puede haber una solución nutritiva única con que se tendrían resultados satisfactorios para todas ellas. Conviene entonces, dejar claro que no existe en la actualidad información suficiente para determinar soluciones nutritivas estandarizadas por especies, variedades, estados de desarrollo, condiciones climáticas o métodos de cultivo, incluso es muy probable que nunca exista esa información tan precisa y minuciosa, porque en definitiva la variabilidad de los factores de producción es tan grande que las soluciones nutritivas optimizadas podrían ser infinitas.

Lo antes mencionado no debe de llevar el desánimo, puesto que, las plantas de tomate son seres vivos con un alto grado de adaptación al medio en que se desarrollan, los límites de concentración en que un determinado elemento nutritivo puede encontrarse disponible para la planta en una solución nutritiva, son lo suficientemente amplios como para que sean otros factores de la producción, normalmente menos controlables, los que condicionan y limitan la capacidad productiva de un cultivo.

A pesar de no evaluar soluciones nutritivas, los mejores resultados en el cultivo en suelo con acolchado fueron a partir de la siguiente concentración de fertilizantes ajustada a los análisis de agua y suelo.

**Tabla 1. Propuesta de fertilización para la producción de tomate en suelo acolchado con plástico.**

Fertilizante	0-70 días después del trasplante	70-130 días después del trasplante	130 días después del trasplante
	me/L		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6-8	8-10	7-9
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.6-1.0	0.6-1.0	0.6-1.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3-6	3-6	3-6
K <sup>+</sup>	4-5	5-6	4.5-5.5
Ca <sup>2+</sup>	5-6	5-6	5-6
Mg <sup>2+</sup>	1.5-2.0	1.8-2.5	1.5-2.5
CE, dS/m	1.1-1.3	1.2-1.4	1.1-1.3

El pH se ajusta con ácido fosfórico los microelementos fueron suministrados mediante TRADECITRUS®

Es importante no mezclarse fertilizantes que contengan calcio con fosfato o sulfatos, debido a que provocará que se precipite el fertilizante, ocasionando el taponamiento de los emisores de la cintilla.

En la Tabla 2 se presentan los nutrimentos necesarios para un buen desarrollo de las plantas, sus características y deficiencias de los elementos, respectivamente. En cada caso y para cada elemento se describe su movilidad en el suelo y dentro de la planta, en qué condiciones ocasionan normalmente la deficiencia y descripción de la deficiencia en la planta del tomate.

**Tabla 2. Fertilizante, sus características y síntomas de deficiencia.**

Nutrimento	Características	Síntomas de Deficiencias
Nitrógeno (N)	Elemento con alta movilidad en la solución del suelo y dentro de la planta. Se lixivia con gran facilidad con lluvias y/o riegos pesados. En forma de amonio puede quemar la raíz si está muy cerca. Se convierte a nitratos, forma en que lo absorbe la planta.	1.-Crecimiento lento 2.- Color follaje amarillo general (clorosis) 3.-Hojas nuevas muy delgadas

Fósforo (P)	Inmóvil en solución del suelo, pero altamente móvil dentro de la planta. La raíz debe llegar al nutriente para ser absorbida. No se lixivia con lluvia y/o riego pesado. Su disponibilidad se reduce con suelo con pH alto y temperaturas inferiores a 12 °C.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Plantas enanas.</li> <li>2.- Hojas y tallos de color púrpura.</li> <li>3.- Retraso en la maduración</li> <li>4.-Ápice foliar color verde oscuro y muerte posterior.</li> <li>5.-Crecimiento muy lento</li> <li>6.-Plantas avejentadas</li> </ol>
Potasio (K)	Se mueve lentamente en la solución del suelo y altamente móvil dentro de la planta. No se lixivia con lluvia y/o riego pesado. Es importante para la calidad de frutos (tamaño y calidad).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-El ápice y bordes de hoja con quemaduras</li> <li>2.-Tallos débiles y acamados</li> <li>3.-Frutos pequeños y paredes delgadas (reduce vida de anaquel)</li> <li>4.-Crecimiento de la planta lento</li> </ol>
Calcio (Ca)	Se mueve en la solución del suelo, pero muy poco dentro la planta. Un componente de gran importancia en la pared celular de frutos. Deficiencia correlacionada con la pudrición apical (tomate). Asociada a 1111 mal manejo del riego 0 días nublados.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Muerte de porción apical de fruto.</li> <li>2.-Color muy oscuro en hojas jóvenes</li> <li>3.-Floración prematura que aborta</li> <li>4.-Tallos débiles (acame).</li> </ol>
Magnesio (Mg)	Es moderadamente móvil en la solución del suelo y altamente móvil dentro de la planta. Se presenta con mayor frecuencia en suelos arenosos y/o ácidos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Clorosis intervenal en hojas viejas.</li> <li>2.-Las hojas se retuercen en los márgenes</li> <li>3.-Venas muy oscuras).</li> </ol>
Azufre (S)	Alta movilidad en solución del suelo y moderadamente móvil dentro de la planta. Mayor deficiencia en suelos ácidos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1-Clorosis en hojas nuevas.2.- Plantas pequeñas y débiles 3.- Crecimiento retrasado y lenta maduración</li> </ol>
Cinc o Zinc (Zn)	Poca movilidad en la solución del suelo y moderadamente móvil dentro de la planta. Se presenta deficiencia en ápices. Puede ser causada por excesos de fósforo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Entrenudos cortos</li> <li>2.-Hojas moteadas</li> <li>3.-Asociada a déficit hídrico.</li> </ol>
Fierro (Fe)	Baja movilidad en la solución del suelo y moderada movilidad dentro de la planta. La deficiencia puede ser inducida por altas concentraciones de manganeso en suelos ácidos. Muy común en suelos alcalinos, suelos fríos y con mal drenaje.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Clorosis intervenal, con venas color verde oscuro en hojas jóvenes. 2.- Se corrige aireando el suelo o cuando se eleva temperatura del suelo.</li> </ol>
Manganeso (Mn)	Poca movilidad en la solución del suelo y moderada movilidad dentro de la planta. Excesos de manganeso inducen la deficiencia de Fierro.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Clorosis intervenal en hojas jóvenes. Pero no tan fuerte como el caso del fierro.</li> </ol>

Cobre (Cu)	Poca movilidad en la solución del suelo y moderada movilidad dentro de la planta. Deficiencia muy rara en tomate. Provoca rajadura de frutos.	1.-Plantas enanas 2.-Color pálido 3.-Muerte de hojas jóvenes y marchitamiento.
Boro (B)	Inmóvil dentro de la planta	1.-Porciones podridas y puntos muertos. 2.-Reducción en la floración y polinización. 3.-Hojas delgadas, retorcidas, marchitas y cloróticas.
Molibdeno (Mo)	Moderada movilidad en la solución del suelo y moderada movilidad dentro de la planta.	1.-Plantas enanas con poco vigor 2.-Encorvado o enrollado de hojas

Fuente: Castellanos, 2008.

#### 7.4.4. Poda

Las podas en tomate pueden ser de hojas, tallos, brotes axilares, brotes de racimos, flores, frutos. Sin embargo, son típicas de las variedades de crecimiento indeterminado. La principal poda es de brotes axilares que consiste en la eliminación de los brotes cuando alcancen 5 a 10 centímetro de longitud, la primera poda se realiza a los 15 a 20 días después del trasplante, es una práctica que mejora el desarrollo del tallo principal

#### 7.5. Manejo de plaguicidas

Distintos factores afectan el impacto de los plaguicidas en los seres humanos y el medio ambiente, aunque el gobierno, la industria y el servicio de extensión proveen regulaciones, etiquetas y educación para promover un uso juicioso y manejo responsable, el éxito finalmente depende del conocimiento y diligencia de cada persona que manipula los productos que se utilizan para la protección de cultivos.

Con resultado de la investigación sobre el uso y manejo de plaguicidas en el municipio se enlistan acciones que mejoraran su uso.

Es importante como primer punto la capacitación constante, esto podría mejorar la eficiencia de los plaguicidas para evitar intoxicaciones y enfermedades.

Para el uso de plaguicidas en invernadero existen 8 reglas básicas de seguridad 1.- Leer la etiqueta antes de usar el producto. 2.- Usar ropa protectora, limpia y apropiada. 3.- Si la ropa se contamina durante el manejo de plaguicidas, quítesela y báñese inmediatamente para ponerse ropa limpia. 4.- Evitar todo contacto directo del plaguicida con la piel. 5.- Después del trabajo, bañarse y ponerse ropa limpia. 6.- Limpiar el equipo después de usarlo. 7.- Durante el trabajo no comer, no tomar, ni fumar. Al comer o fumar, lavarse las manos y la cara con agua y jabón. 8.- Al presentar algún malestar, es necesario la atención médica mostrando al médico la etiqueta del producto que se utilizó.

Para poder disminuir la incidencia de plagas en el cultivo de tomate y por consiguiente disminuir el uso de plaguicidas, es importante que el invernadero no tenga rasgaduras, es decir hules rotos, esto evitara la entrada de plagas.

Antes de aplicar plaguicidas, es necesario tener bien identificada(s) la(s) plaga(s). El plaguicida no tendrá efecto en la plaga equivocada, lo cual le implicaría aumento económico y no se resolverá el problema.

Las instrucciones de uso del producto y el resto de la información que está en la etiqueta, son de suma importancia, es recomendable leer las advertencias, las declaraciones de precaución, los requisitos del equipo de protección personal a utilizar al momento de la dosificación del producto y de su aplicación, la duración del intervalo de entrada al invernadero, el período o intervalo pre y post cosecha, las instrucciones para primeros auxilios y atención de emergencias químicas.

No transportar los plaguicidas en el mismo compartimiento con personas, animales, insumos, abarrotos o alimento para animales o humanos, sujete, aislar y cubrir bien los plaguicidas para evitar accidentes.

La aplicación de plaguicida debe realizarse evitando altas temperaturas, cuando el sol no sea muy intenso para evitar toxicidades por evaporación y concentración del producto.

No almacenar los plaguicidas en el interior del invernadero, ni en la cámara fitosanitaria (entrada al invernadero) el almacén debe de hacerse en áreas exclusivas y aisladas de viviendas, bajo llave y bien identificadas. Cantidades considerables de plaguicidas, deben ser almacenados en áreas construidas con materiales resistentes al fuego, distante de fuentes de agua, en zonas no inundables, con piso de cemento, con muro de contención. Además, contar con suficiente iluminación y una adecuada ventilación evitando temperaturas extremas que podrían afectar los productos. Debe tener a disposición material absorbente (aserrín, arena), y en sus proximidades contar con un baño de emergencia y lava ojos.

Aumentar la dosis del máximo permitido en la etiqueta, para el uso específico, no tiene absolutamente ninguna ventaja, incrementa el costo y no la eficacia, e incrementa el nivel máximo de residuo-concentración de residuo, o tolerancia del plaguicida que legalmente se permite en un producto agrícola al momento de cosecha.

La efectividad de una aplicación del plaguicida, está determinada por la aplicación en el momento oportuno y dosis correcta, pues no se debe esperar hasta que el cultivo tenga un daño considerable. Es importante identificar y monitorear la plaga, ya que son actividades críticas que ayudan a decidir si se debe o no hacer una aplicación.

Lavar la ropa que se usó durante la aplicación del plaguicida antes de volver a usarla, también, desechar los objetos que accidentalmente hayan sido altamente contaminados con plaguicidas.

Enjuagar los envases “vacíos” de los productos mediante el triple lavado con agua limpia, dicho enjuague debe ir a la mezcla que se está preparando. Posteriormente, perforar el envase para evitar su reutilización y no los incinere, disponga de él de una manera segura de acuerdo a las indicaciones de los fabricantes.

Evalúe todas sus opciones de control de plagas y enfermedades, como biológicas, químicas, culturales, genéticas, mecánicas y combine las técnicas efectivas dentro de un enfoque de manejo integrado de plagas que logre el control deseado de plagas a un costo razonable y con atención constante para proteger el medio ambiente a través de un manejo responsable.

Promover el control biológico protegiendo los depredadores y parásitos benéficos que ayudan a controlar la plaga, siguiendo todas las precauciones y direcciones de la etiqueta para evitar o minimizar la exposición de los insectos benéficos al producto.