

F01
10545

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO
Y PRODUCCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
AGROPECUARIA EN COSTA RICA

SISTEMA UNIFICADO DE
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN
Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA
AGROPECUARIA DE COSTA RICA
(INTA)

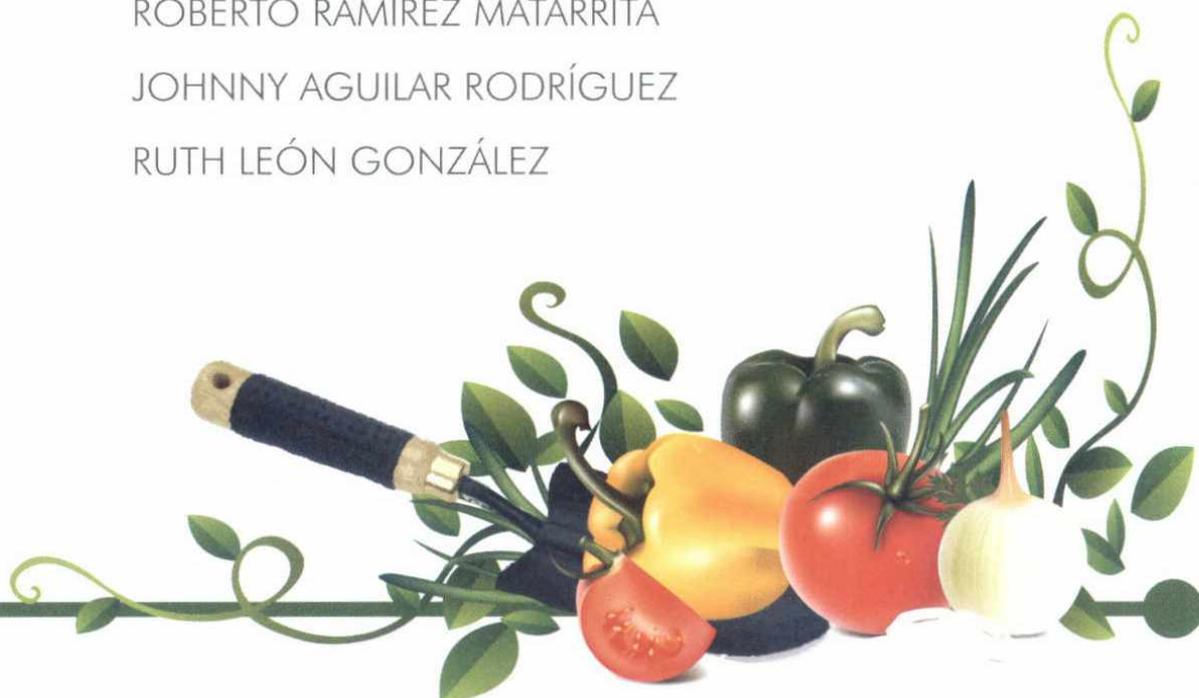
INTRODUCCIÓN A LOS CULTIVOS protegidos bajo COBERTURA PLÁSTICA en COSTA RICA

ROBERTO RAMÍREZ MATARRITA
JOHNNY AGUILAR RODRÍGUEZ
RUTH LEÓN GONZÁLEZ



INTRODUCCIÓN
A LOS CULTIVOS
protegidos bajo
COBERTURA PLÁSTICA
en COSTA RICA

ROBERTO RAMÍREZ MATARRITA
JOHNNY AGUILAR RODRÍGUEZ
RUTH LEÓN GONZÁLEZ



-- JUN. 2014



631.58
R173i

Ramírez Matarrita, Roberto

Introducción a los cultivos protegidos bajo cobertura
plástica en Costa Rica / R. Ramírez, J. Aguilar y R. León.
San José: MAG-SUNII, 2010.
130 p.

ISBN: 978-9968-877-43-5

1. CULTIVO PROTEGIDO 2. BAJO COBERTURAS DE PLÁSTICO.
3. COSTA RICA – I. Aguilar Rodríguez, Johnny. II. León González,
Ruth. III. Título

Aprobada su publicación en sesión del 30 de julio, 2010.

ISBN: 978-9968-877-43-5

Comité Técnico Editorial:

Guadalupe Gutiérrez Mejía
Nora Orias Montes
Fernando Mojica Betancourt
Nevio Bonilla Morales
Daniel Zúñiga van der Laet
Guillermo Guzmán Díaz

PRÓLOGO

El Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (INTA), junto con el Sistema Unificado de Información Institucional (SUNII) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y la Fundación para el Fomento y la Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITTACORI) se complacen en ofrecer el presente documento, que ha sido elaborado con gran dedicación por los Ingenieros Roberto Ramírez, Johnny Aguilar y Ruth León, para provecho tanto de agricultores, técnicos de campo, así como de estudiantes y todos aquellos profesionales relacionados con la agricultura bajo plástico.

Este documento desarrolla y aborda conceptos básicos para la producción de cultivos bajo ambientes protegidos y controlados para regiones tropicales, describiendo todos aquellos factores que intervienen en el sistema. Se mencionan aspectos tecnológicos incluyendo temas dedicados a los tipos de ambientes, aspectos agroclimáticos, estructuras, diseños, riego y fertilización, cultivos con y sin suelo, control fitosanitario, sistemas de climatización, etc.

Los aportes técnicos de esta obra pueden servir como base en el desarrollo de nuevas experiencias y mejorar las existentes, dentro de una visión sistémica con el afán de resguardar la seguridad alimentaria, aprovechar oportunidades de exportación y hacer un buen uso de los recursos naturales, especialmente del agua.

Entre las personas que contribuyeron con información y sugerencias se resalta la participación de los Ingenieros Juan Mora Camacho, Juan Carlos Valverde Conejo, Guillermo Araya Umaña y Guillermo Guzmán Díaz; así como el apoyo brindado por todos los funcionarios de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez.

Ing. Agr. Juan Mora Montero M.Sc.

CONTENIDO

Capítulo I. Generalidades del ambiente protegido	15
1. Historia	15
2. Definición y ejes de acción de los cultivos protegidos	17
3. Ventajas e inconvenientes de producir en ambientes protegidos	18
Capítulo II. Protección del ambiente	21
1. Tipos de ambiente	21
1.1 Ambiente Protegido.....	21
1.1.1 Micro túneles	21
1.1.1.1 Altura del túnel y aperturas laterales	22
1.1.1.2 Variación de factores ambientales	24
1.1.1.3 Construcción de los túneles	26
1.1.2 Techos plásticos	29
1.1.2.1. Construcción de techos plásticos.....	30
1.1.3 Invernadero	30
1.1.3.1 Factores a tomar en cuenta al construir un invernadero	31
1.2 Ambiente controlado.....	36
1.2.1 Control de la temperatura	37
1.2.1.1 Nebulizadores.....	37
1.2.1.2 Pantalla de sombreado.....	38
1.2.2 Control de la humedad relativa	40
Capítulo III. El clima en el interior de los invernaderos	41
1. El clima espontáneo en invernaderos	41
2. Fundamentos técnicos (físico-climáticos).....	42
2.1 Radiación.....	42
2.1.1 Efecto invernadero.....	44

2.1.2 Transmisión de la radiación	45
2.1.3 Mantenimiento de la cobertura plástica	47
2.2 Temperatura	49
2.2.1 Dinámica de la temperatura en el interior del invernadero	51
2.2.2 Manejo de la temperatura	54
2.2.2.1 Ventilación	54
2.2.2.2 Material y ángulo de la cubierta	57
2.2.2.3 Orientación del invernadero o cultivo	58
2.2.2.4 Sistemas de enfriamiento	59
2.2.2.5 Uso de cobertores claros para el suelo	59
2.3 Humedad	59
2.4 Dióxido de carbono (CO ₂)	62
Capítulo IV. Diseños y estructuras de invernaderos	63
1. Diseños de invernaderos	63
1.1 Capilla	64
1.2 Multi capilla	67
1.3 Dentado	69
2. Estructuras de los invernaderos	70
2.1 Estructura metálica	70
2.2 Estructura de madera en cuadro	72
2.3 Estructura de madera de rolliza	73
2.4 Estructura de bambú	74
2.5 Estructura combinada	75
Capítulo V. Riego en invernaderos	77
1. Introducción	77
2. Retención de agua por el suelo o sustrato	79
2.1 Curva de retención de humedad del suelo	80
2.2 Drenaje del suelo o sustrato	82
2.3 Medición del agua del suelo	83
3. Régimen de riego	86
3.1 Cantidad de agua	86
3.2 Frecuencia de riego	88
3.3 Calidad de agua para riego	91
4. Fertilización	92
4.1 Fertirrigación en suelo	93

4.2 Fertilización en cultivos en sustrato.....	94
5. Componentes del sistemas de riego	98

Capítulo VI. Manejo de plagas y enfermedades en cultivos de invernadero 99

1. Manejo de la plagas.....	99
1.1 Plagas más comunes en ambiente protegido.....	101
1.1.1 Mosca blanca: Bemisia tabaci, trialeurodes vaporarorium Homoptera: Aleyrodidae.....	101
1.1.2 Gusano alfiler: Keiferia lycopersicella (Walsingham) Lepidoptera: Gelechiidae.....	102
1.1.3 Gusanos del fruto: Helicoverpa zea, Heliothis virescens, Spodoptera spp. Lepidoptera: Noctuide	103
1.1.4 Picudo del chile: Anthonomus eugenii Coleoptera: Curculionidae	104
1.1.5 Trips: Frankliniella occidentale Thysanoptera: Thripidae	105
1.1.6 Ácaros: Poliphagotarsonemus latus Acari: Tarsonemidae	105
1.1.7 Áfidos: Aulocarthum solani, Aphis gossypii, Macrosiphum euphorbiae, Myzus persicae Homoptera: Aphididae.....	106
1.1.8 Ceratitis capitata Wied Diptera: Tephritidae	106
1.2 Algunas recomendaciones generales del uso de agroquímicos en cultivos protegido.....	107
2. Enfermedades	107
2.1 Estrategias para el control de las enfermedades	110
2.1.1 Prácticas culturales	110
2.1. 2 Control por resistencia genética	111
2.1. 3 Control biológico	112
2.1.4 Control químico.....	113
2.1.4.1 Desinfección química del suelo.....	113
2.1.4.2 Aplicación de pesticidas foliar	113

Capítulo VI. Poscosecha..... 115

1. Manejo poscosecha	115
1.1 Manejo poscosecha del chile dulce	116
1.2 Manejo poscosecha del tomate.....	118
1.3 Manejo poscosecha del pepino.....	119
1.4 Manejo poscosecha de la lechuga americana.....	120

Anexos	121
1. Regulación para exportar chile dulce y tomate a los Estados Unidos.....	121
Bibliografía	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficies estimadas (en miles de ha) de cultivo protegido en el mundo en el año 2000.....	16
Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre la cantidad de plántulas de cebolla cosechadas y tasa de sobrevivencia. (Cañas, Guanacaste, nov. 2006	23
Tabla 3. Efecto de la altura y aperturas laterales sobre la temperatura y humedad relativa en el interior de los túneles, Cañas, Guanacaste. Oct – nov. 2006	25
Tabla 4. Características físicas de algunos sustratos.....	87
Tabla 5. Clasificación de la salinidad de aguas de riego.....	92
Tabla 6. Extracciones aproximadas de algunos cultivos hortícolas.....	93
Tabla 7. Preparación de la solución para fresa, tomada de Estrada, G (1997).....	95
Tabla 8. Compatibilidad química de la mezcla de algunos fertilizantes comunes en Fertirrigación	97
Tabla 9. Enfermedades más comunes en invernadero	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de micro túnel sujetado por bandas de hule	27
Figura 2. Diseño de micro túnel sujetado por cintas adhesivas	28
Figura 3. Orientación del invernadero y recorrido del sol	32
Figura 4. Ejemplo de Invernadero tipo capilla utilizando plástico de 7 m de ancho por 50 m de largo a dos aguas	34
Figura 5. Espectro electromagnético	42
Figura 6. Distribución de la radiación solar	43
Figura 7. Efecto convectivo y radiativo en invernadero	44
Figura 8. Registro de la radiación en el interior y exterior de un invernadero multi capilla, durante los meses de abril a junio del 2007 (Est. Exp. Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste	46
Figura 9. Registros de la temperatura en el interior y exterior de un invernadero multi capilla con cultivo, durante los meses de abril a junio del 2007, en la Est. Exp. Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste.....	50
Figura 10. Simulación mediante el programa Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) sobre las variaciones de la temperatura en el interior de un invernadero tipo dentado sin cultivo, en condiciones ambientales del trópico seco (Proyecto INTA-IRTA, España, 2007).....	51

Figura 11. Simulación de la dinámica de la temperatura mediante el programa CFD con cultivo de tomate (Proyecto INTA-IRTA, España, 2007).....	53
Figura 12. Simulación de la dinámica del aire (m/s) en invernadero tipo dentado, bajo condiciones de trópico seco (Proyecto INTA-IRTA, España, 2007).....	55
Figura 13. Transmisibilidad de luz en condiciones Mediterráneas en dos diseños de invernadero orientados norte-sur (modificado de Nielsen, 1972).....	58
Figura 14. Registros de la humedad relativa en el interior y exterior de un invernadero multi capilla con cultivo, durante los meses de abril a junio del 2007, en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste	61
Figura 15. Curva de retención de humedad de los suelos	81
Figura 16. Esquema de la medición de la tensión del agua en un sustrato.....	85
Figura 17. Distribución gráfica del Sistema de Trampeo	123

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Bloques de micro túneles utilizados para proteger almácigos de cebolla en la época lluviosa (Cañas, Guanacaste)	22
Foto 2. Ensayo efectuado por el INTA sobre alturas de túneles para evaluar condiciones ambientales internas y su efecto en el desarrollo de almácigos de cebolla. Cañas, Guanacaste, oct. 2007	24
Foto 3. Plantación de tomate bajo techos plásticos en Alajuela	29
Foto 4. Diferentes tipos de perfiles para la sujeción del plástico.....	35



Foto 5. Boquilla de 7 l/h utilizada en sistema de nebulización en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste.....	38
Foto 6. Pantalla de sombreo desplegada (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste)	39
Foto 7. Limpieza de la cobertura plástica (Cañas, Guanacaste).....	48
Foto 8. Comparación entre cobertura limpia y sucia.....	49
Foto 9. Limpieza de malla anti insecto con agua a presión	56
Foto 10. Invernadero tipo capilla de una agua ubicado en Santa Elena de Nicoya, Guanacaste	64
Foto 11. Diseño de invernadero tipo capilla a dos aguas con ventana cenital, ubicado en Tronadora de Tilarán, Guanacaste	65
Foto 12. Invernadero tipo capilla a dos agua con geometría plana, Santa Elena de Nicoya, Guanacaste	66
Foto 13. Invernadero multi capilla de geometría curva, ubicado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste	67
Foto 14. Invernadero multi capilla de geometría plana ubicado en el Instituto Tecnológico de Cartago.....	68
Foto 15. Invernadero tipo dentado de tres naves ubicado en el Níspero de Cañas, Guanacaste	69
Foto 16. Invernadero con estructura de metal ubicado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste	71
Fotos 17 y 18. Invernadero con estructura de madera en cuadro utilizado en el mediterráneo español.....	72
Fotos 19 y 20. Invernadero con estructura de madera rolliza ubicado en Nicoya, Guanacaste	73

Fotos 21 y 22. Vivero con estructura de bambú ubicado en el Centro Agrícola Cantonal de Grecia.....	74
Fotos 23 y 24. Estructura combinada de madera en cuadro con tubo metálico, (Pilonos de Antigua, Guatemala)	75
Fotos 25 y 26. Invernadero con estructura combinada de bambú y metal, ubicado en Moravia (Empresa Carillanca)	76
Fotos 27 y 28. Óptimo desarrollo radical y de producción en plantación de chile dulce con sustrato hidropónico (Invernadero de la Asociación de Productoras de Jazmines de Upala).....	80
Fotos 29 y 30. Dos diseños de drenaje para canaletas hidropónicas.....	83
Foto 31. Tensiómetro colocado en el suelo.....	84
Foto 32. Tanque evaporímetro.....	89
Foto 33. Cabezal de riego automatizado (Jazmines, Upala).....	98
Foto 34. Gusano de alfiler. Larva de <i>Keiferia lycopersicella</i>	103
Foto 35 y 36. Trampa de luz, utilizada en invernadero de Murcia, España	104
Foto 37. Plantación de tomate en invernadero con severo ataque de <i>Phytophthora infestans</i> (Cañas, Guanacaste)	108
Foto 38. Trabajadora injertando plántula de tomate de alta productividad en un patrón del mismo género tolerante a hongos de suelo (Pilonos de Antigua, Guatemala)	111
Foto 39. Maduración de un cultivar de chile dulce producido bajo invernadero, siete días después de la cosecha	117



CAPÍTULO I

GENERALIDADES SOBRE LA PRODUCCIÓN BAJO AMBIENTES PROTEGIDOS

1. HISTORIA

El desarrollo de los cultivos protegidos se remonta a la época del imperio romano, cuando se utilizaban pequeñas estructuras para proteger el cultivo de pepino del medio ambiente. A partir del siglo XVI se empezaron a construir estructuras rudimentarias en algunos países europeos y asiáticos, con el objetivo de resguardar los cultivos de las bajas temperaturas que imperan en la estación de invierno. Pero no fue sino hasta la segunda mitad del siglo XX que se dio una expansión por todo el mundo del uso de este medio de producción, gracias a la invención del plástico, el cual presenta ventajas como lo son: su ligereza, buena resistencia mecánica, inocuidad, impermeabilidad, transparencia a la luz y bajo costo con respecto a otras coberturas como el vidrio.

Actualmente en el mundo se calcula que existen más de 4 millones de hectáreas bajo coberturas plásticas para brindar protección a un sin número de cultivos (Tabla 1). El acolchado o cubrimiento del suelo con plástico encabeza la lista con más de 3 millones de hectáreas, seguido por los invernaderos, túneles plásticos y cubiertas flotantes. El continente asiático es donde se encuentran la mayor superficie de área con cultivos protegidos, estimándose que solo China cuenta con más de 300 mil ha de invernaderos, le sigue Europa y más rezagada América.



TABLA 1

SUPERFICIES ESTIMADAS (EN MILES DE HA) DE CULTIVO PROTEGIDO EN EL MUNDO EN EL AÑO 2000.

Protección	Área Geográfica					
	Asia	Mediterráneo	Resto Europa	América	Otros	Total
Acolchado	3,080	193	15	85	5	3,377
Cubierta Flotante	7	12	28	2	1	50
Microtúneles	144	117	4	20	1	286
Invernaderos	418	144	43	20	3	628

Fuente: Castilla et al., 1995., Wittwer et al., 1995., Zhibin, 1999., Castilla, 2002; Castilla et al., 2004.

Producir bajo esta modalidad de agricultura, tiene el propósito de proteger los cultivos contra las condiciones adversas del medio ambiente. En Costa Rica resulta innovador, ya que se inició a nivel comercial hace pocos años y desde ese entonces se ha venido gestando múltiples experiencias en todo el país. Según el censo de ambientes protegidos realizado por la Comisión Nacional sobre Ambientes Protegidos en el año 2003, para ese momento existían 1080 módulos para un área total de 180 hectáreas. En cuanto al tamaño de las unidades productivas el 59% era menor a los 1000 m², mientras que el restante 41% era mayor. En total se estaban sembrando 63 cultivos, siendo los de mayor importancia tomate, chile dulce, fresa y la producción de almácigos de hortalizas.



Los invernaderos y otras coberturas plásticas, se han ubicado principalmente en la Región Central Occidental, encontrándose a una altitud entre los 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.); no obstante, este medio de producción se ha difundido por todo el país con el objetivo principal de proteger los cultivos del exceso de precipitación. Debido a la diversidad y variaciones del clima propias de áreas intertropicales se han presentado algunos problemas con los diseños, sobre todo en el control de los saltos térmicos (aumentos de temperatura en el interior de las coberturas plásticas respecto a la temperatura ambiente) que pueden dificultar el manejo agronómico de los cultivos.

El interés por la agricultura protegida, ha motivado al Estado a la creación de una estructura de apoyo y de generación de políticas. Por esta razón, el 12 de octubre del 2004, se creó por medio del decreto 32039, el Programa Nacional Sectorial de Agricultura Bajo Ambientes Protegidos (ProNAP), integrado por Instituciones del Sector Agropecuario y empresa privada, con el objetivo de abordar de manera sistémica e integrada y bajo el enfoque de agro cadena, el desarrollo de la agricultura bajo la modalidad de ambientes protegidos. El ProNAP, trabaja para enlazar a todas las personas o grupos interesados en esta forma de producción, promoviendo un proceso ordenado que facilite el desarrollo de la actividad.

2. DEFINICIÓN Y EJES DE ACCIÓN DEL CULTIVO PROTEGIDO

Se entiende por cultivo protegido, la aplicación de toda forma de protección física de las plantas contra las condiciones adversas del medio ambiente, especialmente de la alta pluviometría característica de zonas del trópico, con el propósito de alcanzar mayor productividad, mejor calidad, alargar los períodos de recolección y extender las áreas de producción (Wittwer et al, 1995).

El sistema de agricultura protegida se basa en varios ejes:

- A) **Desarrollo de un sistema agrícola especializado:** una agricultura de precisión exige conocimientos en diferentes áreas como el riego, gestión del ambiente, materiales genéticos, comercialización, etc. Esto implica que difícilmente se puedan dar "recetas", ya que las condiciones ambientales y de manejo varían de un lugar a otro, por lo que obliga a las personas que trabajan en este medio a generar nuevas experiencias que se irán mejorando con el tiempo.

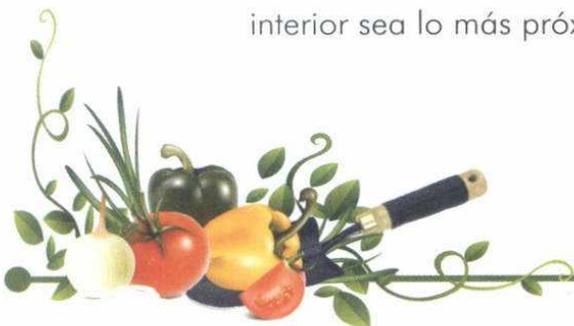


- B) **Calidad y seguridad alimentaria:** para suplir la demanda de productos agrícolas de toda la humanidad, se estima que en las próximas dos décadas se debe triplicar la producción mundial de alimentos en las mismas áreas que se cultivan en la actualidad, para garantizarle a toda la población acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y poder así llevar una vida activa y sana (FAO, 1983).
- C) **Respeto al medio ambiente:** el esfuerzo por aumentar la productividad de los sistemas agrícolas debe ir de la mano con un compromiso de sostenibilidad en el uso y manejo de los recursos naturales, especialmente de las fuentes de agua, así como de un adecuado y responsable manejo de los desechos.
- D) **Mantenimiento del medio rural:** según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), actualmente es la primera vez en la historia de la humanidad que la población de las ciudades supera a la rural. Esto evidencia el masivo éxodo de personas del campo en busca de oportunidades que muchas veces no encuentran en su lugar de origen. La agricultura bajo ambientes protegidos puede crear agroindustrias en zonas rurales generando empleos dignos y desarrollo.

3. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE PRODUCIR EN AMBIENTES PROTEGIDOS

Entre las ventajas se destacan:

- **Protección contra factores externos:** en regiones tropicales como la nuestra, las coberturas plásticas se utilizan principalmente para proteger los cultivos de las altas precipitaciones normales de la época lluviosa (efecto paraguas), las cuales ocasionan severos daños a los cultivos, debido al golpeteo de las gotas de lluvia, lavado de fertilizantes, erosión de suelo, alta presión de organismos fitopatógenos, etc. Pero también puede servir de resguardo contra los vientos fuertes, alta o baja humedad relativa y temperatura.
- **Control y monitoreo de parámetros del clima:** este medio de producción permite manejar algunas variables ambientales. La utilización de mecanismos de control del clima depende de un profundo análisis económico que demuestre la factibilidad de invertir en estos equipos. En la mayor parte de nuestro territorio el principal reto es evitar saltos térmicos importantes; en otras palabras, que la temperatura del aire interior sea lo más próxima al aire exterior de la estructura, tarea nada fácil.



- **Necesidades de mercado:** los agricultores que logren mantener la calidad y la continuidad en la producción durante todo el año a un costo de operación competitivo, lograrán tener acceso a múltiples mercados en cualquier parte del mundo. Producir en diferentes épocas, cuando en otras regiones no producen, abre oportunidades para suplir las demandas del mercado.
- **Ahorro en costos de producción:** una de las metas que persigue producir bajo ambientes protegidos, es incrementar los rendimientos por unidad de área, haciendo un uso eficiente del agua y otros insumos agrícolas. Los rendimientos en invernadero pueden hasta triplicarse con respecto a las explotaciones en campo abierto, lo que genera una mayor utilidad económica.
- **Reducción del uso de agroquímicos:** el empleo de diferentes tipos de mallas anti-insecto como barrera mecánica contra las plagas, un óptimo control del ingreso y desinfección del personal en las áreas de producción; así como un adecuado manejo de la humedad relativa, disminuye significativamente la presión de organismos que afectan los cultivos, lo que reduce drásticamente el uso de agroquímicos, obteniéndose productos inocuos a un menor costo de operación.
- **Mejor calidad de los productos:** como efecto de lo anterior y al estar los cultivos aislados del medio ambiente se puede lograr una mayor uniformidad de las cosechas en cuanto a color, tamaño, sabor, calibre, inocuidad, etc.

Entre los posibles inconvenientes están:

- **Alta especialización de trabajadores en el campo empresarial y técnico:** sin importar el tamaño de las explotaciones agrícolas bajo ambientes protegidos, la formación empresarial y técnica es fundamental para poder sacar el máximo provecho a los bienes de consumo que se generan en estos proyectos. Esta especialización solo se puede lograr invirtiendo en capacitaciones, situación que conlleva tiempo y gastos.
- **Alto costo inicial:** la inversión en la compra de estructuras, sistemas de riego, insumos, capacitaciones, etc. Puede tener costos muy elevados inicialmente, originando que en los primeros años de producción los márgenes de utilidad sean muy estrechos. A esto se le debe sumar el costo de aprendizaje, que muchas veces no se contempla y es a la postre el que nos enseña el verdadero potencial de nuestra explotación e indica las acciones por mejorar.



CAPÍTULO II

PROTECCIÓN DEL AMBIENTE

1. TIPOS DE AMBIENTE

En nuestro medio cuando se hace referencia a sistemas de cultivo bajo cobertura plástica o casas de malla, se habla de dos tipos de ambiente: el ambiente protegido y el ambiente controlado.

1.1 AMBIENTE PROTEGIDO

En síntesis, el ambiente protegido es toda barrera física entre el cultivo y el medio ambiente, con la finalidad de crear un microclima favorable donde se pueda dar un desarrollo óptimo de las plantas, obteniendo cosechas de mayor calidad y alto valor remunerativo.

Las estructuras que más se han generalizado en nuestro país son: los micro túneles, techos plásticos e invernaderos.

1.1.1 MICRO TÚNELES

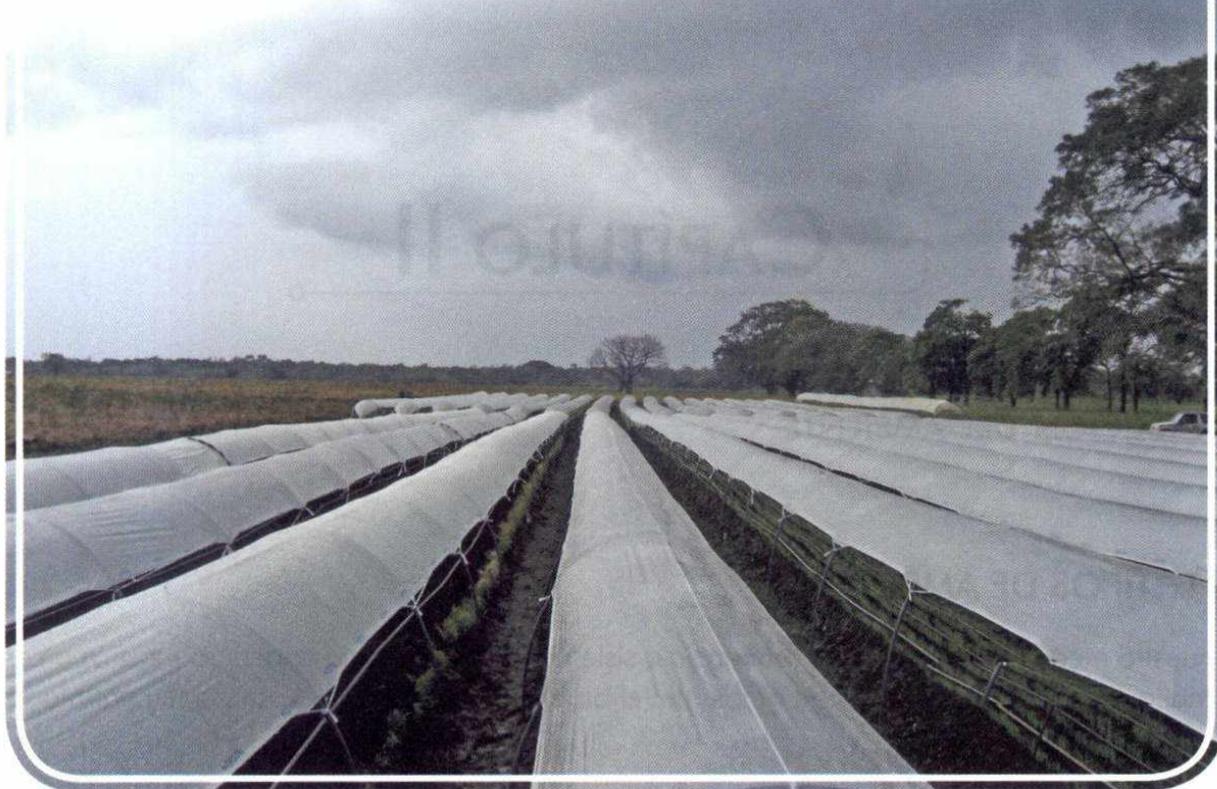
Son pequeñas estructuras construidas con arcos y cubierta plástica (Foto 1), que proveen protección temporal al cultivo, principalmente en la época lluviosa (efecto paraguas). Tienen la ventaja de que la inversión no es muy alta, pudiendo llegar a ser hasta diez veces más barata que un invernadero. El inconveniente es que, al no contar con malla anti-insecto en las aperturas laterales, el cultivo es vulnerable al ataque de insectos. Los cultivos que se pueden sembrar deben ser de porte bajo, como las lechugas, culantro, repollo, rábanos, almácigos de cebolla, etc.

La construcción de los micro túneles se hace en forma rápida y sencilla, pudiendo hacerlo el mismo agricultor. A continuación se describe el procedimiento para implementar estas estructuras.



FOTO

1

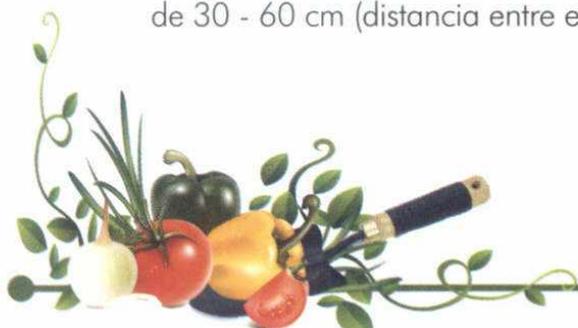


Bloques de micro túneles utilizados para proteger almácigos de cebolla en la época lluviosa (Cañas, Guanacaste) (Foto L. Meza)

1.1.1.1 ALTURA DEL TÚNEL Y APERTURAS LATERALES

La altura y aperturas laterales de los micro túneles tienen un efecto directo sobre la penetración de lluvia en el área sembrada y con las condiciones ambientales en el interior de la estructura, en especial de la temperatura y humedad relativa.

Investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), para determinar el rendimiento y calidad de los almácigos de cebolla producidos bajo túneles con cobertura plástica, comparado con los de campo abierto, en Cañas, Guanacaste (Tabla 2), demostraron que se puede alcanzar tasas de sobrevivencia de hasta un 90%, en túneles que miden un metro de altura a la cresta (parte más alta), con aperturas laterales de 30 - 60 cm (distancia entre el suelo y el borde del plástico).



Otro diseño que se evaluó medía dos metros de altura a la cresta con 1,35 m de aperturas laterales, el cual obtuvo un 68% de sobrevivencia. Aunque este modelo tenía una mayor capacidad de renovación de aire, debido al tamaño de las aperturas, con respecto al túnel de un metro de altura, éste reveló no ser tan eficaz para contener el ingreso de la lluvia por los extremos de la era, debido a la dimensión de las aberturas laterales.

Mientras tanto, la parcela testigo (campo abierto) apenas obtuvo un 10% de supervivencia (Ramírez *et al*, 2007). Este bajo rendimiento se debió principalmente, a que la semilla después de la siembra, quedó descubierta al ambiente por efecto de la lluvia.

TABLA 2

EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA CANTIDAD DE PLÁNTULAS DE CEBOLLA COSECHADAS Y TASA DE SOBREVIVENCIA.
(CAÑAS, GUANACASTE, NOV. 2006)

Tratamiento	Número promedio de plantas cosechadas (0,25 m)	Número promedio de semillas sembradas (0,25 m)	Sobrevivencia (%)
1 M	618,3 a	688	90
2 M	469 a	688	68
Testigo	67,3 b	688	10

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Fuente: Ramírez *et al*, 2007.





Ensayo establecido por el INTA sobre alturas de túneles para evaluar condiciones ambientales internas y su efecto en el desarrollo de almácigos de cebolla. Cañas, Guanacaste, oct. 2007.

1.1.1.2 VARIACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES.

La temperatura y la humedad relativa en el interior de los túneles, varía según la condición del día (soleado, nublado, etc.) y la altura de las aperturas del túnel, esto es la distancia entre el suelo y el borde del plástico.

En el mismo estudio efectuado por el INTA en Guanacaste (Tabla 3), se comprobó que en los días con condición parcial y completamente nublados, en el interior del túnel de un metro de altura y 30 cm de apertura lateral, la temperatura y humedad relativa interna se mantenían muy similares a los valores en el exterior.



En los días con condición soleada para este mismo túnel, se presentó un salto térmico (aumento interno de la temperatura) de 3,2 °C, sin que variara la humedad relativa en el interior con respecto al ambiente. Esto indica que para el caso donde se realizó la prueba (Región Chorotega), no es necesario estar abriendo y cerrando la cobertura plástica, sino más bien se puede mantener fija, ya que la renovación de aire a través de las aberturas laterales, origina un microclima con condiciones ambientales óptimas para el normal desarrollo de las plántulas de cebolla en la época lluviosa.

Uno de los cuidados más importantes a tener en cuenta para salvaguardar la estructura y cobertura plástica de los micro túneles, es detectar cuando la velocidad del viento va en aumento, ya que las ráfagas extremas, especialmente cuando inicia el periodo de transición a la época seca, pueden ocasionar serios daños. En estos casos existe la necesidad de enrollar el plástico en un extremo o en la cúspide del túnel y sujetarlo con cuerdas.

TABLA 3

EFFECTO DE LA ALTURA Y APERTURAS LATERALES SOBRE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL INTERIOR DE DOS TIPOS DE TÚNELES, (CAÑAS, GUANACASTE. OCT – NOV. 2006.)

		Altura de túneles					
		1 metro		2 metros		Ambiente	
Medición	Condición de día	Temp. (°C)	H.R. (%)	Temp. (°C)	H.R. (%)	Temp. (°C)	H.R. (%)
1	PN	31,1	70	30,6	68	30,7	67
2	S	37,0	59	33,2	61	33,8	58
3	PN	31,4	65	31,6	59	31,6	61
4	N	25,1	81	25,2	79	25,0	80
5	PN	30,7	60	32,2	58	33,7	58

PN=parcialmente nublado, N=nublado, S=soleado

Fuente: Ramírez *et al*, 2007.



Con respecto a la luminosidad, solamente en los días soleados se presentó una disminución de la radiación en el interior de los túneles por efecto del grosor del plástico y la suciedad, promediando un 16%, mientras que en los días nublados, al prevalecer la radiación difusa, no se determinaron variaciones significativas.

1.1.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES

a) Preparación de terreno:

Es recomendable preparar el suelo con la finalidad de que esté suelto y posteriormente se puedan confeccionar eras o camas de 1 a 1,5 m de ancho, con una altura de 30 – 40 cm, separadas unas de otras por callejones de no menos de 40 cm de ancho, con una pendiente mínima de 0,5%, que además de facilitar el traslado del personal, funcionen como drenajes para evacuar las aguas de lluvia.

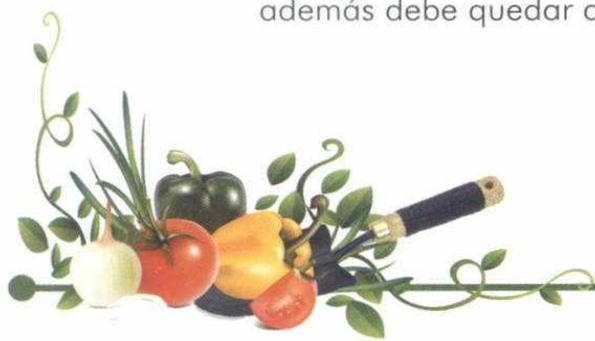
b) Estructura de los arcos:

El material utilizado como arco para construir los micro túneles, depende de las condiciones ambientales de cada zona, especialmente de la velocidad del viento. En regiones muy ventosas es aconsejable orientar los túneles en forma longitudinal (a lo largo) al ingreso del viento para evitar embolsamientos de aire que puedan dañar la cobertura plástica y utilizar varillas aceradas de al menos 1,27 cm de diámetro (1/2 pulgada), para que ceda ante la fuerza del viento, pero que regrese a su forma. En zonas de poca intensidad de viento se puede utilizar varillas lisas de 0,95 cm de diámetro (3/8 de pulgada).

Para construir un micro túnel de 1 metro de altura a la cresta y 1,6 m de ancho, se debe utilizar varillas de 4 m de largo, enterrándose ambos extremos entre 40 a 50 cm de profundidad. Los arcos se colocan con una separación de 1,5 a 2 metros de distancia unos de otros.

c) Colocación del plástico:

El plástico a utilizar debe ser de un espesor entre 0,1 a 0,15 mm y un ancho de 1,5 a 2 metros. Antes de colocar la cobertura plástica, se debe poner un alambre o material resistente en la cúspide de los arcos a lo largo del túnel, dando un giro en cada uno a modo de caballete, para dar mayor resistencia a la estructura, que además debe quedar anclada al inicio y final.

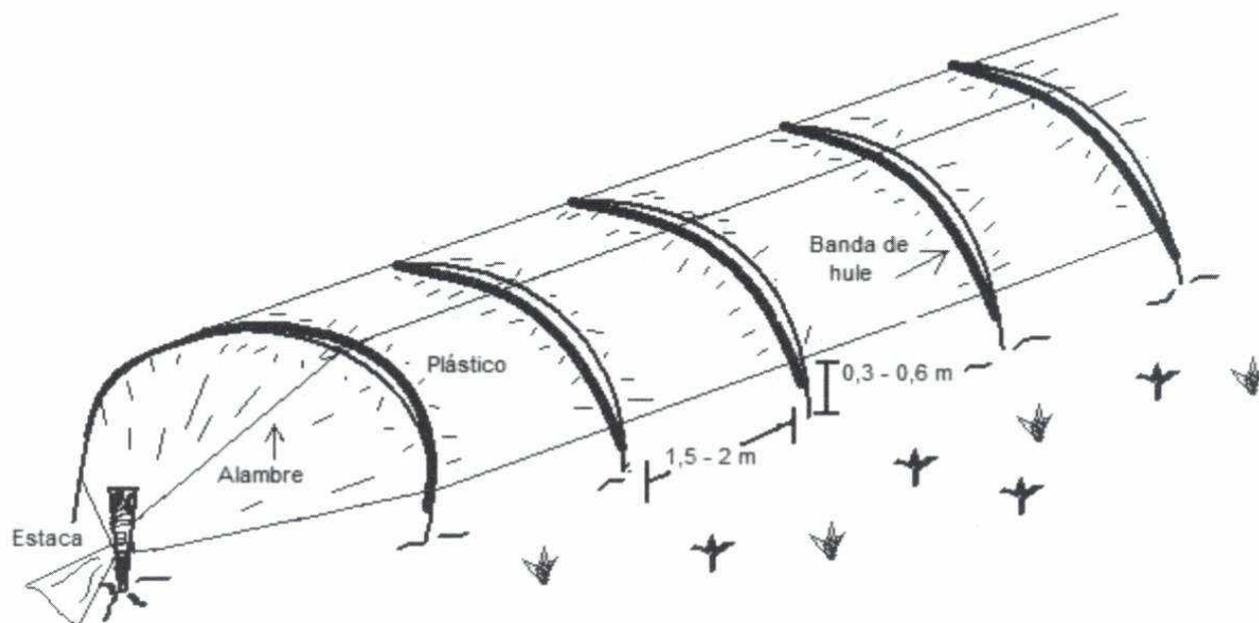


El plástico se coloca sobre los arcos y el caballete, ejerciendo una leve tensión longitudinalmente para luego anclarlo en ambos extremos. Las aperturas laterales del túnel deben ser de 30 a 60 cm para tener buenas tasas de ventilación, esto se logra doblando los extremos del plástico.

Para aumentar la sujeción del plástico a la estructura se puede hacer de dos formas: utilizando bandas de hule (por ejemplo neumáticos usados de bicicleta) (Figura 1), los cuales se colocan en cada arco, pasándolo de un lado a otro y sujetándolo cerca de la base.

FIGURA 1

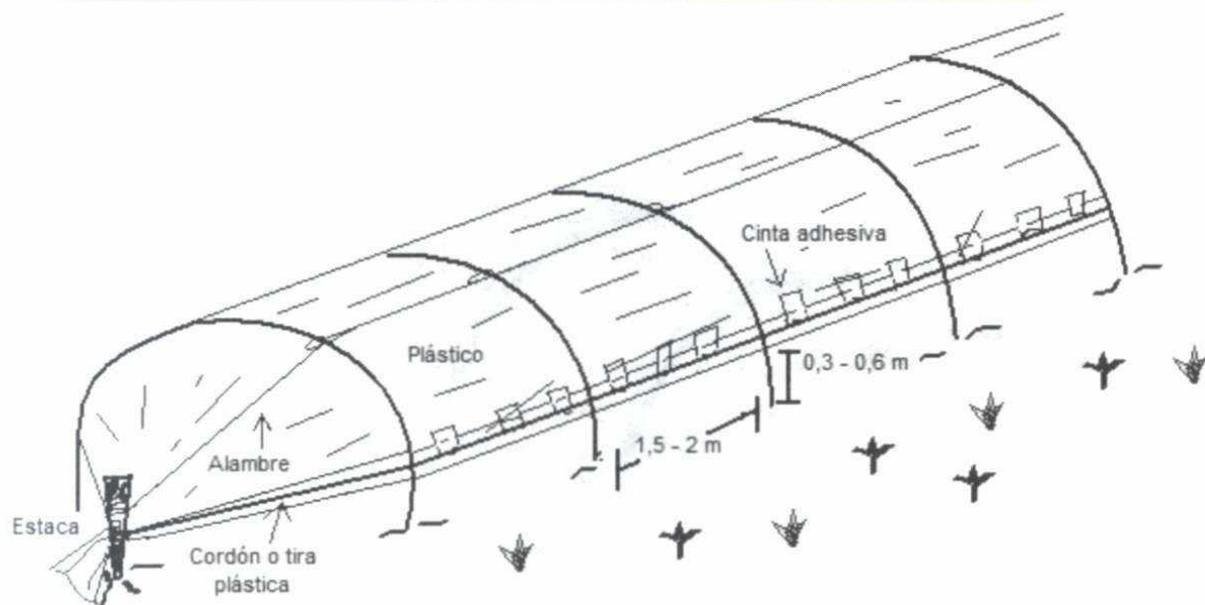
DISEÑO DE MICRO TÚNEL SUJETADO POR BANDAS DE HULE.



El segundo método (Figura 2) utiliza un cordón o tira plástica a lo largo de ambos lados del túnel cerca de donde finaliza los extremos del plástico con la finalidad de sujetarlos con cinta adhesiva resistente y así darle mayor resistencia.

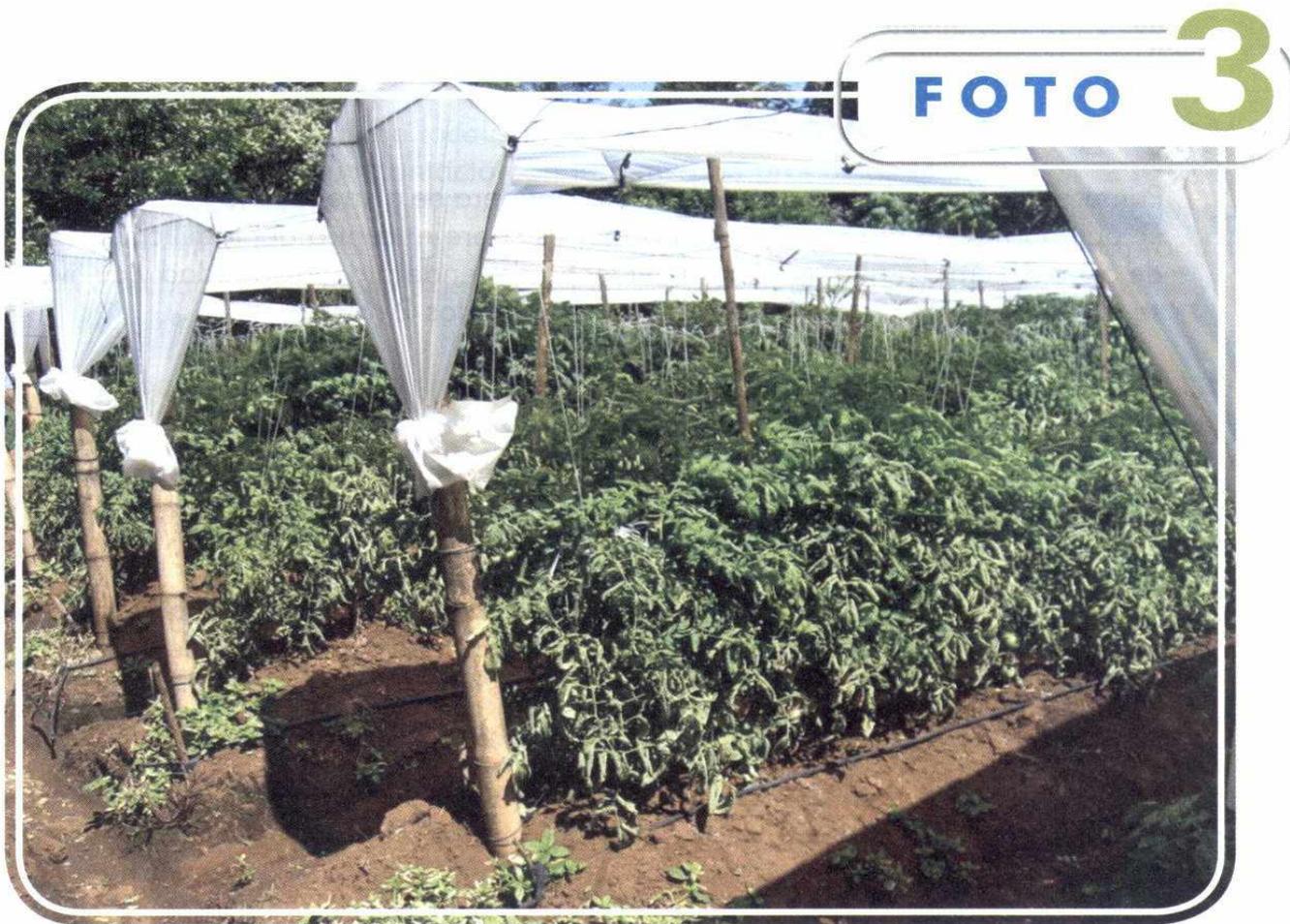
FIGURA 2

DISEÑO DE MICRO TÚNEL SUJETADO POR CINTAS ADHESIVAS.



1.1.2 TECHO PLÁSTICO

Es una cobertura plástica temporal utilizada en cultivos de porte alto como chile dulce y tomate, con la intención de protegerlos del daño mecánico causado por las lluvias (efecto paraguas). Al igual que los micro túneles, estas estructuras son de un bajo costo y en su mayoría construidas por los mismos agricultores.



Plantación de tomate bajo techos plásticos en Alajuela.



1.1.2.1 CONSTRUCCIÓN DE TECHOS PLÁSTICOS

a) Preparación del terreno

El suelo se debe acondicionar adecuadamente dejándolo lo más suelto posible, para posteriormente confeccionar lomillos de 0,75 a 1 metro de ancho y una altura de 40 cm. La distancia entre los lomillos, debe ampliarse con respecto a los cultivos sin cobertura plástica en 30 cm, ya que la base del tallo de las plantas se ve afectada por el torrente de agua de lluvia proveniente del techo contiguo, lo que provoca que se desnuden las raíces.

b) Estructura y colocación del plástico

Primero se colocan estacones de bambú o madera de al menos 2,54 cm de diámetro (1 pulgada) a una distancia de 2 a 3 metros sobre el centro del lomillo, enterrados de 50 a 80 cm. La altura máxima del techo dependerá de la variedad y cultivo que se quiere sembrar. Por lo general se aproxima a los 2 metros.

Muchos agricultores fijan sobre cada estación reglas de 1,1 metros de largo en forma de "T", con una ligera inclinación para facilitar la salida de la lluvia. Una vez colocado el plástico sobre la regla se procede a colocar una segunda regla con el fin de presar la cobertura.

El plástico utilizado es de 0,75 mm de espesor y 1,1 metro de ancho, el cual debido a los daños por las rasgaduras de los clavos y las reglas de madera prácticamente dura un ciclo de producción (6-8 meses). Se debe pensar entonces en alguna otra forma de sujetar el plástico para aumentar la vida útil.

1.1.3 INVERNADERO

Es una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para proteger las plantas del medio ambiente (Serrano, 1994). Los invernaderos, a diferencia de los micro túneles, son estructuras permanentes y de mayor costo, por lo que se debe efectuar un estudio económico en función al cultivo que se quiera sembrar para estimar la rentabilidad.



En nuestro país existen varias empresas que se dedican a la construcción de invernaderos, aunque dependiendo del diseño en algunos casos el mismo productor los fabrica. El precio por metro cuadrado de construcción varía según el tipo de estructura (madera, metal, etc.), altura total, diseño, accesorios de control climático, etc.

1.1.3.1 FACTORES A TOMAR EN CUENTA AL CONSTRUIR UN INVERNADERO

a) Localización:

El invernadero se debe localizar a no menos de 20 m de las casas de habitación, para prevenir algún contacto con la deriva de productos químicos en caso que se apliquen y alejado de las granjas porcinas para mantener controles de bioseguridad. Debe estar cerca del borde del camino para mayor facilidad de cargar los productos cosechados y de fuentes de agua potable, que se utilizará en el riego y en el lavado de la producción.

En zonas donde existe riesgo de daño por ráfagas de viento mayores a 40 km/h; el invernadero debe estar provisto con una barrera rompeviento, la cual puede ser un conjunto de especies forestales de rápido crecimiento. La separación del invernadero con los árboles o estructuras que generen sombra, debe estar a una distancia no menor a tres veces la altura del obstáculo.

Los proyectos de producción bajo ambientes protegidos deben ubicarse cerca de los mercados o centros de acopio, para evitar altos costos de transporte y se debe contar con caminos en buen estado, para no dañar el producto en el traslado.

b) Esquema de la propiedad:

Antes de construir un invernadero, se debe tener en cuenta que la actividad podría crecer en el tiempo, por lo que se debe proyectar esquemáticamente la ubicación de futuras expansiones (invernaderos, oficinas, zonas de lavado, etc.).

El lote donde se ubica el proyecto debe ser de un 50 a 100% más grande que el área del invernadero, previendo estratégicamente la ubicación de la primera estructura para ir formando módulos de construcción, de manera tal, que se puede aprovechar al máximo el área de la propiedad.



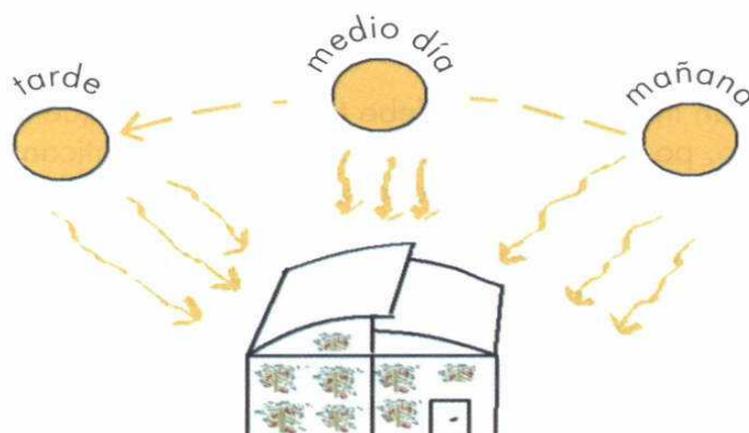
c) **Orientación del invernadero:**

Hay dos cosas importantes a tomar en cuenta para decidir la orientación del invernadero: el recorrido del sol y la trayectoria del viento dominante. En zonas donde ocurren saltos térmicos importantes en el interior de la estructura, la orientación del invernadero o líneas de cultivo debe colocarse en dirección o sentido del viento dominante con la intención de aumentar las tasas de renovación de aire por hora, lo que trae como beneficio la eliminación de excesos de temperatura y humedad; también aumenta la renovación de dióxido de carbono (CO_2) y la remoción de gases venenosos (monóxido de carbono (CO), etileno, etc.).

En lugares donde el brillo solar es de 4 horas por día en los meses de junio a noviembre, el invernadero o las filas de cultivo dentro de él, deben orientarse norte – sur, con el objetivo de aprovechar la mayor cantidad de luz, adecuándose al recorrido del sol que va en dirección este – oeste. Esto en consecuencia permite mayor homogeneidad en la distribución de la luz para el cultivo durante el día.

FIGURA 3

ORIENTACIÓN DEL INVERNADERO RESPECTO AL RECORRIDO DEL SOL



d) Dimensiones del invernadero:

La reducción de costos, es el elemento más importante a tomar en cuenta a la hora de construir un invernadero y esto se logra en parte, reduciendo la cantidad de sobrantes de materiales. Por esta razón generalmente la dimensión del invernadero depende de las medidas de los materiales que se utilicen, especialmente de la longitud y ancho de la cobertura plástica. Por ejemplo, si se utiliza un plástico de 7 m de ancho por 50 m de largo, con un espesor entre 0,15 a 0,18 mm (6 - 7 milésimas de pulgada) se puede construir un invernadero tipo capilla a dos aguas, de 10 m de ancho y 23 m de largo, con una ventana cenital en el techo (Figura 4). Sin embargo en la actualidad se encuentran paños de plástico de hasta 9 m de ancho, por lo que la dimensión del invernadero puede variar.

La separación de las columnas que dan sostén al techo en el interior del invernadero dependerá de la resistencia de material y diámetro que se utilice en la estructura, pudiendo variar entre 2 y 5 m cada una, aunque hay empresas que importan invernaderos con distancias entre columnas de 8 metros. En caso de utilizar tubo metálico, lo recomendable es que los parales fueran de al menos 5 cm (2 pulgadas) de diámetro. Además es recomendable que las bases de las columnas estén enterradas no menos de 0,5 m y rellenas con cemento.

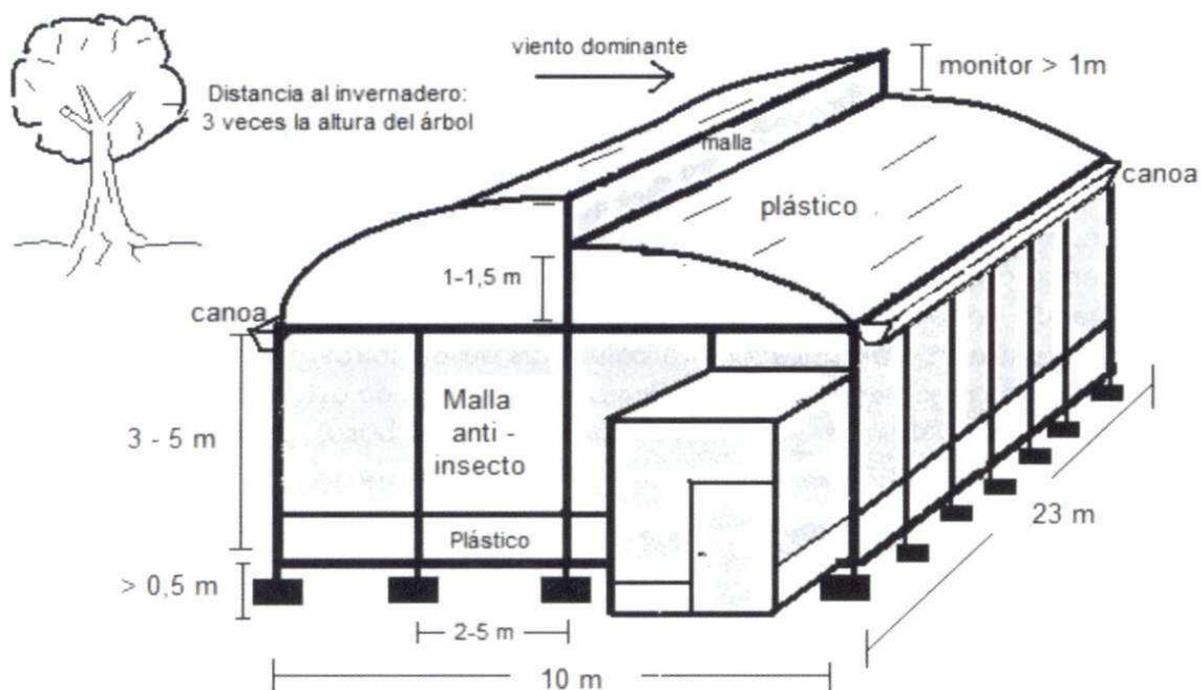
La altura a la canoa (término que se refiere a la altura desde el suelo hasta el vértice donde se une las columnas con el techo), debe ser entre 3 y 5 metros, dependiendo de la región donde se ubique el invernadero. Conforme aumente la altura del invernadero, se mitiga en parte el efecto del calor, debido a que al ser el aire caliente menos denso que el frío, fluye hacia la parte más alta de la estructura, renovándose con el aire proveniente del exterior.

El techo debe contar con una apertura cenital o monitor de 1 a 1,5 m de altura, para facilitar la salida del aire caliente. En caso de que la apertura cenital sea fija, o sea, no cuente con ningún mecanismo de cierre, el frente del monitor debe ubicarse al lado opuesto a la dirección del viento dominante, para disminuir el riesgo de embolsamientos de aire, que es ocasionado por ráfagas extremas de viento, las cuales suponen un peligro para la integridad de la cobertura plástica y la estructura del invernadero.



FIGURA 4

EJEMPLO DE INVERNADERO TIPO CAPILLA UTILIZANDO PLÁSTICO DE 7 M DE ANCHO POR 50 M DE LARGO A DOS AGUAS.



e) Sujeción del plástico

La cobertura plástica del techo se puede sujetar a la estructura del invernadero mediante diferentes accesorios. Los más utilizados y disponibles en nuestro medio son: 1) perfil con prensa, el cual consta de una especie de resorte que se introduce



en el perfil a presión. 2) perfil omega, sujeta el plástico al introducirse a presión un taco de polietileno en el perfil (Foto 4). 3) reglas de madera, se enrollan en el extremo del plástico para posteriormente atornillarse a la estructura.

Se debe tener presente que el plástico tiene una capacidad máxima de dilatación durante toda su vida útil, por lo que cuando se coloca no se debe tensar en exceso, ya que podría propiciar rasgaduras en los extremos que estropearían la cobertura.



PERFIL
CON PRENSA

FOTO 4



PERFIL
TIPO OMEGA

Diferentes tipos de perfiles para la sujeción del plástico.



f) **Aspectos varios:**

Las estructuras que se construyen en terrenos planos, deben tener una pendiente entre 0,5 y 1% y si se construyen en laderas, se deben realizar prácticas de conservación de suelo (terrazas), buscando mantener la pendiente entre 0,5 y 1%, para garantizar una eficiente escorrentía de las soluciones nutritivas, en caso de utilizar sustrato hidropónico.

Si se utiliza un medio hidropónico **NECESARIAMENTE** debe contar con un sistema de drenaje revestido que se encause hacia un tanque de recolección para su posterior manejo o reutilización (ver capítulo V).

El ángulo de inclinación del techo dependerá de la pluviometría de cada lugar, siendo que en lugares de alta incidencia de lluvia, la cubierta del invernadero debe tener una pendiente con un ángulo mayor a 25°, para una eficiente evacuación del agua de lluvia.

Se debe conocer el voltaje y amperaje del servicio de electricidad en cada lugar, ya que determinará el tipo de equipos que se puede instalar. Así como los servicios con que se cuenta, como agua potable para el manejo pos cosecha, telefonía, internet, etc.

Además, se debe analizar la disponibilidad y cercanía de proveedores no solo de insumos agrícolas, sino de sistemas y equipos de riego, debido a que se les debe dar mantenimiento durante el ciclo de cultivo y se convierte en la clave para el éxito de la actividad.

1.2 AMBIENTE CONTROLADO

El ambiente controlado se refiere a la protección física del cultivo contra el medio ambiente más una serie de automatismos, con la finalidad de alcanzar condiciones agroclimáticas idóneas para el desarrollo de las plantas.

En otras palabras es un ambiente protegido que incluye una serie de acciones para controlar variables ambientales como: temperatura, humedad relativa y luminosidad.



1.2.1 CONTROL DE LA TEMPERATURA

En regiones tropicales como Costa Rica, controlar la temperatura a un costo razonable es todo un reto, debido a que los saltos térmicos que ocurren en el interior de los invernaderos por efecto de la radiación y deficiencias en la ventilación afectan el desarrollo fisiológico de las plantas y por consiguiente el rendimiento productivo. Por esto es importante conocer los parámetros de temperatura en los cuales los cultivos que se planean sembrar se desarrollarían óptimamente, con el fin de planificar una estrategia que busque alcanzar temperaturas en el interior de la estructura lo más cercano al exterior o a los requerimientos del cultivo.

El primer paso para contrarrestar el efecto de la temperatura es seleccionar un diseño de invernadero adecuado para cada región (ver capítulo IV), tomando en cuenta la geografía y condición climática del lugar.

En el mercado existe una amplia gama de equipos para controlar la temperatura, entre ellos se encuentran:

1.2.1.1 NEBULIZADORES

Es un sistema de humidificación que aumenta la humedad relativa en el interior del invernadero, generando una neblina lo suficientemente fina para que absorba la energía calórica, pero que se evapore antes de entrar en contacto con el cultivo. Las boquillas que se deben utilizar para este propósito son las que tienen una descarga de 4 - 7 litros por hora (l/h). Este sistema es funcional en la época seca, cuando la humedad relativa se encuentra por debajo del 50%, pero es inconveniente en zonas de alta humedad, por lo que se debe analizar los parámetros ambientales del Atlántico de nuestro país.

No se debe confundir nebulizadores con micro aspersores, ya que los segundos presentan descargas de más de 20 l/h, causando que el follaje se moje y sea más propenso al desarrollo de enfermedades.

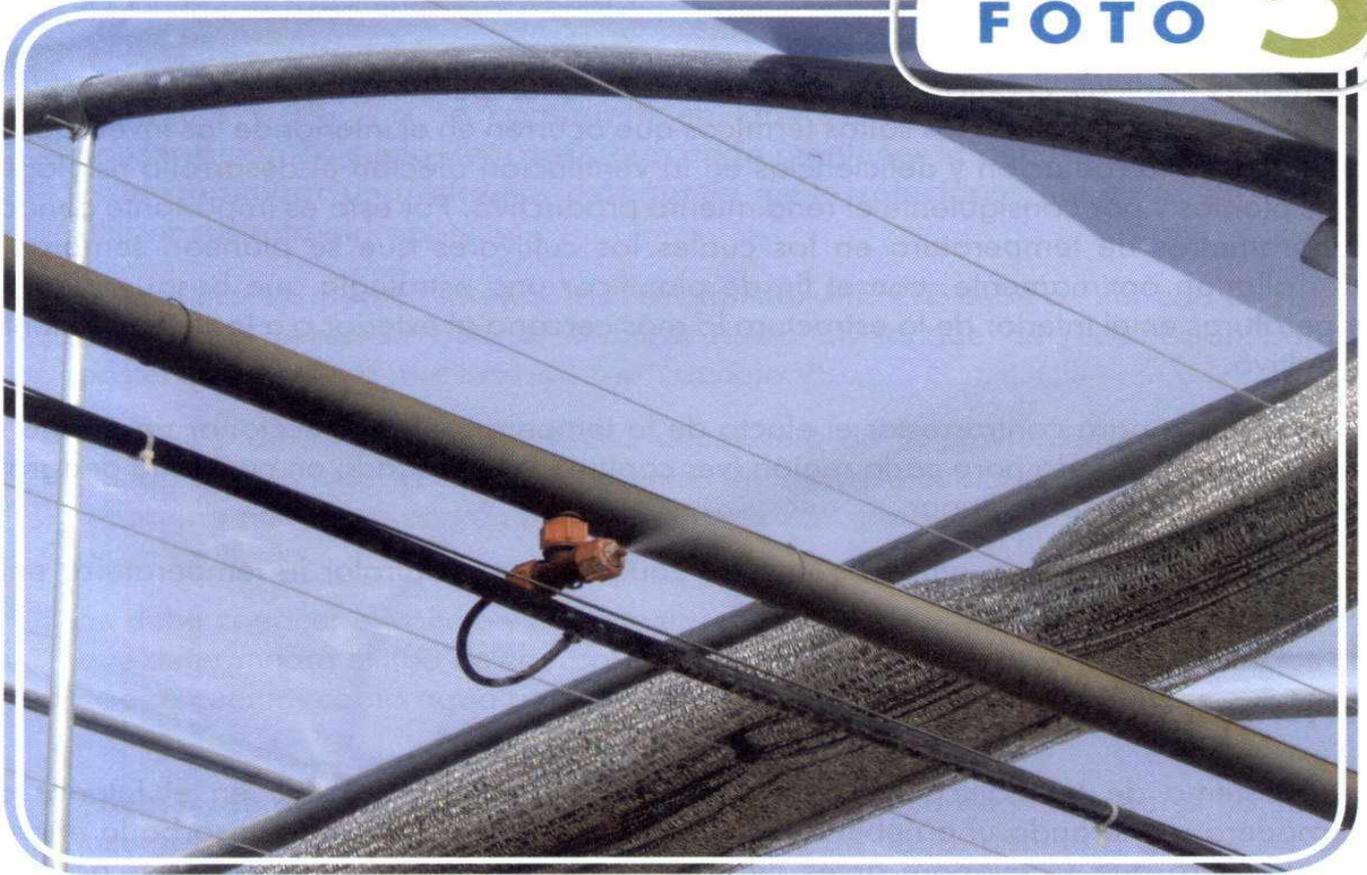
La activación de este sistema, se puede lograr colocando sensores de humedad relativa y temperatura en el interior del invernadero, los cuales mediante un programador logra fijar un rango para que el sistema de humidificación arranque y finalice.

Por ejemplo, en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, en Cañas, Guanacaste, se cuenta con un sistema de nebulización programado para que inicie cuando la humedad relativa baja hasta el 40% y finalice cuando llegue al 70%. Este control de la humedad ha sido muy efectivo para reducir la presión de hongos fitopatógenos.



FOTO

5



Boquilla de 7 l/h utilizada en sistema de nebulización en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste.

1.2.1.2 PANTALLAS DE SOMBREO

El objetivo de las pantallas de sombreado es disminuir la carga calórica proveniente del sol que incide sobre el invernadero. Existen mallas de sombreado con distintos índices de transparencia de 20 hasta 80%. Aunque es un método efectivo para reducir la temperatura interna; se debe utilizar pantallas retráctiles, extendiéndolas en las horas más calientes del día (10 a.m. - 2 p.m.), ya que un exceso de sombra puede perjudicar el rendimiento productivo de los cultivos (Foto 6).



Lo ideal sería colocar las pantallas en el exterior del invernadero, ya que tiene un mejor efecto en la reducción de la temperatura, el inconveniente radica en que eleva los costos debido a que se necesita una estructura adicional y es más susceptible a rasgados por efecto del viento, por lo que la mayoría de las pantallas se colocan en el interior.

En zonas donde la temperatura nocturna disminuye excesivamente, las pantallas aluminizadas sirven como reflectores de la radiación del infrarrojo largo, en el interior del invernadero, disminuyendo las pérdidas de energía. Esto es posible siempre y cuando el invernadero se encuentre aislado del ambiente externo, mediante coberturas plásticas ubicadas en el techo y paredes (confinamiento).

FOTO

6



Pantalla de sombreado desplegada (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).



1.2.2 CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA

En zonas con alto índice de humedad relativa como la vertiente del Caribe y el Pacífico Sur de nuestro país, el exceso de humedad (arriba del 80%) es un serio problema que puede afectar la sanidad de los cultivos.

Para mitigar este efecto es importante controlar la evapotranspiración (evaporación del suelo y cultivo) en el interior de los módulos, para no incrementar la humedad relativa ambiental dentro del invernadero.

El paso más importante, es efectuar aplicaciones de riego muy precisas, que garanticen un adecuado suministro de agua al cultivo, pero sin generar una evapotranspiración excesiva. Se debe evitar zonas de encharcamiento; así como fugas del sistema de riego, los cuales aumentarían la humedad ambiental. La precisión en la irrigación se puede conseguir utilizando programadores que activen y desactiven los riegos de acuerdo al estado de desarrollo del cultivo.

Según Acuña (2003), otra forma de controlar la humedad es utilizando plásticos blancos de bajo espesor como cobertores de suelo, haciendo las veces de capa impermeable entre la superficie húmeda y el medio ambiente con la finalidad de disminuir la evaporación del suelo.

Otro aspecto a tomar en cuenta, es el uso de ventiladores o extractores de aire para remover los excesos de humedad. Esto se puede efectuar si la humedad exterior está por debajo de la humedad interior, situación que no se ha caracterizado en nuestro país.



CAPÍTULO III

EL CLIMA EN EL INTERIOR DE LOS INVERNADEROS

Con el fin de proteger los cultivos contra los efectos adversos del medio ambiente, los invernaderos están provistos de una cobertura plástica en el techo y mallas anti-insecto en las paredes de la estructura, lo que converge en una modificación del clima en el interior del recinto. Las variaciones que experimentará un determinado invernadero se pueden estimar conociendo los registros climáticos de cada zona.

Por lo anteriormente dicho, en el presente capítulo se describen términos y fundamentos técnicos que deben tomarse en consideración para adecuar los cultivos protegidos bajo coberturas plásticas a las diferentes regiones de nuestro país.

1. EL CLIMA ESPONTÁNEO EN INVERNADEROS

El término “espontáneo” se refiere al clima que se genera en el interior del invernadero por efecto de las coberturas colocadas en la estructura (plástico y malla). No toma en cuenta los aporte de los sistemas de ventilación forzada, nebulizadores o calefacción (Castilla, 2005).

Las variaciones del clima espontáneo con respecto al externo dependerán de una serie de aspectos, empezando por el diseño del invernadero, ubicación, época del año, etc. Lo ideal para un óptimo desarrollo de los cultivos en cuanto a cantidad y calidad, es que las condiciones ambientales internas sean lo más próximas a las requeridas por el cultivo.



2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS (FÍSICO – CLIMÁTICOS)

El clima que se genera en el interior de los invernaderos está influenciado por una serie de factores agroclimáticos. La radiación, temperatura y humedad, determinarán el microclima interior y en consecuencia su manejo futuro, por lo que el conocimiento previo de estas variables es fundamental al construir invernaderos.

2.1 RADIACIÓN

La radiación se propaga por el espacio en forma de ondas, que en su conjunto constituyen el espectro electromagnético (Figura 5). La radiación que influye directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas verdes se denomina radiación fotosintéticamente activa (PAR por sus siglas en inglés) y está entre las longitudes de onda de 400 y 700 nanómetros (nm, que es la millonésima parte de un metro). La temperatura ambiental depende de la longitud de la onda, por lo tanto cuanto más caliente está un cuerpo más cantidad de energía emite y en longitudes de onda más corta (LEY DE WIEN).

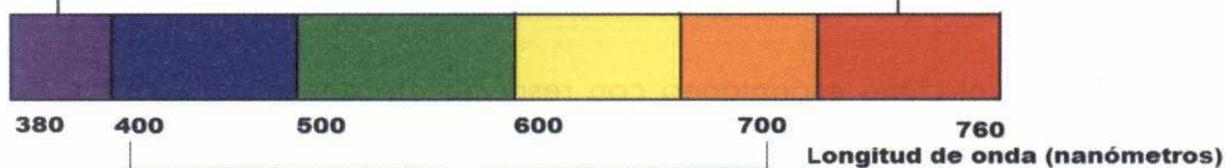
Por otro lado, algunas zonas de la tierra reciben mayor cantidad de radiación que otras, generando diferencias de temperatura en la atmósfera, lo que da origen a los vientos y los procesos de tiempo atmosférico.

FIGURA 5

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Ultravioleta, Rayos X, Rayos Gamma

Infrarrojos Cortos, largos



Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

Las ondas de menor tamaño como las ultravioletas (menor a 360 nm), generan mayor frecuencia (número de vibraciones por segundo) por lo que son más energéticas. Estas ondas son responsables de la degradación de los plásticos y en parte del calentamiento de los invernaderos.

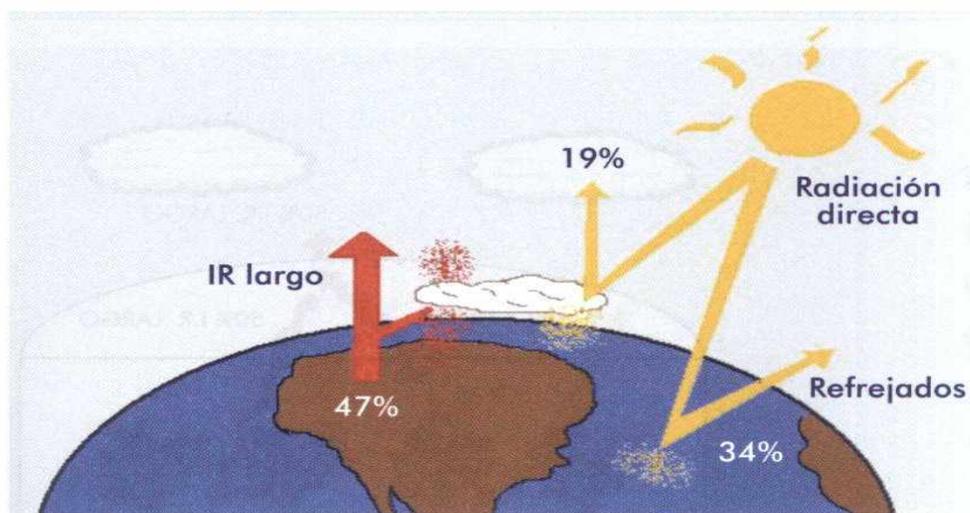
La radiación que llega a la tierra se distribuye de la siguiente forma:

- 2 - 4% radiación ultravioleta.
- 45 - 50% radiación PAR.
- 50% radiación solar infrarroja.

Antes de alcanzar la atmósfera terrestre, la radiación solar se denomina constante solar, ya que varía poco. Una vez que llegan a la atmósfera, una parte penetra sin sufrir modificación alguna, llegando hasta la superficie terrestre; otra parte es absorbida por la atmósfera y el resto es reflejado al espacio por el mar y los polos (Figura 6). La cantidad de energía que llega a la tierra variará según el espesor de la atmósfera, su contenido de humedad, gases, turbidez, nubosidad, etc. También varía de acuerdo con la posición del sol en el horizonte (Castilla, 2005).

FIGURA 6

DISTRIBUCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.



De toda la radiación proveniente del sol, aproximadamente un 47% es absorbido por la tierra, para posteriormente ser remitida a través de las ondas del infrarrojo largo hacia la atmósfera y el espacio. El 19% es absorbido por la atmósfera (capa de ozono, vapor de agua y por las nubes) y 34% se pierde en el espacio (López-Gálvez, 2003).

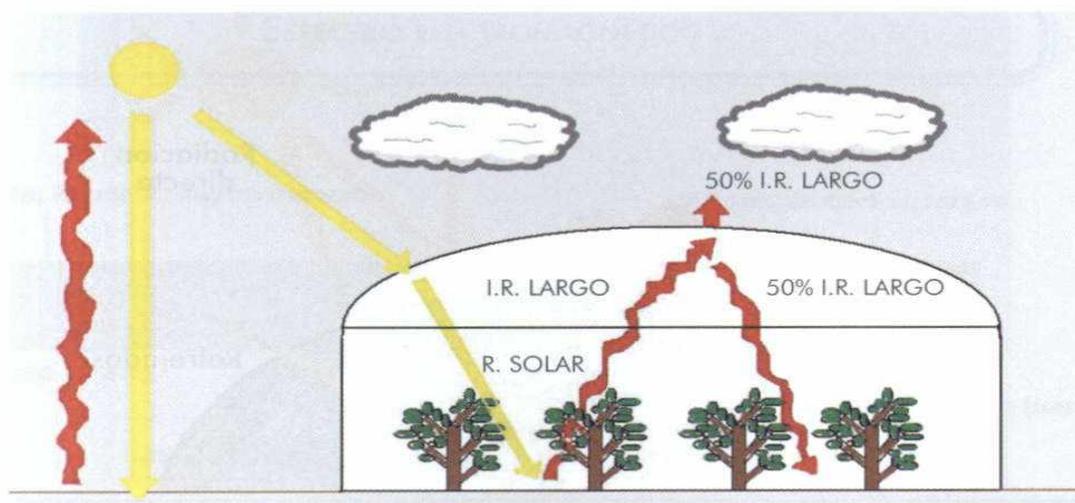
2.1.1 EFECTO INVERNADERO

Como se explicó en el punto anterior, la radiación solar es vital para la existencia de vida en la tierra. De la energía que llega a la tierra una parte es absorbida y el resto liberado hacia el espacio. La atmósfera funciona como un conservador de calor terrestre, llegando a un equilibrio térmico.

Los invernaderos funcionan bajo el mismo principio, actuando la cobertura plástica como la atmósfera (Figura 7). El aumento de la temperatura del aire en el interior del invernadero se debe a dos fenómenos distintos: el confinamiento del aire, debido a la reducción de los intercambios de aire con el exterior (efecto convectivo) y a la reemisión de energía del infrarrojo largo desde el suelo hasta el techo plástico (efecto radiativo o trampa de calor) (Castilla, 2005).

FIGURA 7

EFECTO CONVECTIVO Y RADIATIVO EN INVERNADERO.



Durante el día, la mayor parte de la radiación solar atraviesa la cubierta plástica de los invernaderos y es absorbida por las plantas y el suelo mayoritariamente. Estas se calientan y reemiten energía en longitudes de onda del rango del infrarrojo largo. Esta energía es interceptada por el plástico, el cual se recalienta, reemitiendo a su vez energía hacia el exterior e interior en proporciones iguales. El aire del invernadero se calienta, al estar confinado y no renovarse con aire fresco del exterior (Castilla, 2005).

2.1.2 TRANSMISIÓN DE LA RADIACIÓN

El total de radiación que llega a nuestro planeta está conformada por la radiación directa (luz que llega directamente del sol sin interferencias) y la radiación difusa (luz que llega a la superficie terrestre después de haberse difundido por efecto de la nubosidad, turbidez y humedad de la atmósfera)

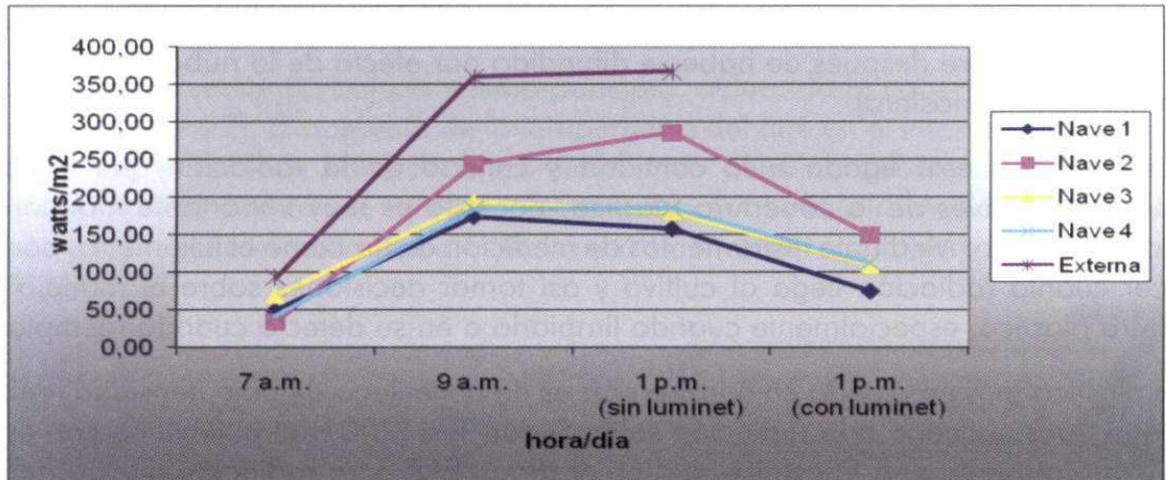
La productividad está ligada a la cantidad y calidad de la radiación que ingresa al invernadero a través de la cobertura plástica, por esto es muy importante monitorear el estado del plástico. Mediante instrumentos de medición de luz como el luxómetro, podemos conocer cuánta radiación llega al cultivo y así tomar decisiones sobre el manejo de la cobertura plástica, especialmente cuando limpiarla o en su defecto cuando reemplazarla.

El film plástico más empleado en nuestro país es de polietileno de baja densidad, debido a su buena transmisividad a la radiación solar. Según Tesi (2001) el polietileno con espesor de 0,1 mm presenta una transmisividad en el rango PAR para radiación directa del 91%, para radiación difusa del 90% y para transmisividad del infrarrojo largo del 68%.



FIGURA 8

REGISTRO DE LA RADIACIÓN EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DE UN INVERNADERO MULTI CAPILLA, DURANTE LOS MESES DE ABRIL A JUNIO DEL 2007 EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL. ENRIQUE JIMÉNEZ NÚÑEZ (CAÑAS, GUANACASTE).



Fuente: Ramírez et al 2009.

Es conveniente conocer la cantidad de luz que ingresa al invernadero, ya que influye decisivamente en la producción. En la Figura 8, se muestran los registros de luminosidad en el interior y exterior de un invernadero multi capilla obtenidos en Cañas, Guanacaste. Los plásticos de las naves 1, 3 y 4 tenían un año de uso cuando se realizaron las mediciones, mientras que la nave 2 tenía un film nuevo. Nótese cómo a las 7 de la mañana la radiación en el interior y exterior del invernadero fue muy similar, debido a que la radiación predominante es de tipo difusa, por lo que la cobertura plástica no tuvo un efecto significativo sobre la transmisión de la luz.



A las 9 de la mañana, la radiación predominante es directa, la cual al entrar en contacto con el techo plástico, es reflejada en parte por el ángulo, espesor y suciedad de la cubierta.

A la 1 de la tarde es cuando se registran las mayores lecturas debido a la posición del sol en el horizonte. Nótese como las naves 1, 3 y 4 presentaron lecturas de alrededor de 170 watts · m⁻² sin la pantalla de sombreo (luminet), siendo un 40% menos que la nave 2 y un 55% menos que la radiación externa. Con la pantalla de sombreo puesta las lecturas en el interior de los invernaderos promedian los 100 watts · m⁻², muy por debajo de la radiación externa, quedando evidente como se comentó anteriormente (ver Capítulo II) que el uso de las pantallas de sombreo deben tener un límite, siendo conveniente que sean retráctiles y no fijas.

Los cultivos con menor capacidad fotosintética (C3) como la mayoría de las hortalizas alcanzan la saturación del sistema fotosintético alrededor de los 90 watts · m² durante 16 horas de luz al día, mientras que las plantas con mayor capacidad fotosintética (C4) necesitan niveles superiores a los 110 watts · m²; sin embargo, algunas plantas ornamentales se desarrollan bien con niveles de 2,2 a 11 watts · m² durante 8 horas diarias (Langhams et al, 1997). Bajos niveles de radiación en la planta inducen hojas más pequeñas, entrenudos más largos, menor concentración de clorofila y menor peso seco, mientras que niveles demasiado altos de radiación, inducen la estimulación del crecimiento de ramificaciones, la proliferación de puntos de crecimiento y la posible destrucción de la clorofila (Langhams et al, 1997).

Por lo anteriormente expuesto, se debe recalcar la importancia del manejo de la cobertura plástica, sobre todo en términos de limpieza, si queremos mantener los rendimientos y calidad de nuestras cosechas durante todo el año.

2.1.3 MANTENIMIENTO DE LA COBERTURA PLÁSTICA

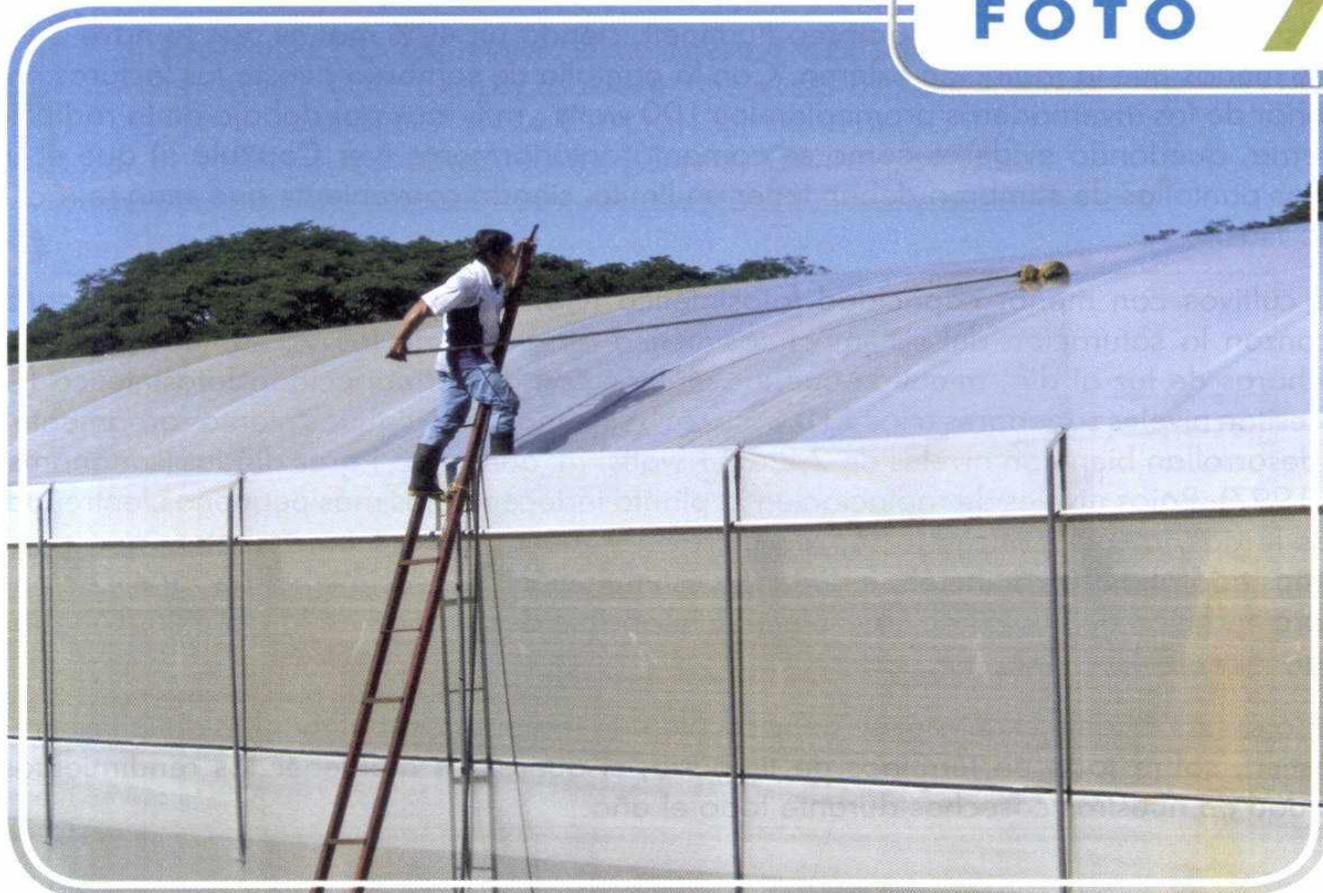
¿Cada cuanto se debe limpiar la cobertura plástica? Es variable y dependerá de la ubicación del invernadero. Si no se cuenta con un medidor de radiación (luxómetro), una forma práctica de analizar el estado de suciedad del plástico es mirando al cielo; si no se logran ver las nubes quiere decir que es necesario realizar una limpieza.

En zonas donde los vientos aumentan su velocidad principalmente en la época seca como Guanacaste, el polvo se acumula en el techo plástico, por lo que se hace necesario limpiarlo hasta dos veces en este periodo. Si la suciedad no se limpia a tiempo es un hecho que se desarrollaran algas, las cuales son de difícil control y afectarán drásticamente la transmisión de luz.



FOTO

7



Limpieza de la cobertura plástica (Cañas, Guanacaste).

Si la cobertura plástica únicamente tiene polvo en su superficie, la limpieza se puede efectuar simplemente pasando una esponja sujeta a un escobón o garrocha y agua, sin necesidad de utilizar detergentes.



FOTO

8

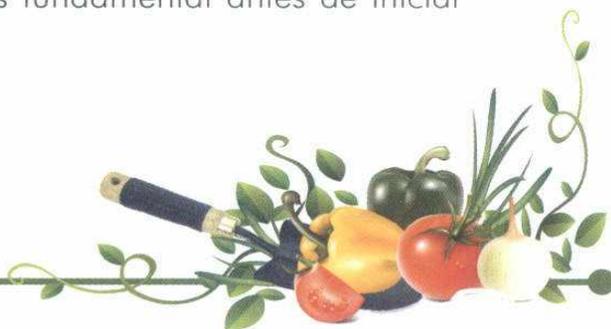


Comparación entre cobertura limpia y sucia.

En la Foto 8, se contempla cómo en la parte izquierda de la foto (techo limpio) se logra apreciar claramente las nubes al fondo, mientras que en la parte derecha (sucio) es borroso. Aquí es cuando el responsable del invernadero debe tomar la decisión de efectuar la limpieza.

2.2 TEMPERATURA

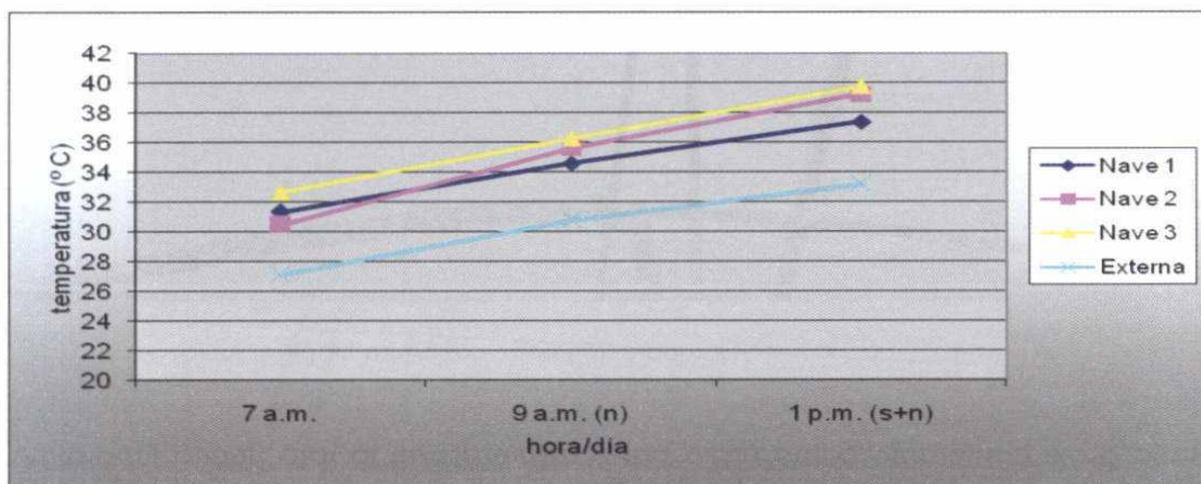
Es el factor más importante a tomar en cuenta en zonas tropicales, ya que la actividad fotosintética tiene una clara respuesta a la temperatura, mostrando un mínimo sobre los 5 °C y alcanzando el óptimo entre los 25 a 35 °C en la mayoría de las especies hortícolas, disminuyendo a valores superiores (Urban, 1997). Conocer la temperatura óptima o la tolerancia al calor del cultivar que se quiere trabajar es fundamental antes de iniciar cualquier actividad productiva.



El calentamiento de los invernaderos es uno de los mayores problemas que se enfrentan en nuestra latitud. Recordemos que el aumento de la temperatura se debe a un efecto del confinamiento del aire y a la radiación que ingresa al invernadero (como se explicó en el tema efecto invernadero).

FIGURA 9

REGISTROS DE LA TEMPERATURA EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DE UN INVERNADERO MULTI CAPILLA DE CUATRO NAVES CON CULTIVO, DURANTE LOS MESES DE ABRIL A JUNIO DEL 2007, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMÉNEZ NÚÑEZ (CAÑAS, GUANACASTE).



Fuente: Ramírez et al 2009.

Se debe tener en cuenta que la temperatura en el interior de un invernadero varía, según la hora del día y época del año, por lo que es importante contar con un instrumento de medición portátil como el higrómetro (medidor de temperatura y humedad relativa), para conocer la dinámica del aire caliente y su efecto en el cultivo. En la Figura 9, se muestra como ejemplo las mediciones de temperatura en las diferentes naves de un invernadero, ubicado en Cañas, Guanacaste. Nótese como la temperatura ambiental máxima que se alcanza en el interior de este invernadero en promedio llega a los 39 °C, aumentando 5 °C con respecto a la temperatura ambiental externa. Aunque el invernadero cuenta con un



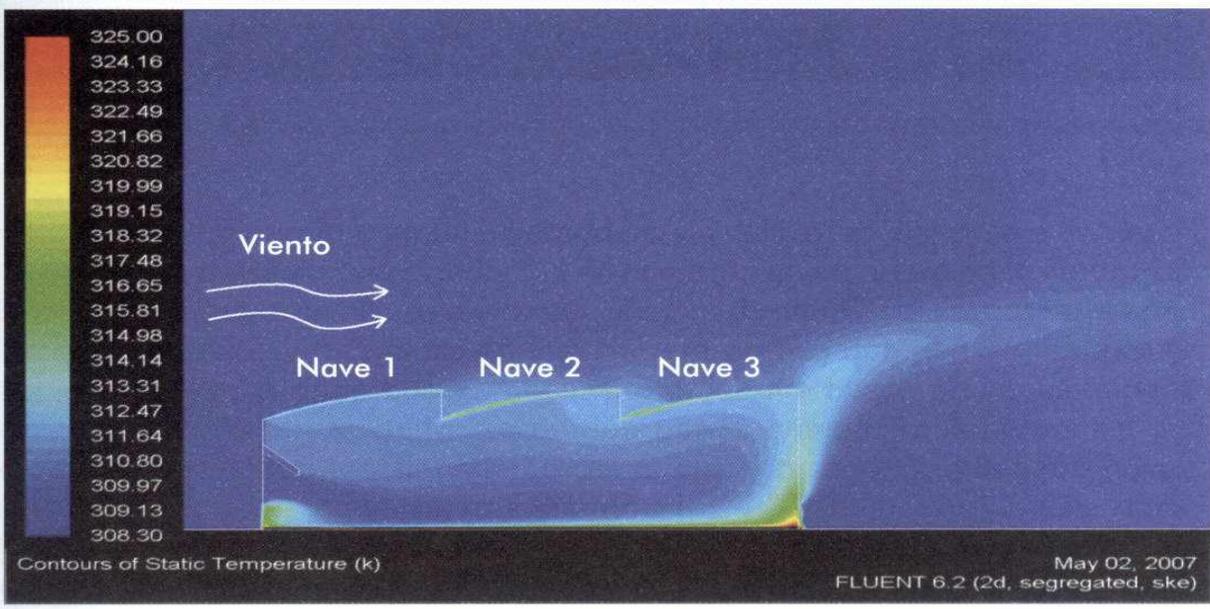
sistema de nebulización (n) y una pantalla de sombreado (s) que disminuye en parte el salto térmico, es evidente que el manejo de la temperatura en la Región del Pacífico Norte, es un duro reto que se le debe poner mucha atención.

2.2.1 DINÁMICA DE LA TEMPERATURA EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO

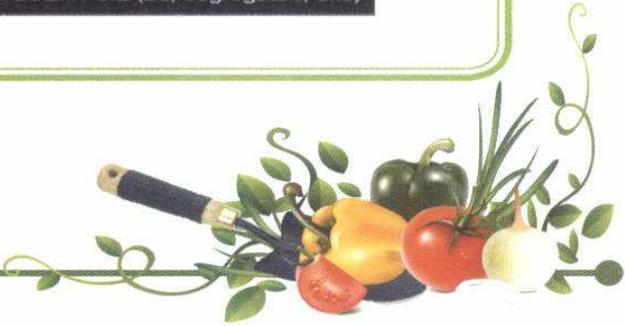
La temperatura en el interior de la estructura varía de un punto a otro, dependiendo de la tasa de renovación de aire (sustitución del aire contenido en el interior por aire limpio proveniente del exterior), cultivos presentes, dirección del viento, etc. El aumento de la temperatura en el interior del invernadero con respecto al exterior se denomina "salto

FIGURA 10

SIMULACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD) SOBRE LAS VARIACIONES DE LA TEMPERATURA EN EL INTERIOR DE UN INVERNADERO TIPO DENTADO SIN CULTIVO, EN CONDICIONES AMBIENTALES DEL TRÓPICO SECO (PROYECTO INTA-IRTA, ESPAÑA, 2007).



Fuente: Ramírez 2007



térmico”, y la situación contraria (reducción de temperatura) se denomina “inversión térmica”. El salto térmico es lo más frecuente en todos los invernaderos de nuestro país, pero también se pueden presentar inversiones térmicas en las primeras horas de la mañana, especialmente en zonas altas como Zarcero. Esto ocurre en días de poca nubosidad y cuando el invernadero no está confinado, debido a que en las madrugadas, la reemisión de energía procedente del cultivo y suelo, se escapa al ambiente.

Como se comentó anteriormente, el monitoreo de la temperatura en el interior del invernadero es clave para desarrollar estrategias que mitiguen los efectos adversos de esta variable en el desarrollo fisiológico de los cultivos. Aparte de los instrumentos tradicionales de medición, existen herramientas computacionales que permiten a los investigadores conocer la dinámica de la temperatura en el interior de los invernaderos.

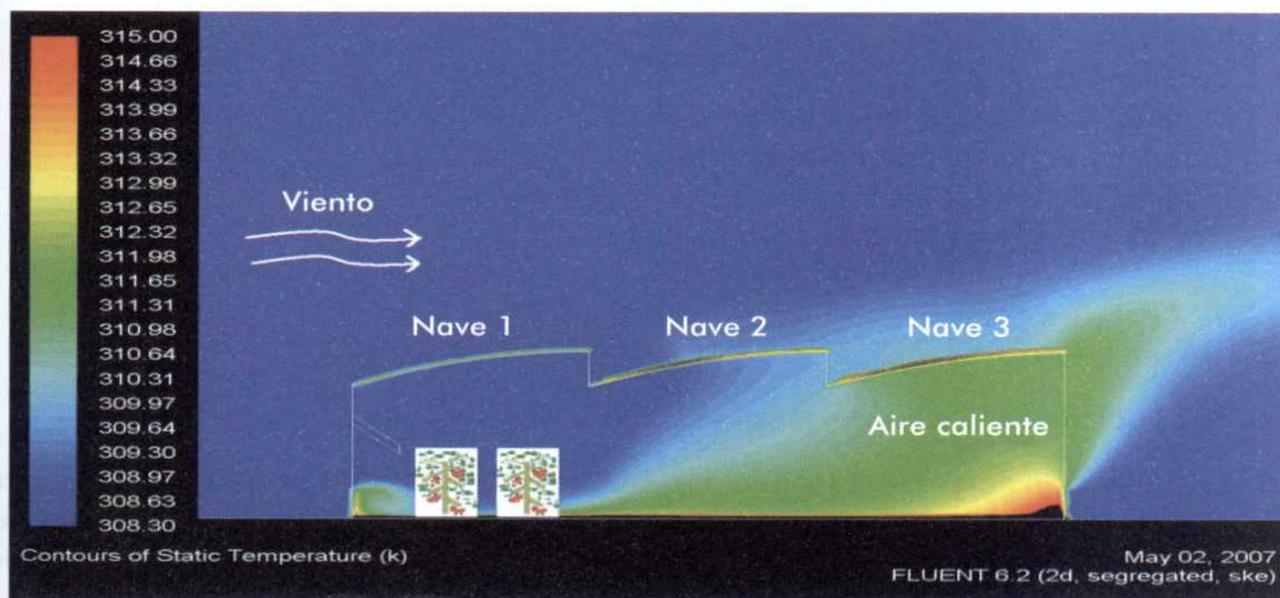
Uno de estos programas de computación es el CFD por sus siglas en inglés (computational fluid dynamic). En la Figura 10, muestra el resultado de una simulación en un invernadero dentado, con 3 naves de 5 m de ancho cada una, una altura de 5 m a la canoa y sin cultivo. En este caso la temperatura ambiental externa fue de 35 °C (308 °K), con la dirección del viento en sotavento (de espaldas a las aperturas cenitales). El aire al no contar con barreras de cultivo, circula en forma eficiente a través de las tres naves del invernadero.

Prácticamente el salto térmico alcanzó los 3 C° en los dos primeros metros de altura de las naves 2 y 3. Además, en la parte superior cercana al techo de la estructura, el aire caliente (color celeste) por ser menos denso, fluye por encima del aire frío y sale por las ventanas cenitales, de aquí la importancia de que los invernaderos cuenten con este tipo de aberturas.



FIGURA 11

SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DE LA TEMPERATURA MEDIANTE EL PROGRAMA CFD CON CULTIVO DE TOMATE (PROYECTO INTA-IRTA, ESPAÑA, 2007).



Fuente: Ramírez 2007

La dinámica de la temperatura en un invernadero sin cultivo, es diferente a uno con cultivo. En la Figura 11, se presenta una simulación en el mismo invernadero de la Figura 10, con la diferencia que se agregaron hileras de tomate, de 2 m de altura, colocadas transversalmente al paso del viento, transformándose en una barrera porosa que genera una resistencia al paso del viento, ocasionando que la mayor parte del aire fresco proveniente del exterior, al entrar en contacto con el cultivo se escape por la primera ventana cenital (monitor), provocando estanqueidad (confinamiento del aire) en la segunda y tercera nave, lo que causa un aumento de la temperatura superior a los 4 °C (color verde). Este aumento de temperatura, tiene un efecto negativo, ya que no solamente reduce la tasa fotosintética, sino también los procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas, que significa una disminución en la producción.



2.2.2 MANEJO DE LA TEMPERATURA

Un manejo adecuado requiere de la integración de una serie de acciones orientadas a lograr una condición ambiental óptima, donde se desarrollen los cultivos. En otras palabras no se puede confiar el control de la temperatura a un solo mecanismo, ya que cada equipo o estrategia aportará una cuota para reducir el calor, que al final determinará la temperatura que se alcanzará en el interior de la estructura.

Existen varios factores que intervienen en el manejo de la temperatura, entre ellos se encuentran:

- Ventilación
- Material y ángulo de la cubierta
- Orientación del invernadero o cultivo
- Sistemas de enfriamiento
- Uso de cobertores blancos para el suelo

2.2.2.1 VENTILACIÓN

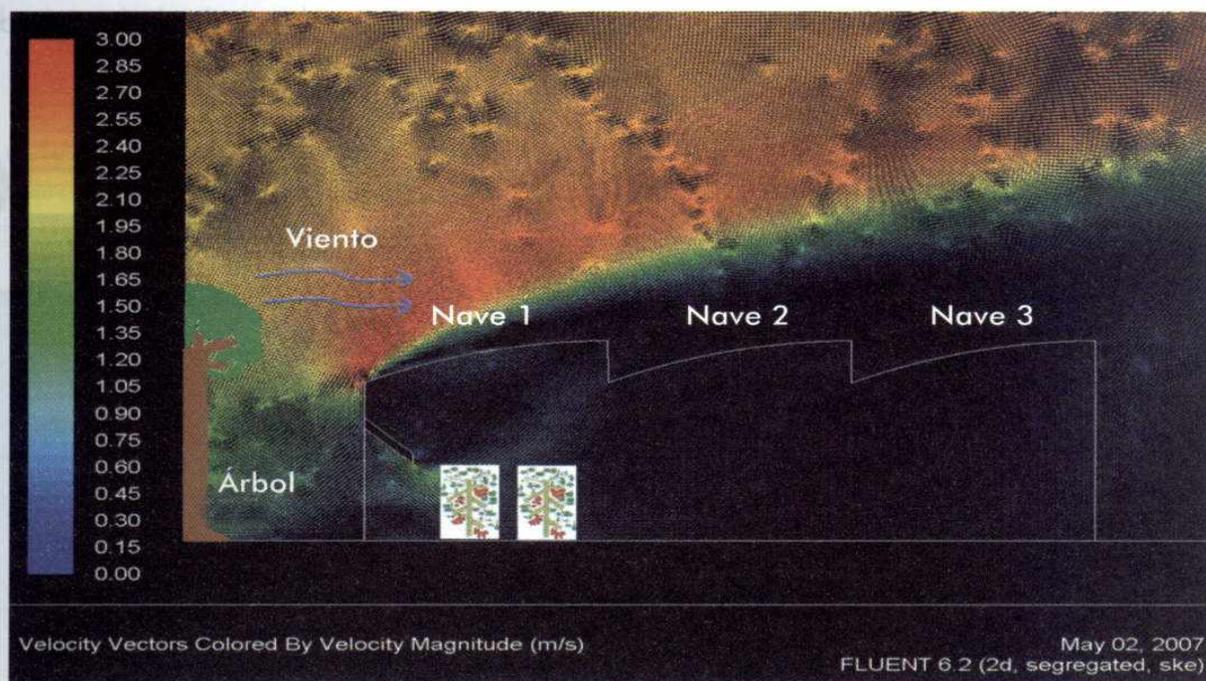
Existen dos tipos de ventilación: natural y forzada.

- a) La ventilación natural es la forma más barata de eliminar los excesos de temperatura en los invernaderos, renovar CO_2 , eliminar gases venenosos (CO y etileno), etc. Para ello se deben tener los siguientes cuidados que permitan aprovechar al máximo este recurso.
 - El invernadero o las líneas de cultivo deben estar en dirección al viento dominante. Esto facilita el paso del aire, mejorando la ventilación.
 - Se debe tener conocimiento de las variaciones y velocidad del viento durante todo el año, por si se necesita colocar una barrera rompeviento.
 - Si el invernadero cuenta con ventanas cenitales fijas, éstas deben estar orientadas de tal forma que el viento no penetre directamente al interior, así se evitan posibles embolsamientos de aire que puedan romper el plástico o colapsar la estructura.
 - La limpieza de las paredes laterales es fundamental para evitar que las partículas de polvo disminuyan la porosidad de la malla, reduciendo la circulación de aire y la transmisibilidad de la luz.



FIGURA 12

SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DEL AIRE (M/S) EN INVERNADERO TIPO DENTADO, BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO SECO (PROYECTO INTA-IRTA, ESPAÑA, 2007).



Fuente: Ramírez 2007

En la Figura 12 se ejemplifica una condición ambiental para un invernadero ubicado en el trópico seco, con velocidad de viento de 7 m/s, en sotavento (dirección izquierda-derecha), una barrera rompevientos a 10 m de distancia del invernadero. Las paredes de ambos lados del invernadero y los tres monitores presentan una permeabilidad al movimiento del aire correspondiente a una malla anti-áfido de 50 mesh (50 x 25 filamentos por pulgada cuadrada).

En la parte izquierda de la Figura 12 se aprecia la escala con los rangos de velocidad del viento y su dinámica en el interior y exterior de la estructura del invernadero. Con esta información podemos entender como la velocidad del viento disminuye de 7 m/s



a 1,8 m/s (color verde) al pasar por la cortina rompevientos y al ingresar por la pared izquierda del invernadero la disminución del flujo de aire llega a alrededor de 1,2 m/s, observándose una alta cantidad de aire que se escapa por el monitor número 1, luego de entrar en contacto con el cultivo, favoreciendo el calentamiento del aire en el interior del invernadero.

- b) La ventilación forzada se utiliza como apoyo a la natural en sitios donde la circulación de aire es escasa. Tiene como ventaja que no es afectada por la dirección del viento y funciona de acuerdo con nuestras necesidades por medio de sensores. Para este fin se utilizan ventiladores cuya capacidad de extracción depende de la cantidad de aire que se quiere renovar.

FOTO

9



Limpieza de malla anti-insecto con agua a presión en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (Cañas, Guanacaste).



Su desventaja es el consumo de electricidad y mantenimiento. Además, existe una limitación en la dimensión de la estructura, ya que a más de 40 m de distancia entre el frente y el fondo del invernadero, se puede generar un aumento de temperatura por la estanqueidad (confinamiento) del aire.

Independientemente del sistema de ventilación que se utilice, lo ideal es que se realicen de 20 a 40 renovaciones de aire por hora; esto significa, que todo el volumen de aire que está confinado en el interior del invernadero, se pueda sustituir por aire proveniente del exterior.

2.2.2.2 MATERIAL Y ÁNGULO DE LA CUBIERTA

En la actualidad la industria del plástico a nivel mundial ofrece una gama de coberturas para diferentes necesidades, siendo las más empleadas las láminas flexibles o de polietileno de baja densidad.

Las propiedades ideales de la cubierta plástica deben ser las siguientes:

- a) Propiedades radiométricas
 - Mayor transmisión en el rango PAR (400 – 700 nm)
 - Alta capacidad para difundir la luz
 - Filtración a la luz ultravioleta
 - Filtración a la luz infrarroja
- b) Propiedades mecánicas
 - Resistencia a la tracción, al rasgado y al impacto
- c) Propiedades antigoteo
 - Aumento en tensión superficial del film, previene condensación

Para mitigar el efecto de la temperatura en el interior de los invernaderos el empleo de plásticos con filtro para la luz ultravioleta (ondas altamente energéticas) es muy funcional, aunque su precio es mucho mayor al de los plásticos convencionales.

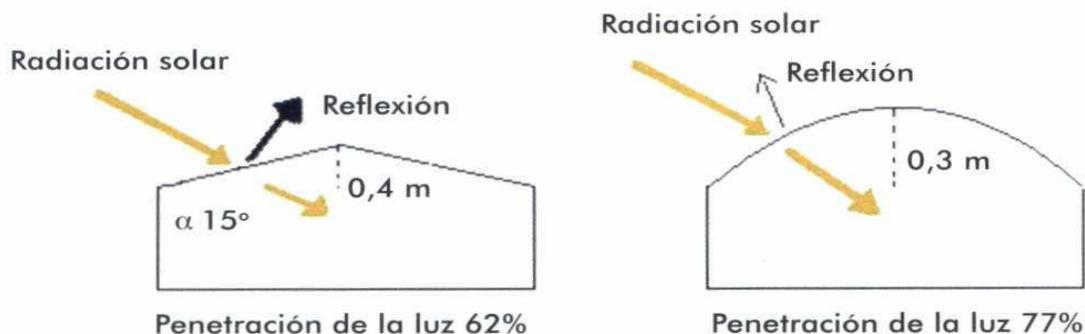
La geometría del invernadero define el ángulo de incidencia de la radiación, que a su vez hará variar el porcentaje de transmisión de la luz que ingresa al invernadero (Castilla, 2005). Conforme disminuye el ángulo del techo de la estructura, los rayos solares inciden más verticalmente, lo que implica que la intensidad de radiación sea mayor en el interior



del invernadero. Es por esto que las geometrías curvas favorecen la distribución de la radiación en el invernadero con respecto a diseños con techos planos con ángulos menores a los 20° (Figura 13).

FIGURA 13

TRANSMISIBILIDAD DE LUZ EN CONDICIONES MEDITERRÁNEA EN DOS DISEÑOS DE INVERNADERO ORIENTADOS NORTE-SUR (MODIFICADO DE NIELSEN, 1972).



Una recomendación importante para aumentar la vida útil del plástico si se utilizan estructuras metálicas es pintar los arcos que estarán en contacto con la cobertura plástica con colores acrílicos, ya que el metal tiende a calentarse lo que acelera la degradación del plástico.

2.2.2.3 ORIENTACIÓN DEL INVERNADERO O CULTIVO

La disposición del invernadero o cultivo en función a la dirección del viento, definirá la tasa de ventilación y por consiguiente la temperatura interior (ver capítulo II) (Figura 3) y (ver capítulo III) (Figura 12). Los cultivos de porte alto como el tomate, chile dulce, pepino, etc., ubicados transversalmente a la dirección del viento, se transforman en barreras porosas que limitan la circulación del aire y con esto el arrastre del calor hacia el exterior.



Por esta razón estos cultivos se deben orientar a favor de la dirección de viento con el objetivo de aumentar el flujo de aire en el interior del invernadero.

2.2.2.4 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

Los sistemas de enfriamiento son equipos diseñados para disminuir la carga calórica que se genera en el interior del invernadero. Los más utilizados son los sistemas de humidificación y sombreado (ver capítulo II) (Fotos 5 y 6). En condiciones de trópico como las nuestras, la utilización de estos equipos debe orientarse a generar un clima interior ideal para el adecuado desarrollo de los cultivos, dentro de un marco de factibilidad económico.

2.2.2.5 USO DE COBERTORES CLAROS PARA EL SUELO

El uso de cobertores de suelo (“ground cover”) de colores claros, especialmente blanco por ambos lados, además de controlar el desarrollo de malezas, favorece el reflejo de la luz hacia el follaje de las plantas, potenciando la fotosíntesis y disminuyendo el calentamiento del suelo. Esto reduce la transferencia de calor del suelo hacia el ambiente, lo que aminora el calentamiento en el interior del invernadero, además de beneficiar el desarrollo radical de la plantación.

2.3 HUMEDAD

La humedad atmosférica es uno de los factores climáticos que influye en la tasa de transpiración de las plantas. La suma del agua evaporada por el suelo y la transpirada por el cultivo, es lo que se denomina evapotranspiración (ET).

Un adecuado nivel de vapor de agua en el interior de los invernaderos tiene el potencial para disminuir la temperatura del aire y favorecer el intercambio gaseoso de las plantas con el ambiente a través de los estomas. De aquí la importancia de monitorear constantemente el contenido de humedad, para determinar si la condición ambiental en la que se está desarrollando las plantas, es conveniente para un óptimo crecimiento. Existen diferentes formas de expresar la humedad, pero las más utilizadas en ambientes protegidos se definen a continuación.



- Humedad absoluta: es la relación entre los kilogramos de vapor de agua entre los kilogramos de aire.
- Humedad relativa: es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en una masa de aire y el que podría llegar a contener si estuviera saturado. Se expresa en porcentaje; así por ejemplo, una humedad relativa del 100% significa un ambiente en que no cabe más agua.
- Déficit de presión de vapor (DPV): expresa la cantidad de agua que el aire, a una cierta temperatura, puede aún absorber antes de alcanzar la saturación (Castilla, 2005).

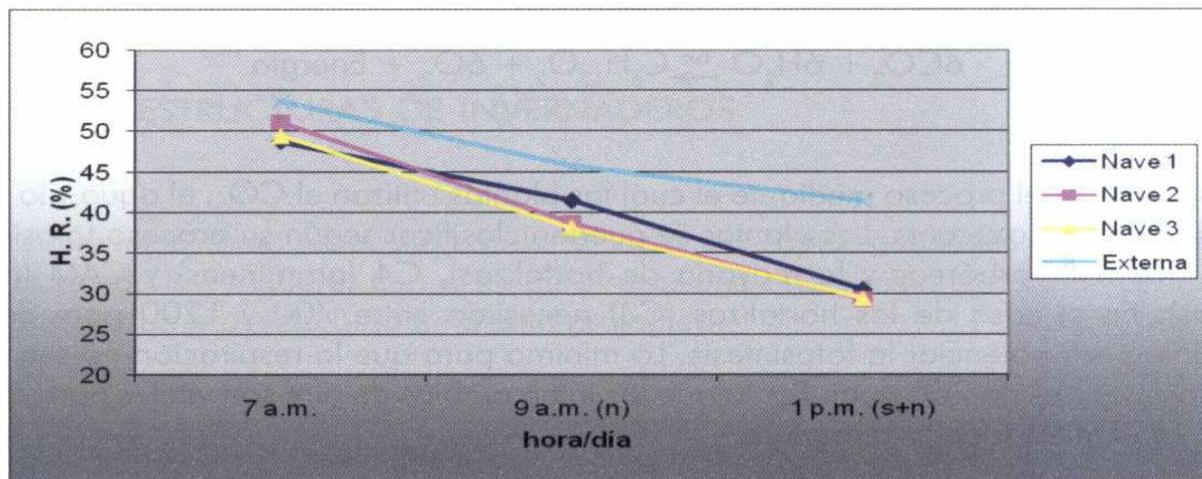
La humedad relativa ideal para cultivos hortícolas en invernadero se encuentra entre 60 y 80%, considerando la evapotranspiración (pérdidas por transpiración y evaporación) de los cultivos. Por ejemplo, el cultivo de tomate bajo las condiciones ambientales de Israel, transpira entre 400 – 600 litros por hora en mil metros cuadrados bajo invernaderos (Esquira, 2002). Por lo tanto se debe calcular la reposición exacta de agua sin distorsionar la humedad.

Durante el día, la humedad relativa en el interior del invernadero tiende a disminuir conforme aumenta la temperatura. En este momento es cuando se utilizan los sistemas de nebulización para humidificar el ambiente. Por la noche, debido a la disminución de la temperatura, el aire se satura de humedad, llegándose a condensar en las hojas del cultivo y la cobertura plástica, lo que provoca un goteo desde el techo, que afecta negativamente la sanidad del cultivo.



FIGURA 14

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO REGISTRADA EN TRES DIFERENTES HORAS DEL DÍA, EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DE UN INVERNADERO MULTI CAPILLA CON CULTIVO, DURANTE LOS MESES DE ABRIL A JUNIO DEL 2007 EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ENRIQUE JIMÉNEZ NÚÑEZ (CAÑAS, GUANACASTE)
 S= SOMBREO, N= NEBULIZADOR.



Fuente: Ramírez et al 2009.

En la Figura 14, se observa el comportamiento de la humedad relativa durante parte del día, en Cañas, Guanacaste. Nótese cómo a la 1 de la tarde, la humedad relativa en el interior del invernadero fue 10% menor que la exterior, situándose en un 30%. Cuando la humedad se reduce a estos niveles, significa que la temperatura del aire es alta. Bajo estas circunstancias es conveniente utilizar sistemas de humidificación como los nebulizadores, para aumentar el vapor de agua en el medio, con el fin de atenuar el salto térmico. Para lograr este propósito como se ha comentado anteriormente, es necesario mantener una eficiente ventilación, que permita un equilibrio favorable entre la humedad contenida en el interior del invernadero y en el exterior.



2.4 DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂), es uno de los compuestos básicos de la fotosíntesis que pocas veces caracterizamos a través de mediciones. La disponibilidad de este compuesto varía según las condiciones ambientales, ventilación, presencia de bosques, etc. Según el principio de los factores limitantes de Blackman, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad del factor más lento.

Fotosíntesis



La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas utilizan el CO₂, el agua y la luz del sol para producir azúcares. Las plantas se pueden clasificar según su proceso fotosintético en C3 (especies arbóreas y la mayoría de hortalizas), C4 (gramíneas) y CAM (plantas xerófitas). En el caso de las hortalizas (C3) necesitan entre 700 y 1200 ppm de CO₂ disponible para potenciar la fotosíntesis. Lo mínimo para que la respiración no sea mayor a la fotosíntesis es de 200 ppm. Por lo que los intercambios de aire son vitales para renovar el CO₂ en el interior del invernadero.

En otros términos si no hay suficiente CO₂ para la fotosíntesis, de nada vale mantener la cobertura plástica limpia o utilizar fórmulas de fertilización precisas, si este u otro componente está limitando la producción.

En otros países, principalmente europeos, utilizan CO₂ industrial o por combustión para aumentar la concentración, práctica que resulta muy costosa.



CAPÍTULO IV

DISEÑOS Y ESTRUCTURAS DE INVERNADEROS

Este capítulo tiene como propósito brindar al lector conceptos generales acerca de diseños y estructuras de invernadero, con el fin de ofrecer una orientación técnica en el momento de emprender un proyecto bajo ambiente protegido.

1. DISEÑOS DE INVERNADERO

El diseño debe buscar un equilibrio entre los elementos técnicos para el óptimo desarrollo del cultivo (ventilación, luz, resistencia mecánica de la estructura, etc.) y un costo razonable, que permita generar rentabilidad en el corto plazo. Los diseños de los invernaderos se pueden clasificar de acuerdo a su forma y algunas características de la construcción. Estos variarán de acuerdo con las necesidades del agricultor, zona, clima, topografía, potencial económico, etc.

En nuestro medio los tipos más comunes son:

- Capilla
- Multi capilla
- Dentados



1.1 CAPILLA

Los invernaderos de capilla son de un solo módulo, con una cobertura plástica inclinada de forma plana o semicircular, que puede ser de una o dos aguas (1 o 2 techos). Se pueden construir en madera o metal. Las paredes laterales están provistas de una malla anti-insecto, cuya permeabilidad (porosidad) dependerá de los insectos a controlar, siendo la más utilizada el de 50 "mesh" (50 x 25 filamentos por pulgada cuadrada) para la evasión de mosca blanca (*Bemisia tabasi*).

FOTO 10



Invernadero tipo capilla de una agua ubicado en Santa Elena (Nicoya, Guanacaste).



En la Foto 10, se observa un diseño de capilla a una agua construido por el propio agricultor, donde se aprovecha la pendiente natural del terreno para ubicar postes de madera a una altura entre 4 y 5 metros, formando un plano inclinado donde se coloca la cobertura plástica. El ancho del módulo es de 10 metros y tiene la ventaja de su bajo costo, así como su fácil y rápida construcción, buena evacuación de las aguas de lluvia, etc. Pero presenta la limitante que al no contar con una ventana cenital depende únicamente de las paredes frontales para intercambiar aire con el exterior.

FOTO 11



Diseño de invernadero tipo capilla a dos aguas con ventana cenital, ubicado en Tronadora (Tilarán, Guanacaste).



El invernadero tipo capilla, con geometría curva en el techo (Foto 11), comparado con el diseño de techo plano (Foto 12), tiene la ventaja de difundir mejor la luz al atravesar la cobertura plástica, ya que disminuye la incidencia de la carga calórica por unidad de área del plástico, lo que aminora el salto térmico en el interior del invernadero.

Este tipo de invernadero es simétrico, apto para suelos de poca pendiente y presenta una buena eficiencia aerodinámica, disminuyendo la resistencia del paso del aire, lo que reduce el riesgo de daños en la estructura y la cobertura plástica. Esta forma circular solamente se puede lograr con materiales de construcción metálicos, por lo que son de mayor costo con respecto a otras estructuras, como la madera.

FOTO 12



Invernadero tipo capilla a dos agua con geometría plana, Santa Elena (Nicoya, Guanacaste).

Los invernaderos de madera con geometría plana a dos aguas (Foto 12), son muy comunes en nuestro país debido a su bajo costo. Estos diseños son rústicos y generalmente el mismo agricultor los construye. En este tipo de estructura el área de construcción depende de las dimensiones del film plástico, siendo comunes los invernaderos de 10 metros de ancho por 23 metros de largo, con una ventana cenital o monitor que ronda un metro de altura.

1.2 MULTI CAPILLA

Consiste en una serie de invernaderos unidos en bloques, con el objetivo de disminuir los costos de construcción por metro cuadrado, al ahorrarse una pared entre las naves (Foto 13). Por lo general son estructuras simétricas que se pueden construir con diferentes materiales. La dimensión de estos invernaderos se ve limitada por el tipo de ventilación. En el caso de utilizar ventilación natural los módulos no deben superar los 40 metros de ancho por 50 metros de fondo, para evitar que se estanque el aire en el interior de la estructura y se produzca un calentamiento excesivo.

FOTO 13



Foto 13. Invernadero multi capilla de geometría curva, ubicado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (Cañas, Guanacaste).



Los invernaderos multi capilla deben contar con una canoa en medio de las naves para evacuar las aguas de lluvia. Cada módulo debe tener una abertura cenital en el techo de 1 a 1,5 metros de altura. Estos diseños, al ser simétricos, gozan de una adecuada estabilidad en la estructura, por lo que no se ocupa reforzar el invernadero con anclajes o "pie de amigos" al suelo (Foto 14). Dependiendo de las especificaciones del fabricante y la resistencia mecánica de los materiales de construcción, se puede o no entutorar cultivos de porte alto como el chile dulce, tomate, pepino, etc., a la estructura del invernadero. Si no hay seguridad en este aspecto, es mejor que el entutorado se realice en forma independiente a la estructura.

FOTO 14



Invernadero multi capilla de geometría plana ubicado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Cartago).
(Foto cortesía M. Villalobos)



El ángulo interno que forman los soportes interiores (columnas) con el techo en los invernaderos multi capilla con geometría plana, puede variar según sea la tasa de precipitación en una región. En zonas de alta precipitación, los invernaderos multi capilla de techo plano, deben aumentar la pendiente del mismo en más de 25° y así disminuir el riesgo de embolsamientos de agua en la cobertura plástica.

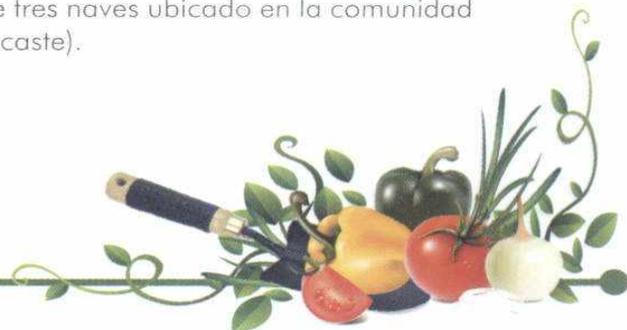
1.3 DENTADO

El diseño dentado tiene como característica principal la forma de dientes de sierra de las aperturas cenitales. Estos invernaderos son asimétricos, que a diferencia del tipo capilla, presentan una menor estabilidad para soportar los embates del viento, por lo que se debe

FOTO 15



Invernadero tipo dentado de tres naves ubicado en la comunidad del Níspero (Cañas, Guanacaste).



anclar los extremos del invernadero al suelo, ya sea con varillas de hierro, tubo metálico o alambre galvanizado. En este sistema el extremo que irá enterrado al suelo, se le amarra previamente un bloque sólido, que puede ser de concreto y luego se rellena con cemento para conferir mayor firmeza. Este modelo presenta buena aerodinámica y una gran amplitud de las ventanas cenitales, aspecto que proporciona una eficiente renovación de aire, siendo muy favorable para zonas con alta temperatura ambiental, como Guanacaste.

Los diseños dentados deben contar con canoas entre las naves con una pendiente del 1%. En la Foto 15, se puede apreciar los anclajes que sujetan la estructura con el suelo para dar mayor estabilidad. Las aberturas cenitales se colocan de espaldas al viento (sotavento) para favorecer el efecto chimenea y con esto aumentar el arrastre del aire caliente hacia el exterior.

2. ESTRUCTURAS DE LOS INVERNADEROS

Cuando se habla de la estructura, se hace referencia a los materiales con que está construido el almacén del invernadero. Estos deben ser ligeros, de buena resistencia mecánica y duraderos. Se debe analizar la disponibilidad en cada zona y su costo, para determinar cual material es más factible para emplear. Entre los más utilizados tenemos:

- Estructura metálica
- Estructura de madera en cuadro
- Estructura de madera rolliza
- Estructura de bambú
- Estructura mixta

2.1 Estructura metálica

Las estructuras de metal son de alta durabilidad y de mayor costo inicial. Tienen la ventaja que son de fácil armado, se adaptan bien a geometrías curvas y poseen una alta resistencia mecánica, lo que reduce el número de soportes interiores con respecto a otras estructuras, disminuyendo el sombreado y en algunos casos, hasta permite entutorar los cultivos. Uno de los inconvenientes más importantes, es que el metal tiende a calentarse, lo que puede acelerar la degradación de la cobertura plástica.



FOTO 16



Foto 16. Invernadero con estructura de metal ubicado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (Cañas, Guanacaste).

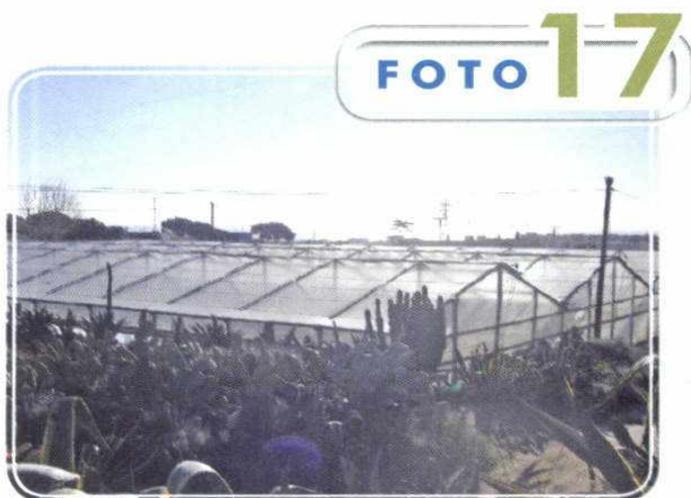
Dentro de las estructuras metálicas encontramos tubos de forma cilíndrica, cuadrangular o rectangular, los cuales pueden ser galvanizados en caliente o pintados con minio para evitar la oxidación. El galvanizado en caliente es mucho más efectivo para evitar la corrosión, aunque la mayoría de tubos metálicos que se utilizan para construcciones industriales, que a la vez se utilizan para invernaderos, generalmente son de aleaciones de hierro, debiendo dársele un manejo contra la oxidación durante toda la vida útil. En nuestro país existen empresas que importan estructuras con galvanizado en caliente, que son de un mayor costo, aunque como se dijo anteriormente, mediante un análisis económico tomando en cuenta la vida útil y el costo por metro cuadrado, se determinará cuál estructura es la más factible.



El peso del metal determinará el grado de resistencia de la estructura. Si se utilizan tubos con un diámetro de 3,75 cm (1,5 pulgadas), el peso del metal estaría entre 4 a 5 kilogramos por metro cuadrado. Mientras que si se utiliza un diámetro 5 cm (2 pulgadas), el peso por metro cuadrado se aproximaría a los 6 kilogramos.

2.2 ESTRUCTURA DE MADERA EN CUADRO

Los invernaderos con estructura de madera en cuadro presentan piezas aserradas de igual dimensión cuya ventaja radica en que la cobertura plástica queda mejor posicionada y sujeta al techo, disminuyendo el riesgo de rasgaduras o embolsamientos de agua. Además agiliza la construcción al no estar seleccionando varas como sucede con la madera rolliza.



Invernadero con estructura de madera en cuadro utilizado en el mediterráneo español (foto cortesía Dr. J. I. Montero)

Este tipo de estructura no es muy utilizada en nuestro país, debido al alto costo de las piezas de madera, principalmente en el Valle Central, aunque en zonas madereras su precio es más accesible. Las uniones entre las vigas y las cerchas se realizan por medio de platinas metálicas, atornillándose a la madera, lo que le confiere mayor rigidez. Además, a este tipo de estructuras se le debe dar un mantenimiento constante para extender su



durabilidad. Un aspecto importante es que no se debe entutorar cultivos de porte alto al techo del invernadero, ya que dependiendo de la especie arbórea utilizada, la resistencia mecánica de la estructura varía, pudiendo no soportar la carga productiva de la plantación.

2.3 ESTRUCTURA DE MADERA ROLLIZA

Este tipo de estructura es muy utilizado en zonas donde existen explotaciones forestales, aprovechándose las raleas (principalmente de teca y melina) para obtener los materiales con que se construirá el invernadero. Tiene la ventaja de que prácticamente el mismo agricultor lo construye a un bajo costo; aunque el trabajo es más laborioso ya que se deben seleccionar las varas, descartándose las que están muy dobladas o presenten muchos entrenudos que puedan romper la cobertura plástica.

FOTO 19



FOTO 20



Invernadero con estructura de madera rolliza ubicado en Nicoya, Guanacaste.

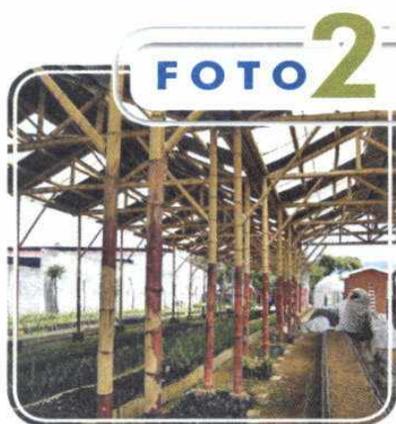
Las varas de madera deben estar descortezadas, secas y curadas con el fin de protegerlas de las adversidades climáticas y así prolongar su vida útil. Al igual que la madera en cuadro y por las mismas razones, no es recomendable entutorar cultivos de porte alto a la estructura. Las distancias entre las columnas o soportes interiores es menor con respecto al metal, ubicándose cada 3 o 4 metros (Fotos 19 y 20); esto ocasiona que se proyecte más sombra y se limita la maniobrabilidad en el espacio interior.



Este tipo de estructura solamente permite geometrías planas, por lo que la selección de las varas que se colocarán en la armadura del techo debe ser muy meticulosa, utilizando únicamente las más rectas para evitar embolsamientos con agua de lluvia y daños mecánicos por el viento. La unión entre las vigas, cerchas y soportes se realiza con clavos, pudiéndose colocar un aro o varilla metálica para dar mayor sujeción.

2.4 ESTRUCTURA DE BAMBÚ

El bambú es un material con un gran potencial debido a la adaptabilidad de este cultivo a zonas del trópico, estando disponible en diferentes regiones de nuestro país. Aunque existen varios géneros (*Bambusa*, *Arundinaria*, etc.) las variedades más utilizadas para construir distintos tipos de estructuras es la *Guadua chacoensis* y *Guadua angustifolia*, las cuales tienen muy buen desempeño sobre todo por su excelente flexibilidad y resistencia mecánica.



Vivero con estructura de bambú ubicado en el Centro Agrícola Cantonal de Grecia (Alajuela).

El bambú, luego de cosechado debe someterse a un tratamiento para disminuir el contenido de almidón y así reducir el ataque de insectos xilófagos y hongos. El curado se puede realizar con preservantes químicos u otras técnicas como el curado al calor o con humo. Las distancias entre los pilares al igual que la madera son de entre los 3 y 4 metros; no es recomendable entutorar cultivos de porte alto a la estructura.

Se debe tener cuidado que las piezas que se colocarán en el techo no presenten entrenudos muy abultados que puedan romper el plástico.

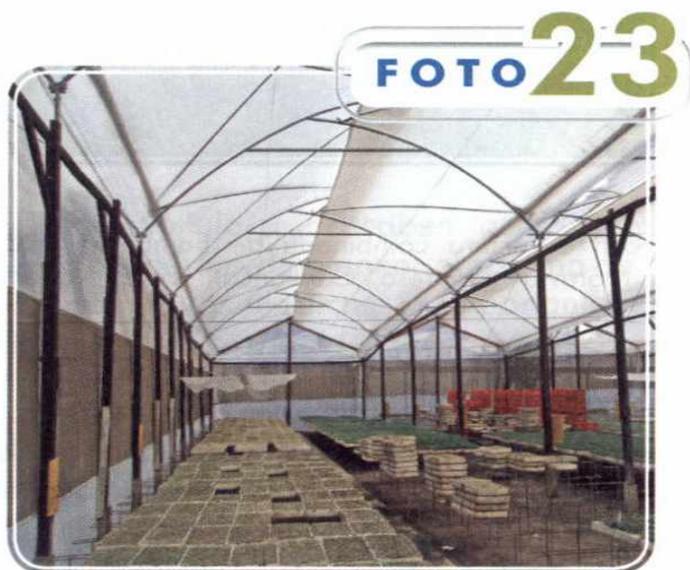


Para evitar que los pilares estén en contacto con el suelo, se pueden colocar basas de concreto, que además facilitarían en el futuro cambiar alguna pieza que se encuentre deteriorada. La unión entre los diferentes puntos de la estructura (vigas, pilares, cerchas, etc) se realiza con alambre galvanizado.

2.5 ESTRUCTURA COMBINADA

Se refiere a la combinación de dos o más materiales para construir la estructura del invernadero con el objetivo de disminuir los costos y lograr implementar diseños con geometrías curvas.

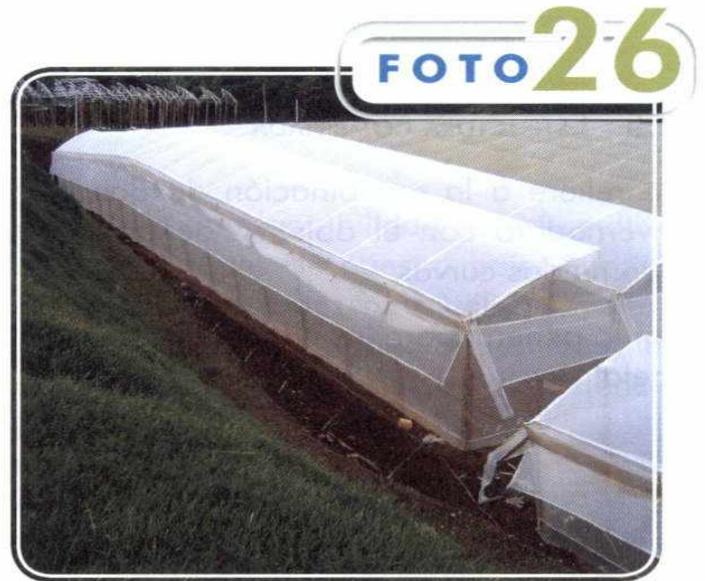
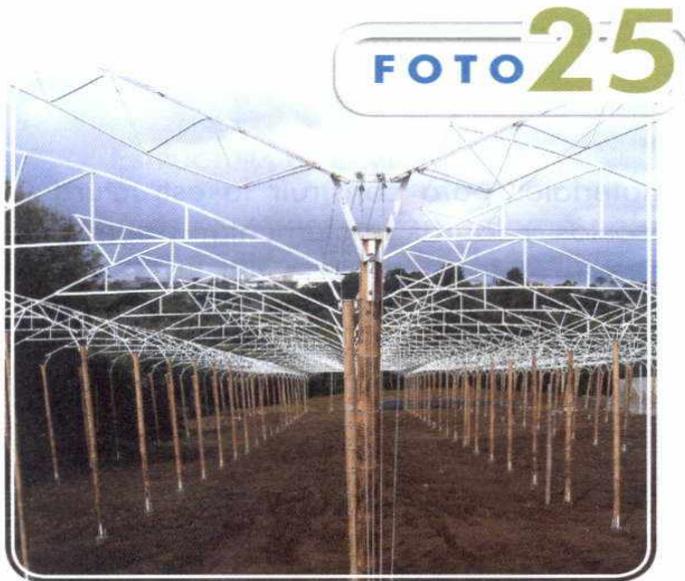
Por lo general para los pilares o columnas se utiliza madera o bambú y en la parte superior metal.



Estructura combinada de madera en cuadro con tubo metálico, (Pilonos de Antigua, Guatemala).

La unión entre las dos estructuras se realiza empleando gazas, platinas en forma de "L", alambre galvanizado, abrazaderas, uniones en forma de "carevaca" ó "Y". En las Fotos 23 y 24, se aprecia como los pilares de madera sirven de base y el techo presenta una geometría curva con el metal, lo que permite una buena sujeción del plástico. En este caso, las canoas que conducen el agua de lluvia son de lámina plástica.





Invernadero con estructura combinada de bambú y metal, ubicado en Moravia (Empresa Carillanca). Fotos cortesía ProNAP

En las Fotos 25 y 26, se aprecia otra opción de combinación de materiales de construcción en un invernadero multi capilla, utilizando bambú en los pilares y tubo metálico en el armazón del techo, donde se coloca la cobertura plástica. La estructura metálica se acopla al bambú por medio de platinas en forma de crucetas, cables y tornillos.

Es importante tratar de seleccionar cañas de bambú con un diámetro similar para no dificultar la unión con la armadura metálica, la cual previamente se construye con una dimensión definida para facilitar la construcción del invernadero.



CAPÍTULO V

RIEGO EN INVERNADEROS

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los conceptos más sobresalientes que se deben tomar en cuenta a la hora de planear el sistema de riego más conveniente en proyectos productivos bajo coberturas plásticas. Es importante resaltar que para una mayor comprensión de éste tema, es recomendable que se analice con personas que tengan cierta experiencia en dicho campo, ya sea del MAG, INTA ó especialistas en riego.

El manejo del agua en un sistema agrícola intensivo, como en cultivos protegidos es uno de los factores determinantes para la obtención de los objetivos de producción y rentabilidad. En esta modalidad de producción, se trata de modificar las condiciones ambientales buscando optimizar los elementos que favorezcan la expresión plena del potencial de producción de los materiales genéticos que se utilizan.

La humedad del sustrato (o suelo) se debe manejar dentro de rangos muy pequeños que garanticen suministro continuo de agua a las raíces, con el mínimo esfuerzo de la planta y con adecuados niveles de aireación en esa zona radicular. Para lograr esto se debe conocer muy bien la capacidad de retención de humedad y el espacio poroso del material utilizado. Lo que significa que necesariamente se debe caracterizar las propiedades físicas del medio de producción antes de iniciar cualquier actividad de índole comercial, con el afán de planificar la estrategia de riego más conveniente para el sistema de cultivo.



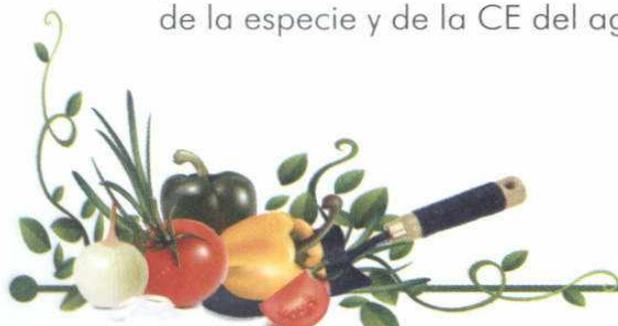
Debido al pequeño volumen de suelo donde se desarrollan las raíces de la planta, el manejo de la humedad debe ser cuidadoso, ya que en cortos periodos de tiempo se puede consumir el agua disponible, lo que induciría a la planta a un stress hídrico sino se le repone oportunamente. Cuando se trabaja con sustratos, el número de riegos pueden variar durante un solo día, dependiendo del tipo de sustrato y las condiciones ambientales imperantes en la zona. Por esta razón es muy importante contar con instrumentos de medición que determinen no solo cuando hay que regar, o sea la tensión permitida (Ψ_m) del agua, sino que además midan la salinidad del agua o conductividad eléctrica (CE) y el grado de acidez (pH), posibilitando su control y corrección cuándo sea necesario.

La acidez o pH de la solución de suelo y de riego, se puede medir con un instrumento electrónico digital llamado ph-metro. El rango adecuado de acidez (pH) de la solución debe ser entre 5,6 y 6,5. Cuando se alcanzan valores superiores a los antes señalados, el pH se debe ajustar, situación que se logra adicionando ácidos al agua de riego. Entre los ácidos más utilizados encontramos: el fosfórico, el nítrico o el sulfúrico. Como estas sustancias agregan elementos nutritivos (Fósforo, Nitrógeno y Azufre respectivamente), se deben tomar en cuenta en el momento de los cálculos de balance de fertilidad, o cantidades de elementos nutrientes necesarios.

El pH de agua varía de un lugar a otro, por ejemplo, en gran parte de Guanacaste, las aguas de riego presentan pH entre 7 y 8, debido a su alto contenido de carbonatos, por lo que el uso de ácido es fundamental para bajar el pH, con el fin de no afectar la disponibilidad de los elementos nutritivos para la planta y evitar la obstrucción de los sistemas de riego, especialmente de las cintas de goteo. Por el contrario, en otras zonas del país, como las cercanas al Volcán Poás, las aguas de riego presentan pH por debajo de 5, debiendo agregarse bases (Calcio) para subir el pH, de lo contrario no solamente afectaría la nutrición de cultivo, sino también los equipos de aplicación.

Por otra parte, el contenido de sales (fertilizantes) en el agua del suelo o de la solución de riego se mide indirectamente mediante la conductividad eléctrica (CE) de la misma, para ello se usa un instrumento llamado conductímetro. Este instrumento mide la facilidad de flujo de corriente eléctrica a través de la solución, en donde los valores aumentan conforme el contenido de sales también aumenta, ya que hay una relación directa entre el contenido de sales y la conductividad eléctrica (CE). La CE está relacionada directamente con el contenido de sales o iones disueltos.

Las unidades de medición del conductímetro se presentan en milimhos por centímetro (mmhos/cm) o decisiemen por metro (dS/m). El rango de conductividad eléctrica requerido para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre 1,5 a 2,5 dS/m, dependiendo de la especie y de la CE del agua con que es preparada la solución (Carrasco e Izquierdo,



1996). Valores mayores indicarían que existe una alta concentración de sales, las que afectarían la absorción de agua por medio de la raíz y valores menores causarían deficiencias nutricionales en los cultivos.

2. RETENCIÓN DE AGUA POR EL SUELO O SUSTRATO

La cantidad de agua que un medio pueda almacenar y suministrar a la planta está asociada con la cantidad y calidad de espacio poroso presente en el sustrato o suelo. Esto se refiere al tamaño de poro que existe en el medio. Cuando existe un alto contenido de poros grandes (macro-poros) como en el caso de las arenas, la aireación es excelente, pero disminuye la capacidad de retención de agua, pues ésta se pierde fácilmente por acción de la gravedad (drenaje). Por tanto, estos materiales exigen que se les riegue en pequeñas dosis muy frecuentemente. Caso contrario, cuando el medio está compuesto primordialmente de poros pequeños (micro-poros), como la lana de roca, fibra de coco ó suelos franco arcillosos, el agua queda fácilmente retenida en mayor cantidad y la suministran óptimamente a las raíces de la planta, por lo que los intervalos entre riegos se hacen más espaciados.

Cuando se trabaja con suelo, las características de la estructura (arreglo de los agregados) y la textura (porcentajes de las partículas arena, limo y arcilla) definen el contenido de micro-poros que son los responsables del almacenamiento del agua y macro-poros que contienen aire (necesario para la oxigenación de las raíces). La micro-porosidad retiene el agua con diferentes magnitudes de esfuerzo dependiendo del tamaño, donde los más pequeños lo hacen con mayor tenacidad. Ese esfuerzo para extraer el agua por la planta se le conoce como tensión de agua del suelo y se mide por medio de un tensiómetro u otros dispositivos de medición.

Se deduce, que en un balance adecuado entre poros pequeños que retienen el agua fácilmente absorbida por las raíces y poros mayores que contienen el aire que necesitan las raíces para su funcionamiento, favorece el óptimo desarrollo de la planta en general (Fotos 27 y 28).





Óptimo desarrollo radical y de producción en plantación de chile dulce con sustrato hidropónico (Invernadero de la Asociación de Productoras de Jazmines de Upala).

Un suelo de óptimas características texturales y estructurales debe presentar un contenido de humedad de 35% de su volumen, con una tensión de 15 a 20 centibares (cb); además de una porosidad (macro-poros) con aire de aproximadamente 20% de su volumen, todo esto en su máxima capacidad de almacenamiento de agua, punto conocido como capacidad de campo (CC), que se define como la cantidad de agua que alcanza almacenar un suelo después del riego, una vez drenado libremente el excedente.

2.1 CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO

Se puede medir el contenido de humedad del suelo y relacionarlo con el esfuerzo que deben realizar las plantas para absorberla, lo que se conoce como curva característica de retención de humedad del suelo o sustrato. Ese esfuerzo también se le conoce como potencial matricial (Ψ_m) o energía debida a la matriz del suelo.

La tenacidad o esfuerzo con que el suelo retiene el agua se puede medir por medio del potencial hídrico (Ψ), que se expresa en: Atmósfera (Atm), Bar (b), kilo Pascal (kPa) y metros de columna de agua (m.c.a). Estas mediciones se realizan en un laboratorio de suelos o por medio de dispositivos como los tensiómetros que serán descritos más adelante en la sección 2.3.

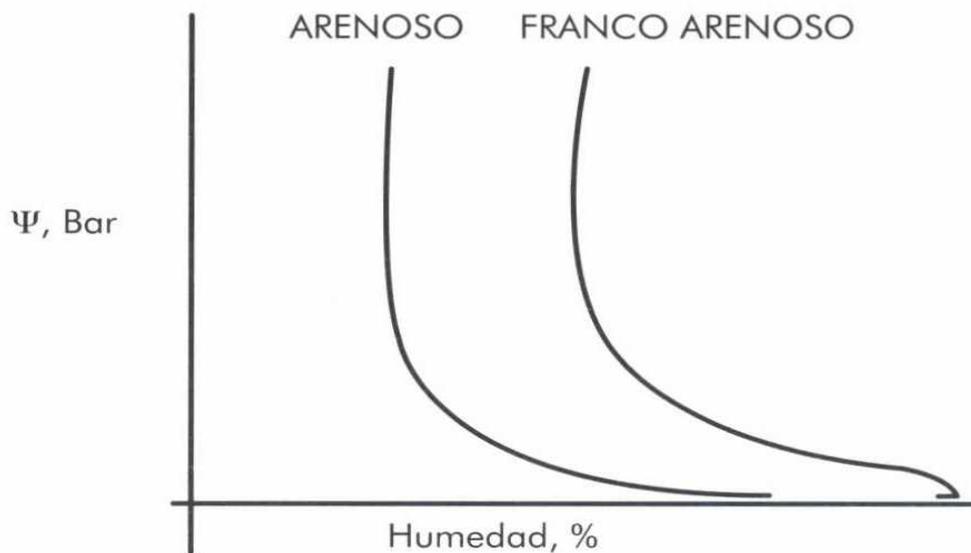


Conocer la **curva característica de retención de agua del suelo** es un requisito básico para conseguir la precisión deseada en el riego. Como puede observarse en la Figura 15, un suelo arenoso retiene menor cantidad de agua en una misma tensión que un suelo franco, y conforme disminuye el contenido de agua por absorción de las raíces, mayor esfuerzo debe aplicar la planta para extraerla. Por esta razón, los riegos adecuados son los que mantienen altos contenidos de humedad, con agotamientos (consumo por las plantas) dentro de pequeños rangos de esfuerzo o tensión o sea riegos frecuentes.

FIGURA

15

CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS.



Es importante que en ese estado de humedad que el suelo tenga un óptimo contenido de poros con aire para la oxigenación de las raíces, lo que significa que el sistema debe contar con adecuado y eficiente drenaje.



Conforme el agua del suelo va siendo absorbida por las raíces de las plantas, éste se va secando hasta alcanzar un contenido mínimo que se puede predeterminar para proceder al riego siguiente, esto es el límite que corresponde a valores medidos con tensiómetro de 20 centibares en suelo y de 30 centibares en sustrato.

Los contenidos de humedad con valores superiores a esos son difícilmente aprovechables por las plantas, en consecuencia afectan negativamente el desarrollo de las mismas debido al mayor esfuerzo que deben efectuar las raíces para absorberla lo que resulta en detrimento de los rendimientos.

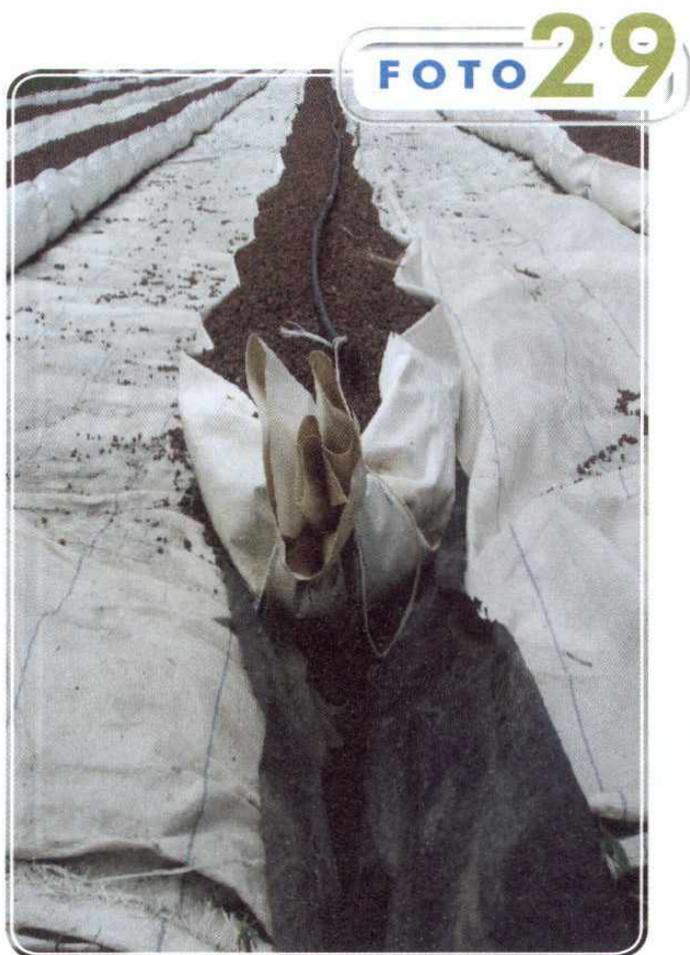
2.2 DRENAJE DEL SUELO O SUSTRATO

Es importante vigilar la fracción del volumen radical del suelo, que corresponde a la porosidad con aire (macro-porosidad, P.A), pues las raíces deben permanecer óptimamente oxigenadas para su adecuado funcionamiento. Debido a la alta frecuencia de riego, el riesgo de saturar con agua el suelo (eliminando el aire) es grande, aún en cortos periodos, por lo que las cantidades de agua de riego aplicadas deben ser precisas para no someter a las plantas a stress por excesos.

No obstante, cuando se trabaja con la técnica de fertirrigación se adiciona una cantidad de solución de riego en una proporción de un 20 a 30% más de la necesaria, con el fin de mantener las características químicas de la solución ya sea en suelo o sustrato hidropónico, evitando su salinización y variaciones de la acidez. En el caso de sistemas hidropónicos se debe garantizar un eficiente y oportuno sistema de drenaje de los contenedores, que evacue con rapidez el exceso de agua; además de considerar la posibilidad de la reutilización de esa agua que contiene nutrientes para las plantas. Ver Fotos 29 y 30.

En algunos invernaderos del Pacífico Norte de Costa Rica (con hidroponía), los drenajes han sido colocados en el fondo del contenedor, o lateralmente (con pendientes entre 0,5 y 1%); con el fin de que el agua de drenaje sea recolectada y reutilizada. En este caso, el sistema opera con 20% de agua drenada, o sea que, a la cantidad de agua aplicada para suplir el consumo de la planta se le debe adicionar un 20%.





Dos diseños de drenaje para canaletas hidropónicas.

2.3 MEDICIÓN DEL AGUA DEL SUELO

En suelo, se ha usado óptimamente el tensiómetro para medir su humedad, este instrumento simula muy bien el esfuerzo de la planta para extraer el agua; para ese efecto se coloca en la profundidad de mayor concentración efectiva de raíces, dependiendo del cultivo. La necesidad de riego se produce cuando la lectura del tensiómetro está entre los valores de 20 y 40 centibares (cb) (Foto 31).



FOTO 31



Tensiómetro colocado en el suelo en un cultivo de cebolla.

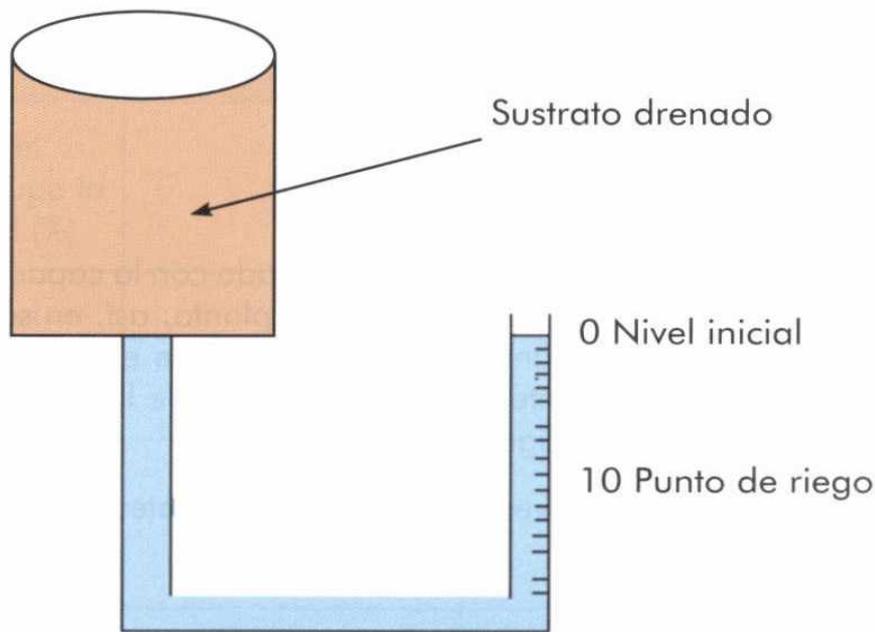
En sustratos hidropónicos principalmente con arenas, se dificulta el uso del tensiómetro, debido a que la macro porosidad no permite el contacto íntimo (necesario para que funcione) entre la cápsula porosa y las partículas sólidas, por lo que son más usados las bandejas de riego a la demanda o sensores de nivel.

El dispositivo bandeja de riego a la demanda es una forma de medir el contenido de humedad del sustrato, expresándola en metros columna de agua (m.c.a.) (Figura 16).



FIGURA 16

ESQUEMA DE LA MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DEL AGUA EN UN SUSTRATO.



La Figura 16, representa la humedad almacenada en un volumen de sustrato, posterior al riego, inmediatamente después de que la totalidad del agua de drenaje ha sido evacuada de los espacios porosos que corresponden al aire. A partir de ese momento, empiezan a operar las fuerzas de retención de agua del sustrato, que es el punto inicial, cuando el nivel superior de la columna de agua del dispositivo está a la misma altura que el nivel del fondo del recipiente con sustrato (nivel = 0). Conforme el contenido de agua del sustrato va disminuyendo por efecto del consumo de la planta, la altura de la columna se reduce (se mide en cm) y corresponde al esfuerzo que debe realizar la planta para extraerla hacia su parte aérea, en términos de altura de columna de agua como se puede esquematizar en dicha figura.



En este dispositivo se puede pre-determinar el esfuerzo máximo permitido a la planta, (ejemplo en Figura 16: altura de la columna = 10 cm.c.a) y derivar de esa forma la nueva orden de riego. El mercado ofrece equipos electrónicos para ese uso, utilizando ese principio físico que se les llama: Bandeja de riego a la demanda.

3. RÉGIMEN DE RIEGO

El correcto manejo del riego en cualquier explotación agrícola es la base del éxito. Para lograr este objetivo se debe conocer las exigencias hídricas del cultivo, las características físicas, químicas del suelo o sustrato y las condiciones ambientales de cada región.

3.1 CANTIDAD DE AGUA

La cantidad de agua a aplicar está directamente relacionada con la capacidad de retención del medio usado (suelo o sustrato) y la demanda de la planta; así, en suelo, debido a su contenido de poros finos, el almacenamiento es diferente que en sustratos propiamente dicho, como se mencionó anteriormente y en la descripción de la curva característica de retención de humedad de los suelos (Figura 15).

En el caso de sustratos, se presentan diversas capacidades de retención de humedad como lo muestra el siguiente ejemplo.



TABLA

4

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE ALGUNOS SUSTRATOS

	Lana de roca	Arena 0,5 - 2,0 mm	Grava 5 -15 mm
Porcentaje del volumen que ocupa la porosidad total (%)	96	35	40
Porcentaje del volumen que ocupa la materia seca (%)	4	60	60
Porcentaje del volumen que ocupa el agua de reserva (%)	15	1,0 - 2,0	1,0
Porcentaje del volumen que ocupa la porosidad de aireación (%)	19	20	30
Porcentaje del volumen que ocupa el agua fácilmente asimilable más el agua de reserva (%)	77	15	10

Fuente Rincon, L. 1996



Según el cuadro anterior, el sustrato lana de roca tiene una alta capacidad de almacenamiento de agua llegando a un 77 % de su volumen, mientras que las arenas solo un 15%, no obstante el uso del primero es limitado por el alto costo, ya que es producido en el extranjero, lo que supondría importarlo, mientras que las arenas aún con su baja capacidad de almacenamiento de agua, se están empleando en mayor forma, debido a su bajo costo, pero en consecuencia requerirán riegos con alta frecuencia. En los dos casos citados el espacio de aireación es óptimo lo mismo que su capacidad de drenaje interno, lo que se debe tener en cuenta es que necesitarían manejos de riego diferentes.

Una vez que la planta consume la cantidad de agua preestablecida (agua fácilmente asimilable) se procede mediante el riego a reponerla. Para una misma demanda de la planta, el sustrato de menor capacidad de almacenamiento requerirá de riego con mayor frecuencia.

3.2 FRECUENCIA DE RIEGO

La frecuencia de riego depende de la capacidad de almacenamiento de agua del sustrato o suelo, de la demanda actual del cultivo (Evapotranspiración, ET) y del consumo o agotamiento máximo de agua permitido (tensión máxima pre-establecida).

El valor de agotamiento correctamente establecido para el cultivo, garantiza, que los rendimientos no serán afectados por déficit hídrico en la planta, normalmente son contenidos de humedad próximo a la capacidad de campo (CC). Según Rincón Sánchez L (1996), en sustratos esa tensión corresponde a una lectura, medida con un tensiómetro, de 0,10 a 0,20 m de columna de agua (m.c.a.); mientras que en suelo puede ser de 20 centibares (2,0 m.c.a), ver Figura 16.

En sustratos, es común que las frecuencias o intervalos entre riegos (I) sean cortos (varios riegos el mismo día), pues retienen poca agua, mientras que con el uso de suelo los intervalos son mayores, pueden ser inclusive de varios días.

Por otro lado, la frecuencia de riego (I) también depende de la demanda actual del cultivo (ET), que varía de acuerdo al desarrollo de la planta y las condiciones climáticas locales: humedad relativa, temperatura, radiación solar y velocidad del viento. La demanda actual de agua del cultivo se puede calcular por diferentes métodos, uno de los más utilizados es el tanque evaporímetro, que integra todos los factores climáticos citados anteriormente y que tienen que ver con la evapotranspiración.



El método de tanque evaporímetro consiste en un recipiente cilíndrico (Foto 32), construido en lámina de hierro galvanizado, de 121 cm de diámetro y 25,5 cm de alto, colocado sobre una tarima de madera a 15 cm de la superficie del suelo. El agua con que se llena debe ser limpia, con un nivel máximo de 5 a 7,5 cm abajo del borde superior del tanque.

FOTO 32



Tanque evaporímetro.

El valor obtenido de la evaporación del tanque, es transformado a evapotranspiración máxima de la siguiente forma:

$$ET_0 = K_p \times E_0$$



Donde:

ET_0 = Evapotranspiración máxima de referencia, en milímetros (mm) por día.

K_p = Coeficiente de tanque. Valores que aparecen en tablas elaboradas para esos fines (por ejemplo en la serie FAO Riego y Drenaje No 24), que dependen de la ubicación del tanque, y las condiciones climáticas generales y circulantes.

E_0 = Profundidad de agua evaporada del tanque, medida con una regla graduada en mm.

Para transformar la Evapotranspiración de referencia a Evapotranspiración de cultivo (ET_c) se debe aplicar un coeficiente de cultivo (K_c). El coeficiente K_c depende del cultivo, de su estado vegetativo y evoluciona a lo largo del desarrollo de la planta, creciendo desde los valores más bajos del período inicial (siembra o trasplante) hasta los máximos cuando el cultivo cubre el suelo, interceptando toda la radiación solar, decreciendo luego en la senescencia. Estos valores son facilitados en tablas confeccionadas (por ejemplo en la serie FAO Riego y Drenaje No 24).

De forma que:

$$ET_c = ET_0 \times K_c.$$

Dónde.

ET_c = Evapotranspiración máxima del cultivo, en mm.

K_c = Coeficiente del cultivo

En resumen las necesidades diarias de agua por la planta (ET_c) pueden calcularse por medio del método del tanque de la forma siguiente:

$$ET_c = K_p \times K_c \times E_0$$

Investigaciones realizadas en Almería (España), encontraron que los productos de $K_c \times K_p$ en los cultivos de: tomate, chile dulce, melón, sandía, vainica y berenjena oscilan entre 0,20 y 1,10 a través de las etapas fenológicas de esos cultivos (Castilla, 2005).

La forma más práctica y confiable es obtener esas demandas de riego para el lugar de interés solicitándolas al Instituto Meteorológico Nacional (IMN).



3.3 CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

La calidad del agua para riego se encuentra determinada por el contenido de sales y partículas sólidas que además de perjudicar el funcionamiento normal de las plantas pueden obstruir en algún momento los emisores, y provocar alteraciones en el sistema de riego.

La presencia de sales en el agua de riego, afecta el equilibrio iónico de la solución, lo cual induce a reacciones químicas inconvenientes que alteran la óptima disponibilidad de los elementos nutrientes. Caso como el de las aguas de riego en el Pacífico Norte de Costa Rica, sus altos contenidos de bicarbonatos de calcio y magnesio (pH 7 - 8), ha provocado la necesidad de adicionar ácidos (nitrítico o fosfórico) para regular su acidez o pH.

Es importante destacar que valores de pH mayores de 7 están asociados a altos contenidos de sales de calcio y magnesio

El uso de aguas salinas de riego, dificultan su absorción y consecuentemente reducen el desarrollo y rendimiento de los cultivos. En condiciones normales las aguas utilizadas en riego presentan valores medios entre 0,4 – 0,7 milimhos/cm, que son considerados adecuados.

Otra consecuencia del uso de aguas salinas es la obstrucción de los goteros, producida por la precipitación de sales (Sulfatos de Calcio, Fosfatos de Calcio, etc.), que se van depositando en los conductos de salida de los emisores, principalmente en condiciones de elevada alcalinidad (pH mayor de 7,5)

Para la medición de la salinidad del agua se usa el índice de su conductividad eléctrica (CE), que es directamente proporcional a su contenido de sales, para lo que existen equipos de medición conocidos como “conductímetros”.

Ayers y Westcot, 1976, establecieron una clasificación para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de la siguiente manera:



TABLA

5

CLASIFICACIÓN DE LA SALINIDAD DE AGUAS DE RIEGO.

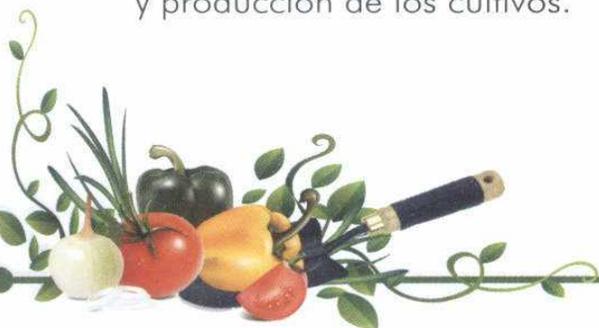
Índice de salinidad	CE (mmhos/cm)	Riesgo de salinidad
1	Menor de 0,7	Sin problemas
2	Entre 0,7 y 3,0	Problemas crecientes
3	Mayor de 3,0	Problemas serios

4. FERTILIZACIÓN

Para cultivo de plantas en invernadero, la fertilización mediante el sistema de riego es uno de los requisitos elementales para el óptimo desarrollo y producción de las plantas.

Como requisito básico el agua de riego debe contener los elementos nutrientes necesarios en su nivel y forma química equilibrada, para que éstos sean óptimamente absorbidos por las plantas. Esto se refiere a que debe tener un grado de acidez o pH entre 5,6 y 6,5, un equilibrio aniónico – catiónico neutro en las concentraciones recomendadas, como se detalla en el ejemplo de la Tabla 7.

Cuando se emplea la técnica de fertirrigación lo ideal al calcular las necesidades netas de riego requeridas por un cultivo, es que se contemple la adición de un pre y post riego solamente con agua, antes y después de la fertirrigación. Con esto se busca en primer lugar el humedecer el sustrato y en segundo el facilitar un “lavado” de sales que se acumulan en las cintas de goteo y sustrato. Dicho de otra forma, la aplicación periódica de una solución nutritiva (agua + fertilizante) puede obstruir las cintas de goteo y aumentar la salinidad del sustrato (CE mayor de 2,5 mmhos/cm), lo que tendría efectos negativos sobre el desarrollo y producción de los cultivos.



Por ejemplo para las condiciones del Pacífico Norte de Costa Rica, agregando un 20% de agua entre el pre o pos fertirriego, se ha mantenido la salinidad con una CE menor a 2,3 mmhos/cm. Esto expresado en términos de eficiencia de aplicación, significa que, 80% satisface las necesidades hídricas de las plantas y 20% para "lavar" sales por medio del drenaje. Como se ha comentado antes es importante prever la recuperación de las aguas de drenaje para evitar las pérdidas de fertilizantes y el riesgo de contaminación del ambiente.

4.1 FERTIRRIGACIÓN EN SUELO

Cuando se usa suelo, normalmente los aportes de nutrientes se basan en los análisis de su contenido y las necesidades de las plantas. Ejemplo es la siguiente tabla tomada de N. Castilla, (2005).

TABLA

6

EXTRACCIONES APROXIMADAS DE ALGUNOS CULTIVOS HORTÍCOLAS.

Cultivo	Producción t/ha	Extracciones (kg/ha)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Tomate	80	250	80	500	300	70
Chile	40	180	60	180	160	50
Melón	60	230	80	400	300	70
Lechuga	40	100	50	250	50	12



Esta tabla es una base para planear el fertirriego durante el ciclo de cultivo. Las aplicaciones de nutrientes deben satisfacer las exigencias de la planta en las diferentes fases del cultivo, en las formas químicas más asimilables, tomando en consideración la acidez y la salinidad de la solución de suelo, como se discutió anteriormente.

4.2 FERTIRRIGACIÓN PARA CULTIVOS EN SUSTRATO

El uso de sustratos para hidroponía, supone un aporte nulo o mínimo de los nutrientes, por tanto lo aconsejable es que en el agua de riego se suministre la totalidad de los requerimientos de la planta, en cada fase de crecimiento.

Se conoce como “solución madre” a la preparación concentrada de los elementos nutrientes disueltos en agua, usualmente en contenedores plásticos. Esta preparación es inyectada a la red de riego en las proporciones recomendadas, mezclándose con el agua, transformándose en “solución de riego” (solución diluida).

La “solución de riego” óptima debe ser: eléctricamente neutra (cantidad de aniones = cantidad de cationes), con pH entre 5,6 y 6,5 para la estabilidad química y una conductividad eléctrica menor a 2,5 mmhos/cm, con la distribución óptima de los nutrientes requeridos por la planta.

Existen estudios que han determinado soluciones de riego adecuadas, por lo que se recomienda consultar los diferentes trabajos específicos que existen en ese tema, y que aparecen en medios bibliográficos.

En la Tabla 7, se presenta un ejemplo de soluciones neutras preparadas; tomando en cuenta sólo los macro-nutrientes: Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Calcio, Magnesio y Azufre que son los de mayor participación en la solución.

Las concentraciones están expresadas en milimoles por litro de agua, donde: milimol (mmol) = milésima parte de un Mol.

Mol = Peso molecular de la sustancia expresada en gramos.



TABLA

7

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA FRESA, TOMADA DE ESTRADA, G (1997).

Necesidades	mmol/L	mmol carga negativa/L	mmol carga positiva/L
NH_4^-	1,0	0	1,0
K^+	5,5	0	5,5
Ca_2^{++}	3,25	0	6,5
Mg_2^{++}	1,25	0	2,5
NO_3^-	11,5	11,5	0
SO_4^-	1,5	3,0	0
H_2PO_4^-	1,0	1,0	0
Total Carga		15,5	15,5

El siguiente paso es seleccionar las fuentes de fertilizantes disponibles en el mercado como: nitrato de calcio, sulfato de magnesio, nitrato de amonio, nitrato de potasio, fosfato mono amónico, sulfato de amonio, sulfato de potasio, y fosfato de potasio, que aportarán los macro-nutrientes requeridos. Existen tablas y programas de computadoras que nos ayudan en el cálculo de las cantidades de los fertilizantes requeridos, por lo que es importante que en este punto se acuda a la Agencia del MAG o INTA más cercana para su análisis.

Para preparar la "solución nutritiva madre" de los micro-nutrientes: Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), Cobre (Cu), y Boro (B) que son requeridos por las plantas en bajas concentraciones, se puede alistar una mezcla mil veces más concentrada que la que se va a usar en la solución de riego; así, un mililitro de "solución madre" por litro de agua de riego brinda la concentración adecuada.



Por ejemplo si la solución de riego requiere 30 partes por millón (ppm) de esos micronutrientes, se puede elaborar una "solución madre" de 30000 ppm, para que un mililitro inyectado en el sistema por cada litro de agua de riego satisfaga ese requerimiento.

Para Mn, Zn y Cu se pueden usar cloruros o sulfatos, para molibdeno se utiliza molibdato de sodio o ácido molíbdico y para boro ácido bórico.

El Hierro (Fe) es mejor agregarlo a la mezcla anterior como quelato Fe – EDTA, esta solución debe estar preparada y protegida de la luz.

En los sistemas de fertirriego se dispone de 4 tanques: A, B, C y D, para evitar la posibilidad de reacciones químicas inconveniente entre algunas de esas sustancias cuando se mezclan. Hay que aclarar que algunos elementos en su estado puro son compatibles, pero cuando integran una mezcla (fertilizante), debido a la adición de otros compuestos pueden llegar a ser incompatibles. En la tabla 8, se muestran las compatibilidades entre los fertilizantes más empleados en nuestro país.

El tanque A: contiene las sustancias nitrogenadas, potásicas, magnésicas que no contengan fosfatos ni sulfatos.

El tanque B: están los elementos menores.

En el tanque C: Nitrato de calcio.

El tanque D: contiene los ácidos (en caso que se requiera) que pueden ser: nítrico o fosfórico.

Para controlar la inyección de los fertilizantes a la red de riego existen ordenadores que, apoyados en sensores, regulan automáticamente la salinidad, pH y las cantidades a inyectar de cada tanque, según se le haya programado, no obstante también se puede realizar manualmente.



TABLA

8

COMPATIBILIDAD QUÍMICA DE LA MEZCLA DE ALGUNOS FERTILIZANTES COMUNES EN FERTIRRIGACIÓN.

MEZCLA DE FERTILIZANTES (Incompatibilidad, Reducción de la solubilidad)

	Urea	Nitrato amonio	Sulfato amonio	Nitrato calcio	Nitrato potasio	Cloruro potasio	Sulfato potasio	Fosfato amonio	Sulfato Fe, Zn, Cu, Mn	Quelato Fe, Zn, Cu, Mn	S. fosfato triple	Sulfato Mg	Ac. Fosfórico	Ac. Sulfúrico	Ac. Nítrico
Urea															
Nitrato amonio															
Sulfato amonio					R.S.	R.S.	R.S.								
Nitrato calcio															
Nitrato potasio			R.S.				R.S.		R.S.			R.S.		R.S.	
Cloruro potasio			R.S.				R.S.		R.S.			R.S.		R.S.	
Sulfato potasio			R.S.		R.S.	R.S.			R.S.			R.S.		R.S.	
Fosfato amonio										R.S.					
Sulfato Fe, Zn, Cu, Mn												R.S.		R.S.	
Quelato Fe, Zn, Cu, Mn															
S. fosfato triple	R.S.														
Sulfato Mg					R.S.	R.S.	R.S.								
Ac. Fosfórico							R.S.			R.S.					
Ac. Sulfúrico										R.S.					
Ac. Nítrico															

Fuente: Bar-Am, 2002.

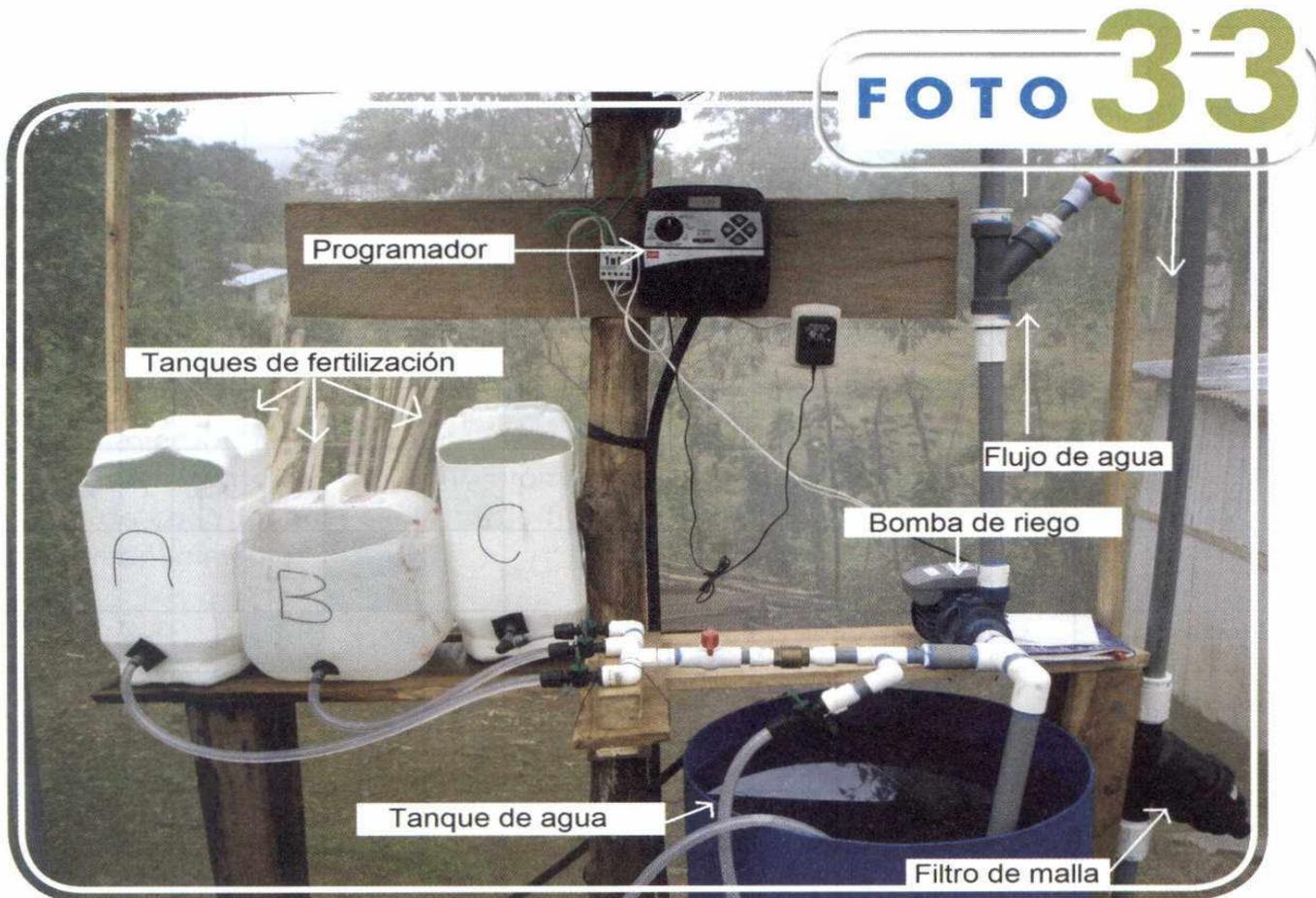


5. COMPONENTES DEL SISTEMAS DE RIEGO

El cabezal de control generalmente está ubicado próximo a la fuente de abastecimiento de agua, constituyéndose en la parte central del sistema de riego.

El conjunto moto – bomba no se incluye dentro de los componentes del cabezal, debiendo suministrar el caudal y la presión necesaria para que funcione el sistema.

La automatización del riego localizado es una meta en la optimización del uso de un sistema de riego. Los componentes principales de un cabezal de control de riego son: a) medidores de caudal, b) filtro de arena o malla, c) inyector de fertilizante, d) filtro de maya, e) válvulas de control de presión, f) registros y g) manómetros.



Cabezal de riego automatizado (Invernadero de la Asociación de Productoras de Jazmines de Upala).



El sistema de filtrado es importante para proteger de obstrucciones a los goteros, pudiéndose combinar el filtro de anillos con un hidrociclón (dispositivo que produce movimiento de agua centrifugo para separar arenas) para los casos que el agua acarree arenas. El sistema de inyección más utilizado en invernaderos es el “venturi” o bombas dosificadoras. Actualmente estos sistemas se han equipado con sensores de pH y conductímetros, aunque se puede hacer manualmente.

Las tuberías principales, derivadas y ramales de riego normalmente son de material PVC o de polietileno con las características hidráulicas para esos fines. Existen muchas opciones de cintas de gotero en el mercado con diferentes descargas y espaciamentos, dependiendo del cultivo y dinero que se quiere invertir en estos sistemas.

CAPÍTULO VI

MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN CULTIVOS PROTEGIDOS

1. MANEJO DE LAS PLAGAS

El estudio de las plagas y su interacción con los factores ambientales que se generan en el interior de una cobertura plástica es reciente en Costa Rica, si se compara con países de mayor tradición en este campo como Holanda, España, Canadá entre otros. En el corto periodo que se ha venido cultivando bajo esta modalidad, se han encontrado dificultades principalmente con artrópodos (polillas, moscas, ácaros, áfidos, etc.).

Esto obliga a buscar una estrategia de combate bajo el concepto del manejo integrado, el cual consiste en la utilización de todos los recursos que se tengan a disposición, basándose en el conocimiento de la biología, ecología y comportamiento de los organismos causantes de los daños y tomando en cuenta el beneficio - costo de las acciones por implementar.



El daño que causan las plagas a las cosechas se puede diferenciar en dos tipos:

1. competencia por factores de crecimiento (agua, luz, espacio, nutrientes).
2. destrucción del tejido vegetal:
 - a) refiriéndose al tejido fotosintéticamente activo o de absorción (raíces y follaje básicamente)
 - b) daño o destrucción de las estructuras de almacenamiento o reproducción (raíces, tallos, frutos)
 - c) contaminación de la parte cosechable (por ejemplo, larvas de insectos en inflorescencias de brócoli) (Bolaños, 1998).

Para combatir los daños anteriormente expuestos se describen los siguientes métodos:

- Para el punto 1, el manejo agronómico (conjunto de buenas prácticas utilizadas para crear o proporcionar las condiciones adecuadas para el desarrollo de un cultivo) es el factor determinante.
- Para el punto 2 comprenden:
 - a) control biológico (consiste en la utilización internacional de enemigos naturales para regular las poblaciones de organismos que han alcanzado el nivel de plaga con la aplicación de parasitoides, depredadores y patógenos).
 - b) manejo químico (se fundamenta en la utilización de sustancias sintéticas como los acaricidas, insecticidas, etc.)
 - c) etológico (son sustancias que sirven para interferir con los procesos de vida de las plagas, entre ellas se destacan las pantallas de colores pegajosas, feromonas y kairomonas).

Debido a la diversidad de micro climas en nuestro país, se hace difícil aplicar una estrategia única de control, por lo que el monitoreo periódico de los cultivos es fundamental para actuar en forma efectiva en el momento que las plagas son más susceptibles, o bien, el cultivo se encuentra en un periodo de sensibilidad.



A continuación se mencionarán las plagas más comunes que se presentan en este sistema de producción, principalmente en los cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y chile (*Capsicum* sp.); sin embargo, algunas de estas plagas también afectan otros cultivos que se siembran en estos módulos como el caso de los áfidos en la lechuga, los lepidópteros con la brócoli entre otros. También es importante considerar que el manejo de las plagas varía según el tipo de ambiente protegido seleccionado, ya que no es lo mismo manejar plagas en un invernadero provisto con cobertura plástica y paredes de malla anti-insecto que en un invernadero con cobertura parcial de plástico y malla.

1.1 PLAGAS MÁS COMUNES EN AMBIENTES PROTEGIDOS

El ambiente que se genera bajo la cubierta plástica puede beneficiar el desarrollo de algunas plagas. Las condiciones que las favorecen están relacionadas principalmente con la temperatura, luminosidad y humedad, pero también con factores del sistema de cultivo, como el tipo de sustrato o suelo, nutrición, riego, variedades, etc. Por lo anteriormente dicho es importante que el responsable del sistema de producción tome las medidas de manejo correspondientes para prevenir cualquier condición adversa que predisponga la planta y la haga susceptible al ataque de plagas.

1.1.1. MOSCAS BLANCAS: *Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum* Homoptera: *Aleyrodidae*.

Estos insectos se encuentran desde los 0 hasta los 1.400 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) causando daños directos (extracción de savia, que debilita las plantas) e indirectos (formación de fumaginas (*Capnodium* sp.), vector de varios tipos de virus: geminivirus, begomovirus, carlavirus, luteovirus, nepovirus, potyvirus, closterovirus y alteraciones fitotóxicas (síndromes).

El manejo de esta plaga se inicia conociendo los hábitos y el ciclo de vida. Se deben considerar como vectores, con el fin de afrontar las epidemias virales, determinar las variedades resistentes a virus, conocer la relación densidad adultos/incidencia viral, los movimientos diarios de la plaga, etc., con el fin de intensificar las medidas fitosanitarias a tomar.

Es importante hacer uso de estrategias preventivas, como eliminar rastrojos y manejar los hospederos alternos, para evitar el contacto entre la mosca blanca y la planta durante el período crítico de crecimiento; el cual, en algunos cultivos coincide con la etapa de almácigo, como por ejemplo el caso del tomate (Hilje, 2008).



Con esta finalidad se utilizan medios de exclusión física del vector como las mallas finas de poro de 50 mesh (50 x 25 filamentos por pulgada cuadrada), Biorete 20/10, Tildenet IN50, Bionet de 20x10 hilos por cm², en las ventanas laterales y cenital. Estas mallas ayudan a prevenir el ingreso de la plaga al invernadero y por ende disminuir las poblaciones.

El uso de trampas amarillas pegajosas en lugares estratégicos del módulo, como entradas y orillas de las siembras, permite detectar la posible presencia de la plaga y la magnitud de su población; permitiendo evaluar el riesgo en la nave o parcela y la implementación de una estrategia de control.

Entre los controladores biológicos que se pueden utilizar está el depredador *Nesidiocoris tenuis* y el parasitoide *Encarsia formosa*.

1.1.2 GUSANO ALFILER: *Keiferia lycopersicella* (Walsingham) Lepidoptera: Gelechiidae.

Esta plaga afecta al cultivo de tomate. Se presenta en las etapas fenológicas de crecimiento vegetativo, floración y fructificación, en diferentes estadios (huevo – larva - pupa - adulto). Las larvas adhieren las hojas recién formadas y minan los folíolos; en ocasiones se desplazan hacia los racimos florales y frutos jóvenes.

Las poblaciones de esta plaga se incrementan en ambientes secos y calientes. Es necesario revisar las plantas en busca de huevos, observar primeros síntomas (hojas perforadas, minas o galerías de forma irregular, epidermis translúcidas, manchas moradas, deformación de hojas, frutos con minas), además localizar los adultos activos. Los productos insecticidas logran un control adecuado cuando se aplica a larvas de primer estadio (pequeñitas) (Corrales, 2008).



FOTO 34



Larva de *Keiferia lycopersicella*

1.1.3 GUSANOS DEL FRUTO DE TOMATE: *Helicoverpa zea*, *Heliopsis virescens*, *Spodoptera* spp. Lepidoptera: Noctuidae.

Estos lepidópteros pueden atacar desde el almácigo hasta la cosecha, destruyendo el mesófilo foliar, barrenando brotes y/o perforando frutos. Una de las formas de control biológico consiste en realizar liberaciones semanales de 30.000 avispitas *Trichogramma* por hectárea, usar trampas con melaza y aplicar al follaje productos a base de *Bacillus thuringiensis*.

Para capturar las polillas adultas se utilizan trampas de luz (Fotos 35 y 36), que consisten en una bombilla de luz blanca de bajo consumo y unas placas adhesivas azules (Diseño de la Dirección de Sanidad Vegetal de Murcia, España). Las trampas se colocan en la noche por un tiempo mínimo de 6 horas o toda la noche. Durante este tiempo las bandas y zonas de ventilación deben estar bien cerradas, para que elimine los insectos que se encuentran en el interior del invernadero, sin que se ejerza un efecto de atracción de los insectos que se encuentran afuera.



Se utiliza una trampa por invernadero de 1.000 m², 2 trampas entre los 1.000 a 3.000 m², 3 trampas entre los 3.000 a 5.000 m², 4 trampas de 5.000 a 10.000 m² y más de 10.000 m² 4 trampas/ha.

El uso de feromonas sexuales de los insectos como alternativa de manejo (feromona: sustancia química o mezcla de sustancias químicas que emana un organismo y que induce una respuesta en otro individuo de la misma especie) ayudan en la captura de insectos adultos de una determinada especie. Estas se pueden utilizar para monitorear poblaciones, lo cual consiste en determinar y cuantificar la presencia de insectos en determinado cultivo, almacén o granero. Es una herramienta de lectura para decidir la aplicación de otra técnica de control (Ej: Control químico o biológico) y sirve para predecir el periodo de un ataque de larvas o insectos adultos con certeza o para la captura masiva, que es el uso de un gran número de trampas en un área de cultivo para reducir una población significativa de insectos, ya sea machos, hembras o ambos.



Trampa de luz utilizada en invernaderos de Murcia (España).
Fotos R, León.

1.1.4 PICUDO DEL CHILE: *Anthonomus eugenii* Coleoptera: Curculionidae.

Este tipo de insecto causa daños al fruto lo que favorece el ingreso del hongo *Phytophthora capsici*, quien causa la llamada "secadora", que inicia con una marchitez de la planta, luego provoca el aborto de flores y frutos, para finalmente secarse completamente. Lo



anterior hace que se deban tomar medidas de manejo del riego, ya que si una planta enferma esta al inicio del surco, el agua que hace contacto con ella se lleva las esporas del hongo y lo disemina por toda la era o módulo del ambiente protegido.

El principal manejo de esta plaga se inicia con la recolección de frutos caídos, en caso de persistir la presencia y daño del insecto utilizar un insecticida como el Fipronil recomendado para la plaga y el cultivo, por el Servicio Fitosanitario del Estado.

1.1.5 TRIPS: *Frankliniella occidentales* Thysanoptera: Thripidae.

Es un insecto capaz de colonizar una gran variedad de plantas. Se conoce como transmisor del virus del “bronceado del tomate” (Tomato Spotted Kilt Virus= TSWV). Los huevos son puestos en hojas próximas a los botones florales y las larvas emigran a las flores del cultivo. La población aumenta en la época seca. Las liberaciones de los depredadores *Amblyseius* spp. Combinados o no con las de *Orius* sp., podrían llegar a proporcionar resultados aceptables de control en algunos cultivos de invernadero. Las trampas pegajosas de color azul ejercen buen control de los adultos, evitando la ovoposición en las plantas.

1.1.6 ÁCAROS: *Poliphagotarsonemus latus* Acari: Tarsonemidae.

El daño por este ácaro se aprecia como un raspado de color bronceado característico en el envés de la hoja y detención del crecimiento de las plantas. En plantas de tomate afecta los tallos tiernos, brotes terminales y axilares, hojas jóvenes y frutos recién cuajados. Las flores abortan o dan lugar a frutos deformados y suberizados en las partes afectadas. Las yemas terminales y axilares se pierden o bien se producen brotes retorcidos, dando aspecto general de arrollamiento. La planta toma un aspecto grisáceo a plateado, luego se necrosa y termina por secarse.

El uso de controladores naturales como los ácaros *Amblyseius mundos*, *Amblyseius californicus*, chinches de los géneros *Anthocoris* y *Orius* (depredadores de larvas y adultos) y crisópidos como *Chrysopa carnea* entre otros, disminuye significativamente la población del ácaro (*P. latus*) dentro del invernadero.

Una vez finalizado el cultivo o previamente a la nueva siembra, se debe higienizar las estructuras del invernadero ya que pueden ser refugio de ácaros del cultivo anterior. También se deben manejar las arvenses (especies vegetales que conviven con el cultivo)



que puedan servir de hospedantes dentro y fuera del invernadero y limpiar aquellas áreas que son afectadas por el polvo porque esto sirve de refugio a los ácaros aumentando las poblaciones.

Los productos utilizados en el control químico de los ácaros suelen ser plaguicidas de amplio espectro que lógicamente tienen un efecto adverso sobre los enemigos naturales no solo de los ácaros sino de otros fitoparásitos. En la fase de huevo son muy resistentes a tratamientos con acaricidas, en caso de ser necesario su empleo, es conveniente tratar cuando se observen los primeros daños y repetir la aplicación entre los tres y cinco días para conseguir una mayor eficacia con un producto específico para la plaga y el cultivo.

1.1.7 ÁFIDOS: *Aulocarthum solani*, *Aphis gossypii*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Myzus persicae* Homoptera: Aphididae.

El daño se produce cuando el insecto inyecta saliva en los tejidos de las plantas con el estilete, transmitiendo algunos virus. Los áfidos se concentran por lo general en el envés de las hojas tiernas y los puntos de crecimiento, por lo que una vez que se confirma la transmisión viral se deben realizar aplicaciones con productos selectivos aún cuando las poblaciones no alcancen niveles importantes, estas aplicaciones deben ser dirigidas a los parches o donde se agregan los insectos y no en forma generalizada ya que hay que conservar y/o liberar enemigos naturales que regulen estos áfidos y desarrollar métodos de control biológico basados en la conservación de esta fauna biológica nativa o introducida al invernadero ya que este sistema de producción es más estable, lo que permite un mejor manejo de esta plaga y un menor costo económico y ambiental. Se pueden colocar plantas de avena a la orilla de las hileras, en las cuales se refugian los áfidos y ahí llegan los parasitoides a depositar los huevos o a depredarlos; esta práctica permite aumentar la fauna benéfica aún en ambientes no cubiertos totalmente.

1.1.8 *Ceratitis capitata* Wied Diptera: Tephritidae

Aunque esta especie no es plaga ordinaria de los cultivos manejados en ambientes controlados, el USDA ha implementado una regulación fitosanitaria para exportar chile dulce y tomate a los Estados Unidos (Ver Anexo 1)



1.2 Algunas recomendaciones generales del uso de agroquímicos en cultivos protegidos

- Utilizar los productos recomendados/registrados por el Servicio Fitosanitario del Estado (MAG) o autorizados para el combate de la plaga en los cultivos que se pretenden proteger.
- Respetar las indicaciones expresadas en las etiquetas de los envases y, sobre todo, los plazos de seguridad.
- Realizar las aplicaciones procurando una distribución uniforme del producto.
- Realizar las aplicaciones basadas en la distribución de la plaga en el cultivo.
- Alternar materias activas con formas de acción diferentes para evitar la aparición de resistencias.
- Como bien indican Montserrat *et al*, sf. el uso frecuente de un mismo producto puede implicar una "acumulación de residuos en la parcela y dificultar la instalación de enemigos naturales, aun respetando los tiempos de espera establecidos desde la última aplicación.

2. ENFERMEDADES

Las enfermedades en cultivos de invernadero pueden ser causados por hongos, bacterias, virus y nematodos. Los patógenos fúngicos suelen ser la principal causa de enfermedades, siendo los géneros más frecuentes *Fusarium*, *Pythium* y *Phytophthora*, entre las de origen de suelo (Gómez, 1994).



Los factores climáticos inciden directamente sobre el desarrollo y propagación de enfermedades, por lo que un manejo adecuado del medio ambiente, en el interior de las estructuras bajo cobertura plástica, es la primera medida preventiva para reducir la presión de estos organismos. Esto se logra gracias a la eliminación del salpique de gotas de lluvia, la escorrentía y el control de la humedad relativa; así como la disminución en la condensación del vapor de agua contenido en el aire (punto de rocío). Otro factor ambiental importante que influye en el desarrollo de enfermedades es la temperatura, que en el interior de los invernaderos suele ser más elevada que en el exterior, limitando la propagación de algunas enfermedades (*Cladosporium*, *Peronospora*) o favoreciendo la expansión de otras (*Pythium*, *Phytophthora* (Foto 37), *Alternaria*); en general los hongos de suelo se ven favorecidos por altas temperaturas (Louvet, 1984).

FOTO 37



Plantación de tomate en invernadero con severo ataque de *Phytophthora infestans* (Cañas, Guanacaste).



La elevada humedad relativa (por encima del 80%) por un tiempo considerable, aumenta la esporulación de los hongos y la propagación de bacterias. La presencia de una lámina de agua en la superficie de la hoja por efecto del punto de rocío, también favorece la infección de éstos patógenos; por ello es de suma importancia tener eficientes tasas de ventilación para eliminar los excesos de humedad y secar el agua en el follaje del cultivo (ver capítulo III, punto 2.2.2.1).

TABLA

9

ENFERMEDADES MÁS COMUNES EN INVERNADERO.

HONGOS.

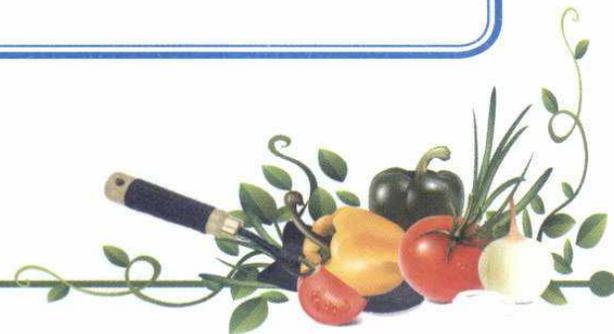
Pudrición basal del tallo (*Phytophthora capsici*)
 Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)
 Tizón temprano (*Alternaria solani*)
 Mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*)
 Pudrición de la raíz y el tallo (*Fusarium sp*, *Phytium sp*, *Rhizoctonia sp*)
 Moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*)
 Botrytis (*Botrytis sp*)
 Oídio (*Oidiopsis taurica*)

BACTERIAS.

Pringue bacterial (*Pseudomonas syringe*)
 Marchitez bacterial (*Pseudomonas solanacearum*)
 Mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris*)
 Pudrición del tallo (*Erwinia carotovora*)

VIRUS.

Mosaico amarillo del tomate (ToYMV) (vector: *Bemisia tabasi*)
 Mosaico del tabaco (TMV) (habita en el suelo y vectores)
 Virus Y de la papa (PYV) (vector: áfidos)
 Virus del mosaico del pepino (CMV) (vector: áfidos)



2.1. ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE LAS ENFERMEDADES

Cualquier práctica de manejo para el control de enfermedades en invernaderos, debe concebirse a través de un análisis económico para determinar que los gastos no superen los beneficios, recordando que uno de los mayores cuidados para la prevención de enfermedades en los cultivos, es la higiene del personal y equipos de trabajo. A continuación se presentan una serie de estrategias para el manejo fitosanitario dentro del invernadero.

2.1.1. PRÁCTICAS CULTURALES

Las prácticas culturales se refieren al uso de técnicas de manejo para mejorar la producción de cultivos. Entre las de mayor interés, cabe destacar la elección de una semilla sana, manejo adecuado del riego, buena calidad del sustrato, podas de tejidos viejos, solarización del suelo, un óptimo control de la humedad relativa no superando el 80%; así como la práctica de injertar, cuyo fin es obtener plantas con mayor resistencia a enfermedades producidos por hongos de suelo (Foto 38).

En estas prácticas se incluyen todas las modificaciones del ambiente que se puedan realizar para mejorar las condiciones de crecimiento del cultivo y empobrecer los recursos que la plaga o enfermedad pueda sustraer del ecosistema para su beneficio y ataque al cultivo (Bolaños, 1998).



FOTO 38



Trabajadora injertando plántula de tomate de alta productividad en un patrón del mismo género tolerante a hongos de suelo. (Pilonos de Antigua, Guatemala).

2.1.2. CONTROL POR RESISTENCIA GENÉTICA

El desarrollo de cultivares con alto nivel de tolerancia o resistencia a plagas, virus, hongos o nematodos, es un eficaz método indirecto de lucha (Castilla, 2005).

Para determinar la tolerancia o nivel de resistencia de materiales genéticos contra plagas y enfermedades; así como su comportamiento bajo las condiciones ambientales que se generan en una estructura bajo cobertura plástica, se deben hacer evaluaciones simultáneas de varios cultivares para conocer el potencial productivo y comparar los niveles de resistencia o tolerancia; así como su adaptabilidad al medio de producción.



2.1.3. CONTROL BIOLÓGICO

La Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB) define el control biológico como “la utilización de organismos vivos, o de sus productos, para evitar o reducir las pérdidas o daños causados por los organismos nocivos”. Desde este punto de vista se incluyen en este concepto no solo los parasitoides, depredadores y patógenos de insectos y ácaros, sino también el de fitófagos y patógenos de malezas así como feromonas, hormonas juveniles, técnicas autocidas y manipulaciones genéticas (Ceballos, 2006).

Ventajas del control biológico (Tejada, 1982; Summy and French, 1988)

- Poco o ningún efecto nocivo colateral de los enemigos naturales hacia otros organismos incluido el hombre.
- El desarrollo de resistencia de las plagas al uso de control biológico es poco común.
- Con frecuencia este programa de control es a largo plazo, llegando a ser permanente.
- El tratamiento con insecticidas es reducido en forma significativa.
- La relación beneficio/costo es muy favorable, calculándose un retorno en dinero aproximado a una relación de 30/1 (DeBach, 1977 y Hokkanen, 1985).
- Evita plagas secundarias.
- No existen problemas con intoxicaciones.

Inconvenientes del control biológico (Ceballos, 2006).

- Ignorancia sobre los principios del método (proceso escalonado de conversión agroecológica que deben proveer las condiciones medioambientales necesarias para el desarrollo de enemigos naturales).
- Se necesita personal especializado, con conocimiento en regulación natural de plagas.
- Enemigos naturales más susceptibles a los plaguicidas que las plagas.
- Los resultados del control biológico a veces no es tan rápido como se espera.



La utilización de controladores biológicos para organismos fitopatógenos se ha desarrollado mucho menos que en organismos entomopatógenos. La utilización de *Trichoderma* contra *Pythium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* ha sido un agente de biocontrol efectivo (Elad, 1999).

1.1.4. CONTROL QUÍMICO

Aunque el control químico es el método de prevención más generalizado por nuestros agricultores, se debe tener en cuenta que el uso irracional de plaguicidas acarrea una serie de inconvenientes como el desarrollo de resistencias de las enfermedades a los productos químicos, residuos y contaminación ambiental. Por lo tanto, el enfoque del manejo de enfermedades debe orientarse a través de un control integrado.

1.1.4.1. DESINFECCIÓN QUÍMICA DEL SUELO

Cuando se repiten continuamente los ciclos de cultivo sembrados en suelo bajo invernadero se corren mayores riesgos de infecciones por hongos, bacterias y nematodos.

Previo a la desinfección se deben eliminar todo tipo de restos de la plantación anterior incluyendo las raíces. Debe roturarse hasta una profundidad de 40 cm, humedeciéndolo posteriormente varias veces, para activar a los agentes patógenos como hongos, bacterias y otros. En ese estado, son más sensibles al tratamiento. El suelo debe estar bien desmenuzado, ya que los terrones debido a su compactación reducen la expansión del desinfectante y por consiguiente su correcta distribución por el terreno (Bar-Am, 2002).

A través de un control integrado se deben utilizar productos químicos de poca persistencia en el suelo, para dar oportunidad a que reingresen organismos beneficiosos a la zona tratada y disminuir el desarrollo de enfermedades.

1.1.4.2. APLICACIÓN FOLIAR DE PLAGUICIDAS

El objetivo de los sistemas de aplicación de plaguicidas, radica en desarrollar estrategias para el control de enfermedades, tomando en cuenta la distribución de estos productos en las zonas de cultivo afectadas, en el momento que el patógeno es más susceptible, mediante un consumo y contaminación mínimo; así como con un máximo de eficiencia, tanto económica como ambiental. (Jarvis, 1998).

Las actualizaciones en los reglamentos de productos que se pueden utilizar y las resistencias que desarrollan los organismos fitopatógenos dificultan dar recomendaciones sobre productos específicos. Por lo tanto, la aplicación de cualquier producto químico para



el control de enfermedades debe seguir las recomendaciones del fabricante y regente agrícola, empleándose en el momento indicado o dicho de otra forma cuando el patógeno este en una fase de desarrollo más susceptible.

Los equipos y métodos de aplicación de los plaguicidas influyen en la eficiencia del control de cualquier enfermedad. Si se utilizan bombas de espalda de motor el tamaño de la gota pulverizada debe ser intermedio, en busca de una buena cobertura y poca dispersión.

Además otro detalle importante a tener en cuenta es la calidad del agua que se utiliza para diluir los productos químicos, ya que la mayoría tienen un óptimo funcionamiento a pH entre 4,5 y 5,5, lo que en muchos casos amerita agregar un acidificante en el caso de tener aguas alcalinas (aguas con pH superior a 7,6).



CAPÍTULO VII

POSCOSECHA

En este capítulo se presentan algunos conceptos básicos sobre el manejo poscosecha de los principales cultivos hortícolas que se producen bajo ambientes protegidos en nuestro país. Entre ellos están: Recolección y manejo de la cosecha, temperaturas de refrigeración, etc. Este tema tiene como propósito ubicar al lector en la importancia que tiene el manejo adecuado de las cosechas una vez recolectadas, para disminuir las pérdidas de producto, prolongar la vida útil, conservando los atributos de calidad y valor nutricional.

1. MANEJO POSCOSECHA

Cualquier cultivo percedero, una vez cosechado inicia un proceso paulatino de merma en la calidad, influenciado por condiciones ambientales, manejo y cuidados en la recolección en campo. Las pérdidas poscosecha de los productos hortícolas frescos suelen superar el 25% de la producción total y son debidas al inadecuado control de los procesos físicos, fisiológicos y microbiológicos durante el almacenamiento y comercialización (Lioutas, 1988).

Capacitar a los trabajadores que realizarán la cosecha y manipulación de los cultivos es fundamental para evitar daños, como rasgaduras y golpes, muy comunes cuando lanzan bruscamente los productos a las unidades de recolección. Además se debe contar con instalaciones acondicionadas para lavar los productos, que incluyan lavamanos.



El periodo de conservación de los productos agrícolas varía según el órgano comestible, clasificándose en tres grupos:

- a) Frutos: (chile dulce, tomate, pepino, melón, etc.)
- b) Estructuras vegetativas: hojas (lechuga, espinaca, culantro, etc.), tallos (apio), flores (coliflor, brócoli, etc.)
- c) Estructuras subterráneas: raíces (zanahoria, yuca, etc.), tubérculos (papa, ñame, etc.)

Los frutos y estructuras subterráneas son órganos especializados de almacenamiento de reservas de carbohidratos sintetizados en la fotosíntesis (fotosintatos), mientras que las estructuras vegetativas presentan menor capacidad en este aspecto, limitando su calidad en periodos cortos de tiempo.

La conservación y calidad de los tejidos vegetales están asociadas con la nutrición de las plantas. Así, por ejemplo, una adecuada relación nitrógeno:potasio durante todo el ciclo de producción en el cultivo de tomate desarrollará plantas con un buen equilibrio entre el follaje y los frutos, siendo estos de un adecuado calibre y menos propensos a quemar por el sol.

Las variaciones en la pérdida de agua por efecto de la evaporación y proceso de respiración, según el órgano cosechado de la planta, hace que el manejo poscosecha varíe de un cultivo a otro. El objetivo final es mantener la calidad del producto el mayor tiempo posible.

A continuación se detallan algunos aspectos en el manejo poscosecha para los cultivos más sembrados en nuestro país bajo ambientes protegidos.

1.1 MANEJO POSCOSECHA DEL CHILE DULCE

La cosecha se debe realizar en las primeras horas de la mañana una vez que el rocío sobre la piel del fruto haya secado, pero antes que se empiece a calentar el día (Bar-Am, 2002). Una vez recolectada la cosecha se debe poner inmediatamente bajo la sombra para evitar que una acelerada transpiración los vaya a deshidratar.



El chile dulce es un producto climatérico (continúa la maduración después de la cosecha), por lo que la determinación del momento indicado de la recolección, contemplando el traslado a los centros de comercialización, es fundamental para prolongar la vida útil (en anaquel) con un producto de buena calidad. Según Bar-Am (2002) en Israel, cuando se comercializan frutos destinados a los mercados distantes, la cosecha se realiza cuando el 70% de la superficie haya cambiado de color, mientras que cuando las distancias son cortas y las temperaturas no muy altas, se cosecha cuando el 90% de la superficie de los frutos haya cambiado de color. En la foto 39, se ejemplifica la cualidad que tiene el chile dulce para recolectarse en una fase de pre-maduración y finalizar el proceso después de la cosecha.

FOTO 39



Maduración de un cultivar de chile dulce producido bajo invernadero, siete días después de la cosecha. (Foto cortesía M. Castro).

Un estudio efectuado por Castro *et al* (2007) para caracterizar 10 cultivares de chile dulce tipo "bloky" después de la cosecha, producidos bajo invernadero en la región de Tucurrique de Jiménez, obtuvo como resultado pérdidas de peso en siete días desde un 7% hasta un 14%, almacenando el producto entre 20 y 21°C. Los materiales que presentaron el mayor porcentaje de pérdida de peso, fueron los que al final del periodo de evaluación mostraron el menor porcentaje de firmeza, pues se mostraban flácidos.

Cooper (1993) indica que los chiles verdes (inmaduros) se logran almacenar hasta por tres semanas en cámaras frías con temperaturas entre 7 y 10 °C, con 90 a 95% de humedad relativa, mientras que los rojos (maduros) se deben mantener entre los 4 y 7 °C y con 90 a 95% de humedad relativa, con el fin de reducir las pérdidas de agua desde el interior del fruto.



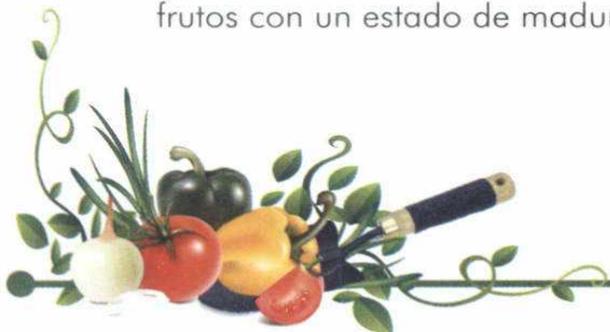
1.2 MANEJO POSCOSECHA DEL TOMATE

Debido a su alto contenido de agua, los frutos de tomate son más delicados en su manejo en comparación con el chile dulce, por lo que su tiempo de almacenamiento es más limitado aún bajo refrigeración. Las fisuras o magulladuras en la superficie favorecen la entrada de hongos fitopatógenos (*Botrytis sp*, *Alternaria sp*, *Cladosporium sp*, etc.) y bacterias (*Erwinia sp*), los que ocasionan pudriciones que muchas veces en el embalaje del producto se transmiten de un fruto a otro.

Según Bar-Am (2002) para reducir estos problemas se debe realizar el siguiente manejo después de la cosecha.

- Comenzar a cosechar en las primeras horas de la mañana.
- Cosecha de fruto en un color adecuado según el destino.
- Eliminar el pedúnculo, restos de hojas y ramas luego de la cosecha.
- Colocar frutos en recipientes plásticos con acolchado y evitar excedente de peso en el mismo para no apretar los frutos.
- Evitar sobrellenado de las cajas, para que al colocar la caja superior, no dañe el tomate de la caja de abajo.
- Separar frutos fisurados y podridos durante la cosecha en un recipiente aparte.
- Evitar, después de la cosecha, el calentamiento de frutos cortados. Los recipientes cosechados se concentrarán en un lugar sombreado hasta que se transporten al acopio.
- Sanidad y limpieza del centro de acopio.

Cuando se recolecta en un estado previo a la maduración, el tomate sufre un aumento en la tasa de respiración, permitiendo ser madurado durante su comercialización (cultivo climatérico). El momento oportuno de la cosecha se efectúa según el mercado de destino; así por ejemplo el tomate denominado de mesa, se cosecha en un estado inmaduro (verdemaduro), contemplando los tiempos de transporte y exposición en anaquel. La mayoría de híbridos de tomate de mesa sembrados en invernadero por lo general son del tipo conocidos como de larga vida (alargan patrón de maduración del fruto), muy aceptados en nuestro país, aún con su simpleza de sabor. Otros destinos como la industria necesitan frutos con un estado de madurez fisiológica más avanzado.



Kader *et al* (1985) indican que las temperaturas de refrigeración para los frutos verde-maduros debe ser entre 12,8 y 15,6 °C, para los parcialmente maduros entre 10 y 12 °C y los maduros entre 7 y 10 °C con una humedad relativa de 90 – 95%.

1.3 MANEJO POSCOSECHA DEL PEPINO

La cosecha del pepino se debe realizar en las primeras horas de la mañana, antes que aumente la temperatura ambiental. Debido a la alta permeabilidad de la piel del pepino, la pérdida de agua en estos frutos después de la cosecha es muy rápida, generando marchitez, decoloración y disminución en la firmeza, haciendo que la calidad del producto decaiga velozmente.

Dependiendo del mercado y cultivar de pepino producido, el manejo está orientado en evitar una deshidratación acelerada del fruto durante el transporte para preservar la frescura y calidad. Por ejemplo los pepinos tipo “holandés” y/o “seedless” que son consumidos en el mercado norteamericano y europeo, los frutos se deben recubrir con una lámina plástica. Esto evita una deshidratación acelerada, aumentando el tiempo de exposición en anaquel con un producto de buena calidad.

Otra técnica para mantener una óptima calidad del producto, sobre todo los de exportación que deben recorrer largas distancias, es pre-enfriar los frutos una vez cosechados. Para tal fin una de las técnicas más empleadas es el uso de aire forzado cuyo objetivo es realizar una rápida remoción del calor en la superficie del pepino, llevándolo a temperaturas entre los 10 y 15 °C en un corto periodo de tiempo, dependiendo de la temperatura de los frutos luego de la cosecha. Este sistema no debe exceder temperaturas de pre-enfriado por debajo de los 7 °C, ya que pueden producir quemaduras en la superficie, debido a que las hortalizas procedentes de invernadero son todas muy sensibles a las bajas temperaturas en especial las cercanas a la congelación (Wang, 2003).

La temperatura óptima de conservación del pepino de invernadero es de 12 a 13 °C, pues temperaturas inferiores provocan amarillamiento del fruto y las temperaturas altas aceleran su respiración y deshidratación (Chaux *et al*, 1994).



1.4 Manejo poscosecha de la lechuga americana

La cosecha de la lechuga se inicia cuando la compactación de las “cabezas” es consistente, situación que varía según la variedad y las condiciones agroclimáticas de cada región. La recolección se debe iniciar en las primeras horas de la mañana e inclusive muchos agricultores lo hacen antes que salga el sol, para evitar que el producto se vaya a deshidratar en exceso.

La deshidratación de la lechuga se debe a que las hojas siguen transpirando luego de la cosecha, lo que la hace más susceptible a presentar daños mecánicos (rompimiento de la nervadura de la hoja), decaimiento, oscurecimiento del tallo, pérdida de peso y decoloraciones indeseables por causas fisiológicas (Quintero et al, 2000). Es por ello, que el manejo poscosecha debe ser sumamente rápido, el producto se debe trasladar a la zona de lavado, para efectuar una limpieza general de las hojas, eliminando las dañadas y acopiando el producto limpio en cajas plásticas, para su transporte al mercado o algún sistema de refrigeración.

Si las lechugas no se van a comercializar de inmediato o su destino es la exportación, el producto se debe colocar en cámaras de refrigeración para disminuir los diversos procesos fisiológicos especialmente la respiración y la transpiración. Temperaturas entre 0 y 2 °C, con humedad relativa entre 90 al 98%, garantiza el mantenimiento de la calidad durante dos semanas (Tompson et al, 2003). Temperaturas menores a los 0 °C producen quemaduras en las hojas, originando un oscurecimiento y rápido deterioro del producto.

En lechugas tipo americana, las mayores pérdidas que se producen desde la cosecha hasta el mercado, se deben principalmente por daños mecánicos al momento de la cosecha, consecuencia de una deficiente manipulación del producto y por pudriciones ocasionadas por la inoculación en el sistema de cultivo de *Sclerotium* sp y *Erwinia* sp.





ANEXOS

ANEXO 1.

REGULACIONES PARA EXPORTAR CHILE DULCE Y TOMATE A LOS ESTADOS UNIDOS Y EL SISTEMA DE TRAMPEO.

REGULACIONES PARA EXPORTAR CHILE DULCE Y TOMATE A LOS ESTADOS UNIDOS

Los agricultores que pretenden exportar chile y tomate a los Estados Unidos, deben conocer la regulación vigente para la certificación. Las áreas de producción y empaque de chile y/o tomate, deben estar ubicadas en lugares oficialmente determinados, establecidos y supervisados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en área establecida como de baja prevalencia de moscas de la fruta o se acepta la presencia de la plaga a un nivel inferior del nivel de población especificado (lugar donde una plaga específica se encuentra a niveles bajos y que está sujeta a medidas eficaces de vigilancia, control o erradicación).

Tanto los sistemas productivos, como las emparadoras y exportadores deben someterse al procedimiento de certificación. A continuación se describe el procedimiento de certificación en invernaderos (SFE, 2006).

- A.** Los exportadores y/o productores deberán registrar el invernadero previamente ante el SFE, y ser los responsables de mantener al día su registro. El Certificado Fitosanitario de Operación (CFO) otorgado por el SFE, se debe colocar en un lugar visible en las instalaciones de producción y empaque.
- B.** Los productores deben llevar registros de sus actividades fitosanitarias durante el ciclo de cultivo.



- C.** El invernadero deberá contar con un sistema de doble puerta con cierre automático, de forma tal que impida el ingreso de insectos. Las aberturas y entradas de aire deberán estar cubiertas con cedazo u otro material similar anti-insectos, de 1,6 mm o menos de diámetro o mesh.
- D.** La fruta caída, enferma o de rechazo debe ser removida diariamente en recipientes herméticos fuera del área del invernadero, según recomendaciones emitidas por el inspector del SFE. El chile y/o tomate de rechazo, podrán comercializarse localmente.
- E.** Los recipientes utilizados para recolectar y trasladar el chile y/o tomate del invernadero a la empaedora, deben ser de plástico o de algún otro material no poroso y estar adecuadamente codificados para su identificación. El transporte debe realizarse en vehículo cerrado o con dispositivos que eviten la infestación de los frutos, como cedazo, lona o plástico.
- F.** La fruta que se traslade para ser empacada fuera del área de producción, debe ir adecuadamente identificada con: número de lote, fecha de cosecha, número de registro del productor, variedad, cantidad o cualquier otra información que determine su origen y condición.
- G.** Las áreas protegidas se inspeccionarán para detectar moscas de la fruta u otros insectos vivos. Si estos son encontrados, se deben aplicar las medidas fitosanitarias pertinentes. Se certifica entonces la producción solo en caso de que la inspección sea negativa a la presencia de la mosca de la fruta.
- H.** El SFE instalará y dará mantenimiento semanal a un sistema de monitoreo de Mosca del Mediterráneo, el cual deberá respaldarse con los registros pertinentes manteniéndolos por al menos dos años.
- I.** El SFE mantendrá un sistema de vigilancia para otras plagas según lo establecido en la regulación 7CFR Part. 319 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el cual deberá respaldarse con los registros pertinentes.

SISTEMA DE TRAMPEO

El primer paso a seguir es ponerse en contacto con el Servicio Fitosanitario del Estado del Ministerio de Agricultura y Ganadería, el cual determinará si la zona donde se ubicará o pretende construir el proyecto de invernadero es de baja prevalencia de la mosca de la fruta.

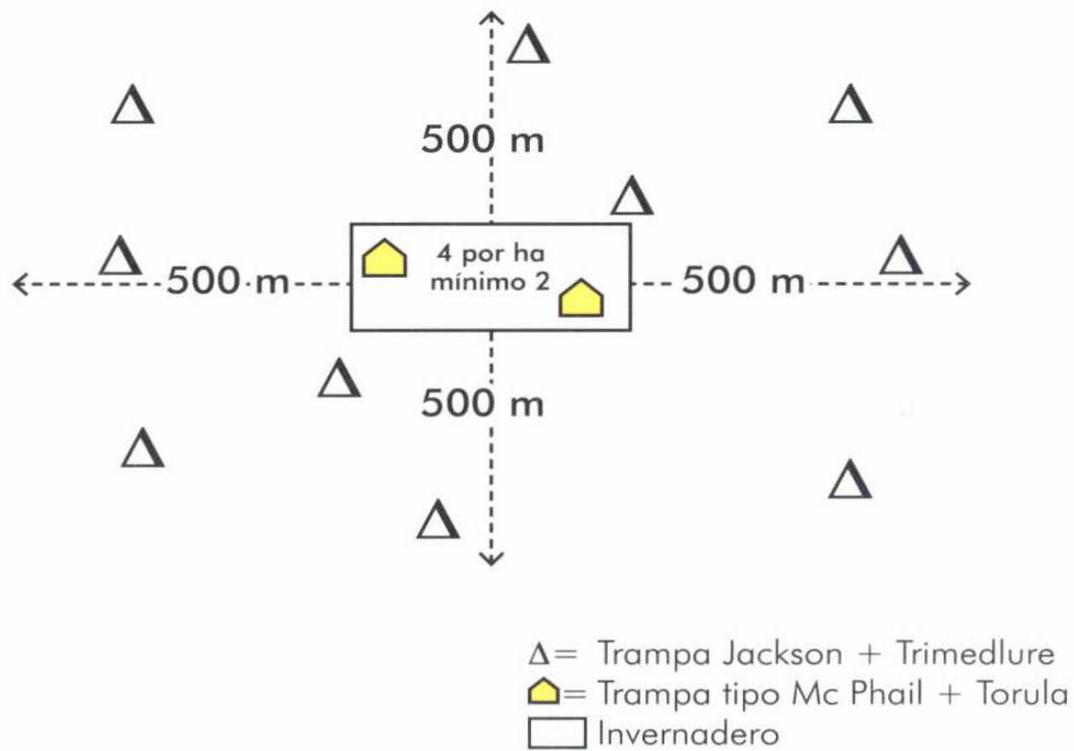


Posteriormente a modo de complemento el SFE en coordinación con las personas interesadas monitorearan las poblaciones de moscas de la fruta tanto dentro del invernadero como a 500 metros alrededor del mismo, mediante un sistema de trapeo el cual se debe instalar al menos dos meses previos a la primera exportación.

Dicho trapeo consiste en colocar dentro del invernadero 4 trampas tipo Mc Phail/ha, el atrayente que se coloca en las trampas es a base de proteína hidrolizada. Fuera del invernadero se colocan 10 trampas tipo Jackson con el atrayente Trimedlure en un área buffer de 500 m alrededor del sitio de producción registrada como se muestra en la Figura 17.

FIGURA 17

DISTRIBUCIÓN GRÁFICA DEL SISTEMA DE TRAMPEO (FUENTE: SFE, 2006).



Si en el momento del muestreo se encuentra una mosca o larva de la plaga dentro del invernadero se da la cancelación inmediata. Por otra parte si se encuentran a 0,7 m fuera del invernadero se suspende o se retrasa la cosecha, es decir cuando el MTS (Mosca / trampas / semana) es de 0,7 o más fuera del invernadero.

El MTD (Moscas/ trampa/ día) se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$MTD = \frac{M}{T \times D}$$

Donde, M = N° de moscas capturadas, T = N° de trampas revisadas y D = Días de exposición (SFE, 2006).

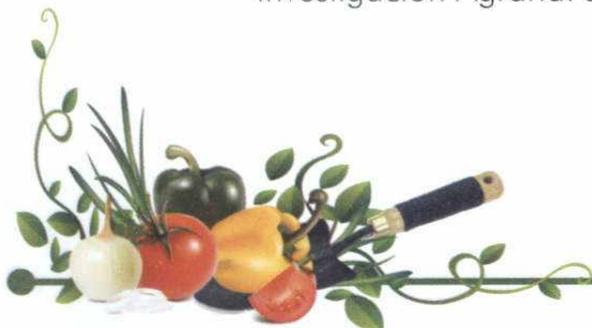


BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA, J. 2003. Memoria curso de formación sobre diseños de invernadero y materiales de cerramiento. CYTED. Alajuela, Costa Rica. pp 169-184.
- AMÉZQUITA, E. 1977. Caracterización y Preparación de Fertilizantes Líquidos para Fertirrigación en: Fertirrigación. Sociedad Colombiana de la Ciencias del Suelo: 107 – 126.
- AYERS, R.S y WESTCOT, D.W. 1976. Calidad del agua para la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje, 29, FAO. Roma, Italia. 174 p.
- BAR-AM, Y. 2002. Producción de cultivos bajo condiciones controladas (Curso). CINADCO. San José, Costa Rica. S.p.
- BOLAÑOS. A. 1998. Introducción a la Olericultura. EUNED. San José, Costa Rica. pp 279 – 290.
- CARRASCO, G.; IZQUIERDO, J. 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (“NFT”). Universidad de Talca (ed.). Talca. pp. 56-90.
- CASTILLA, N. y HERNÁNDEZ, J. 1995. Protected cultivation in the Mediterranean area. *Plasticulture*, 107: 13-20.
- CASTILLA, N. 1998. Tecnología de Invernadero II. Curso Superior de Especialización. Madrid. España. pp 163-175.
- CASTILLA, N. 2002. Current situation and future prospects of protected crops in the Mediterranean región. *Acta Horticulturae*, 582:135-147.



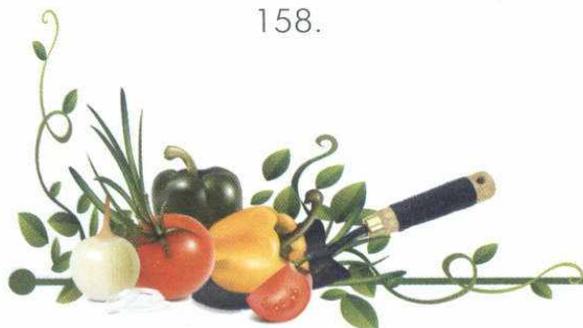
- CASTILLA, N.; HERNÁNDEZ, J.; ABOU-HADID, A. 2004. Strategic crop and greenhouse management in mild winter climate areas. ISHS International Horticultural Congress. Symposium – 16. Toronto. Canadá. *Acta Horticulturae*, 633:183-186.
- CASTILLA, N. 2005. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. pp 25-306.
- CASTRO, M.V; ARAYA, G; MARIN, M. 2008. Caracterización poscosecha de cultivares de chile dulce. En: Memoria Digital del 54 Reunión Anual del PCCMCA. San José. Costa Rica.
- CHAUX, C. and FOURY, C. 1994. Productions légumeries. (Tome 3). Edit. Tec-Doc. París, France.
- COOPER, E. 1993. Cultivo de chile picante (*Capsicum* sp). En: Bolaños, A. Introducción a la Olericultura. EUNED. San José, Costa Rica. pp 120-122.
- CEBALLOS, M. 2006. Control biológico de plagas. Breve reseña sobre aspectos relevantes para su aplicación. Extraído el 17 de febrero del 2009, del sitio web. <http://www.monografias.com/trabajos29/control-plagas/control-plagas.shtml> - 104k.
- CORRALES, G. 2008. Plagas del tomate. En: Taller de Manejo de plagas en el cultivo de tomate. Instituto Nacional de Aprendizaje. San José, Costa Rica.
- DEBACH, P. 1977. Lucha biológica contra los enemigos de las plantas. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 399 p.
- ELAD, Y. 1999. Plant diseases in greenhouses. En: Greenhouses Ecosystem. Stanhill, G., Enoch, HZ. (Eds.). Elsevier. París, France. 191-200.
- ESQUIRA, I. 2002. Producción de cultivos bajo condiciones controladas (Curso). CINADCO. San José, Costa Rica. S.p.
- ESTRADA, G. 1997. Caracterización y Preparación de Fertilizantes Líquidos para Fertirrigación. En: Fertirrigación. Sociedad Colombiana de la Ciencias del Suelo. Colombia. pp 61 – 72.
- GÓMEZ, J. 1994. Enfermedades causadas por hongos de suelo. En: Sanidad vegetal en la horticultura protegida. Moreno R. (Ed.). Dirección General de Investigación Agraria. Junta de Andalucía. Sevilla. pp 277-292.



- HILJE, L. 2008. Manejo de Mosca Blanca. Caso del tomate. En: Memoria Digital del 54 Reunión Anual del PCCMCA. San José. Costa Rica.
- HOKKANEN, H. 1985. Success in classical biological control. *CRC Crit. Rev. Plant Sci* 3: 35-40.
- JARVIS, W. 1998. Control de Enfermedades en Cultivos de Invernadero. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp 117-223.
- KADER, A., KASMIRE, R., MITCHELL, F., REID, M., SOMMER, N., and THOMPSON, J. 1985. Postharvest technology of horticultural crops. Univ. of California. Special Publ. 3311. 192 p.
- LANGHAMS, R. and TIBBITTS, T. 1997. Plant growth chamber handbook. USA. Ed. Iowa State Univ. Press. 240 p.
- LIOUTAS, T. 1988. Challenges of controlled and modified atmosphere packaging. A food company's perspective. *Food Technology*, 42 (9):78-86.
- LÓPEZ-GÁLVEZ, J. 2003. Memoria curso de formación sobre diseños de invernadero y materiales de cerramiento. CYTED. Alajuela, Costa Rica. pp .120-134.
- LOUVET, J. 1984. Effects des facteurs climatiques sur les maladies en cultura légumiere. Dans: *Agrométéorologie et productions légumières*. INRA. Paris, France. pp 183.197.
- MONTSERRAT, D. A.; LACASA, P. A.; GARCÍA, R. P.; NAVARRO, A. M^o D.; HERNÁNDEZ, M. J.; MARTÍNEZ, R. E. s. f. Recomendaciones para el manejo fitosanitario de las plantaciones de tomate. Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, España. 12 p.
- QUINTERO, I. ZAMBRANO, J. CABRITA, M. GIL, R. 2000. Evaluación en campo y postcosecha de nueve cultivares de lechuga *Lactuca sativa* L. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 17:482-491.
- RAMÍREZ, R. 2007. Informe de pasantía realizada en el Instituto de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries (IRTA) sobre Tecnología de Dinámica de Fluidos Computacional. Barcelona - España. Archivos Técnicos del INTA. San José. Costa Rica. pp 3-11.



- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; MEZA, L. 2007. Producción de almácigos de cebolla bajo cobertura plástica en Cañas, Gte. Revista Alcances Tecnológicos del INTA 5(1): 37 – 46.
- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; GAMBOA J. 2009. Evaluación del microclima en invernadero y su interacción con la fisiología de los cultivos en la Región Chorotega de Costa Rica. En: Memoria 55 reunión anual de la sociedad del PCCMCA. Campeche. México. 147 p.
- RINCÓN, L. 1996. Sustratos Agrícolas Propiedades y Manejo, en: III Jornadas de la Fertilización de los Cultivos Agrícolas. AGROCANARIAS 98. España.
- SERRANO, Z. 1994. Construcción de Invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. pp 13-307.
- SERVICIO FITOSANITARIO DEL ESTADO, 2006. Plan de trabajo para la certificación de chile y/o tomate producidos en invernadero bajo un enfoque de sistemas, con destino a los Estados Unidos. Pp 4-11. Extraído el 24 de noviembre del 2009, del sitio web. www.protecnet.go.cr/SFE/FITO/CHILE-TOMATE.pdf
- SORIANO, T; HERNÁNDEZ, J; MORALES, M; ESCOBAR, I; CASTILLA, N. 2004. Radiation transmission differences in east – west oriented plastic greenhouse. ISHS International Horticultural Congress. Symposium – 16. Toronto. Canadá. Acta Horticulturae, 633: 91- 97.
- SUMMY, K. and FRENCH, J. 1988. Biological control of agricultural pest: concepts every producer should understand, J. Rio Grande Valley Hort. Soc, 41: 119-133
- TESI, R. 2001. Medios de protección para la hortofruticultura y el viverismo. Ed. Mundi-Prensa Madrid. 43 p.
- TOMPSON, R. Y GALLARDO, M. 2003. Programación de riego mediante sensores de humedad en suelo. En: Mejora de la eficiencia del uso del agua en cultivos protegidos. Fernández, M., Lorenzo, P., Cuadrado, I. (Eds). Dirección General de Investigación y Formación Agraria, Hortimed, FIAPA. Cajamar. Almería: 375-402.
- URBAN, L. 1997. Introduction a la production sous serre. En: CASTILLA, N. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. pp 147-158.



ZABELTITZ, CV. 1999. Greenhouse structures. En Greenhouse ecosystem. Stanhill, Enoch. (Ed). Elsevier, Ámsterdam: 17-79 p.

ZHIBIN, Z. 1999. Updated development of protected cultivation in mainland China. *Chronica Horticulturae*, 39 (2): 11-18.

WANG, C. 2003. Chilling and freezing injury. En: The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks. Gross, K.C., Yang, C.Y., Salveit, M. (Eds). USDA Agriculture Handbook N° 60. USDA. Washington: 61-65.

WITTEWER, S. Y CASTILLA, N. 1995. Protected cultivation of horticultural crops. *Worldwide Horttechnology*, 5 (1): 6-23.

