

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS.
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN RELACIÓN
AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA.

Agricultura Protegida

ISBN 968-800-541-X



Libro Técnico No. 1

Gómez Palacio, Dgo.

Agosto 2003

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO
RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Sr. Javier Usabiaga Arroyo
Secretario

Ing. Francisco López Tostado
Subsecretario de Agricultura

Ing. Antonio Ruiz García
Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. Juan Carlos Cortez García
Subsecretario del Fomento a los Agronegocios

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

Dr. Jesús Moncada de La Fuente
Director General

Dr. Ramón Martínez Parra
Director General de Coordinación y Desarrollo

Dr. Sebastián Acosta Núñez
Director General de Investigación Agrícola

Dr. Carlos Agustín Vega y Murguía
Director General de Investigación Pecuaria

Dr. Hugo Ramírez Maldonado
Director General de Investigación Forestal

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN
RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Director

Lic. Flor Carina Espinoza Delgadillo
Jefe Administrativo

Agricultura Protegida

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA
EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango, México
Apdo. Postal 41
35150 Ciudad Lerdo Durango
Teléfono y Fax 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34
e-mail: cenid@raspa.inifap.conacyt.mx

El contenido de esta publicación puede reproducirse con fines de divulgación, siempre que se dé el crédito correspondiente a los autores y a la institución.

ISBN 968-800-541-X

CONTENIDO

Prólogo	7
---------------	---

Capítulo 1

Introducción	11
Características generales de los plásticos	12
Materiales plásticos utilizados en la agricultura	13
Propiedades ópticas de los plásticos	21
Comportamiento de los materiales plásticos ante la radiación solar directa (320 a 2,150 nm)	23
Comportamiento de los materiales plásticos ante las radiaciones infrarrojas (opacidad a las radiaciones nocturnas)	26
Algunos efectos de los materiales plásticos sobre el microclima.	27
Referencias	30

Capítulo 2

Introducción	35
Radiación y temperatura	36
Radiación del sol y la tierra	37
Disposición de la radiación solar	39
Balance de energía	41
Balance de energía y agua cercanos a la superficie del suelo	43
El transporte de calor en el suelo	44
Referencias	48

Capítulo 3

Introducción	53
Tipos de almácigos	54
Agentes dañinos	55
Composición del suelo para almácigos en piso	58
Tipos de almácigos o semilleros	60
Cubierta de plástico para túneles al piso	64
Sistema de riego	65
Control de plagas y enfermedades	69
Referencias	70

Capítulo 4

Introducción	75
Ventajas y desventajas de los acolchados con plástico	76
Características de los plásticos para acolchado	79
Tipos de láminas de plástico y su comportamiento espectrométrico	80
Tipos de plásticos a utilizar según las necesidades y duración de los mismos	86
Modalidades del acolchado	87
Epoca de colocación del plástico	95
Recomendaciones generales para el acolchado	97
Referencias	98

Capítulo 5

Introducción	105
Ventajas y desventajas de los túneles	106
Tipo de túneles	107
Anclaje y sujeción de los túneles	109
Características de los túneles	113
Riego y sus diferentes formas de aplicación	114
Ventilación	117
Reglas generales para el semiforzado de cultivos bajo túneles	121
Microtúneles	122
Referencias	126

Capítulo 6

Introducción	131
Definición, finalidad y ventajas de los invernaderos	132
Condiciones que deben reunir los invernaderos	135
Elementos estructurales y materiales empleados	142
Cubiertas plásticas utilizadas en invernaderos	145
Tipos de Invernadero	150
Construcción de invernaderos	152
Control y acondicionamiento del clima	154
Referencias	162

Capítulo 7

Introducción	167
Generalidades	168
Medios de cultivo	170
Propiedades físicas de los sustratos	171
Propiedades químicas de los sustratos	173
Clasificación de los medios de cultivo utilizados en hidroponía	177
Lavado y esterilización del medio de cultivo	184
Solución nutrimental	185
Cálculo y preparación de una solución nutrimental	190
Equilibrio iónico de la solución nutrimental	192
Método de riego	197
Manejo de cultivos	204
Referencias	208

Conclusiones	213
---------------------------	------------

Prólogo

En la actualidad el problema crucial que el sector agropecuario mundial enfrenta es la falta de agua. Es un hecho que la cantidad de agua para actividades productivas no se puede aumentar fácilmente, por lo cual sólo resta hacer un uso más racional de este recurso y así incrementar su productividad, o bien tener mayor cantidad de agua potable desalando el agua del mar. De las dos opciones, la más viable, desde el punto de vista económico, es la primera, por lo que es necesario usar tecnologías que permitan conseguir este fin. El uso de invernaderos, túneles y acolchados con plástico son alternativas para lograr mayor productividad del agua, incrementar la producción de los cultivos así como lograr mayores beneficios económicos.

Con el uso de invernaderos es posible controlar los factores que inciden en la producción de los cultivos. Entre ellos destacan las variables climáticas y las cantidades de nutrimentos requeridos por las plantas. La temperatura y humedad del aire y la cantidad de luz se pueden controlar artificialmente, y la aplicación de fertilizantes solubles a través de sistemas de riego o directamente en soluciones nutritivas se hace en cantidad y tiempo preciso con el fin de lograr una mayor producción. En algunos países como Estados Unidos y España se adicionan cantidades de bióxido de carbono a los invernaderos con el propósito de incrementar la fotosíntesis de las plantas y por ende, los rendimientos.

El uso de túneles y el de acolchado con plástico permiten lograr beneficios similares. Los primeros protegen a los cultivos de las bajas temperaturas y proporcionan al cultivo condiciones favorables para su crecimiento. Con lo anterior es posible tener una producción temprana y lograr mayor precio en el mercado. Por otro lado, mediante el uso de acolchados se modifican las condiciones del suelo y el microclima, que resultan en una reducción de la evaporación del suelo, incrementos en la temperatura de éste, así como alteraciones en los procesos fisiológicos de las plantas.

Investigaciones realizadas en los últimos veinte años como se señala en la presente obra, han conducido a la elaboración de cubiertas plásticas de diversos colores aprovechando el conocimiento de la capacidad de absorber, transmitir y reflejar la radiación solar. Esto es importante en virtud de la disponibilidad de radiación solar distintiva acorde a la georreferencia del lugar de interés. De esta manera, la elección del color del plástico debería ser diferenciada como función de la localidad, tipo de suelo y cultivo principalmente.

El uso de invernaderos, túneles y acolchados con plástico son opciones que los productores y gobiernos no deben soslayar como estrategias para incrementar la productividad del agua, el rendimiento de los cultivos y la rentabilidad de estos. Además de que propician oportunidades de mercado con la característica añadida de productos inocuos que a la par de la agricultura orgánica llegarán a ser partes medulares en los tratados internacionales de comercio.

La presente publicación constituye un esfuerzo conjunto de un grupo de investigadores del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para transferir el conocimiento que se reporta en literatura reciente y también aquel generado tras años de investigación en este Centro. Es la segunda edición corregida y aumentada del Manual de Uso de Plásticos en la Agricultura editado por el antecesor del CENID RASPA, el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR) en 1981.

IGNACIO SÁNCHEZ COHEN
Director del CENID RASPA- INIFAP

Capítulo

1

Propiedades Generales de los Materiales Plásticos

**Ignacio Sánchez Cohen
Ma. Magdalena Villa Castorena
Celina Maeda Martínez**

Introducción

La plasticultura es una tecnología en la producción de cultivos que resulta en un incremento en cantidad y calidad de los productos agrícolas. El plástico en sus distintas presentaciones tiene numerosas aplicaciones en la agricultura; así por ejemplo, se puede usar en invernaderos, túneles, acolchados, mallas, en el control de plagas a través de plásticos fotoselectivos, en el control de enfermedades, en tuberías para riego, entre otras aplicaciones (Greenough, et al., 1990; Robinson, 1991; Jensen y Malter, 1995). Un material plástico puede presentarse bajo formas variadas, tal es el caso del policloruro de vinilo (PVC) flexible y del PVC rígido que se usan en túneles, silos, invernaderos y tuberías, entre otros. El problema reside entonces en elegir el material más adecuado para determinado objetivo y que se aproxime a las necesidades del agricultor, para ello se han de tomar en cuenta las propiedades de los plásticos así como el aspecto económico (Bauman, 1969).

También, debe considerarse la influencia que pueden ejercer las condiciones climáticas sobre las propiedades de los materiales plásticos, que en muchos casos determinan el valor real de ellos. Como un ejemplo, en regiones de 200 días al año de cielo cubierto no es aconsejable el empleo de materiales de colores u opacos a las radiaciones, mientras que en regiones con poca nubosidad es más recomendable utilizar materiales con menor transparencia para limitar la radiación solar incidente (Robledo y Martín, 1981).

Esta y otras consideraciones conducen a la conclusión de que es necesario conocer las propiedades y características de los plásticos, ya que de esa manera se puede hacer una buena elección, así como prever hasta cierto punto el comportamiento futuro de los mismos. En el presente capítulo se discuten las características generales de los plásticos, los materiales plásticos más usados en la agricultura, las propiedades ópticas de ellos, así como algunos efectos de estos sobre el microclima.

Características generales de los plásticos

Los plásticos en general son polímeros formados por una mezcla de moléculas o monómeros, como etileno, cloruro de vinilo, estireno y propileno (Mehrenberger, 1980; Ureta, 1975). Los plásticos que se utilizan en la agricultura con excepción de los poliésteres reforzados con fibra de vidrio o de nailon y las espumas de urea-formol, son termoplásticos, es decir, pueden reblandecerse a temperaturas más o menos altas.

Otra característica común de todos los plásticos es su bajo peso respecto a materiales tradicionales, tales como el vidrio o los metales. Esta característica constituye una gran ventaja por su facilidad de manejo y transporte así como menor exigencia en la resistencia de las estructuras. En el Cuadro 1.1 se muestran las densidades de diversos materiales plásticos.

Cuando los plásticos están en forma de semiproductos (películas, placas, tubos, etc.), o de productos terminados, en su mayoría contienen una serie de sustancias o aditivos tales como plastificantes, estabilizantes térmicos, antioxidantes, absorbentes de luz ultra violeta (U.V.), colorantes, etc. Dado lo anterior, la composición de varios materiales pertenecientes a una misma familia pueden llegar a ser muy diferentes y por tanto, también lo serán sus propiedades y comportamiento (SARH-INIA- PRONAPA, 1985).

Se entiende por materiales artificiales sintéticos o polímeros a las sustancias macromoleculares obtenidas a partir de otras de bajo peso molecular, cuyas moléculas se enlazan en un proceso de polimerización con el fin de formar una molécula gigante (Mehrenberger, 1980). Se utilizan como productos mono moleculares (monómeros) compuestos de bajo peso molecular de la más diversa composición. Entre las sustancias que se emplean técnicamente como monómeros las hay sólidas, líquidas y gaseosas. En las macromoléculas están unidos muchos millares e incluso algunas centenas de millares de moléculas de monómero, según la clase de producto deseado. Las sustancias de alto peso molecular obtenidas presentan propiedades totalmente nuevas, en relación a las sustancias originales que hacen de ellas materiales valiosos.

Cuadro 1.1. Densidad de diferentes materiales plásticos (Díaz *et al.*, 2001).

Material	Densidad (g cm ⁻³)
Poliétileno baja densidad	0.915 - 0.930
Poliétileno alta densidad	0.940 - 0.960
Polipropileno	0.900 - 0.910
Copolímero etileno-acetato de vinilo (EVA)	0.920 - 0.930
Policloruro de vinilo flexible	1.250 - 1.500
Policloruro rígido normal	1.350 - 1.460
Policloruro de vinilo alto impacto	1.340 - 1.400
Poliámidas	1.030 - 1.140
Poliéster/fibra de vidrio	1.500 - 1.600
Polimetacrilato de metilo	1.180
Poliestireno cristal	1.050
Poliestireno antichoque	1.040 - 1.070

De esa manera tiene lugar la polimerización de las olefinas y sus derivados y en parte también a los aldehídos, óxidos de las olefinas, etc. Cuando se polimeriza una mezcla homogénea de olefinas diferentes, se obtiene un polimerizado mixto que puede tener propiedades especiales. La polimerización mixta se llama también copolimerización, y un resultado de ésta lo es el copolímero de acetato de etileno-vinilo (EVA).

Por otro lado, las materias primas se someten a procesos de transformación variados para llegar a obtener los diferentes productos. Por ejemplo, las películas y tuberías se obtienen por extrusión, y los recipientes por inyección. La calidad del producto final depende de que se apliquen o no las condiciones técnicas más adecuadas a cada formulación en los distintos procesos.

Materiales plásticos utilizados en la agricultura

Los materiales plásticos más utilizados en la agricultura son el polietileno (PE), polipropileno (PP) (que juntos forman la familia de las poliolefinas), policloruro de vinilo (PVC), copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA), poliésteres lineales, poliésteres no saturados, polimetacrilato de metilo (PMM), poliestirenos de diversos tipos (PS) y espumas diversas

(Martin, 1976; Robinson, 1991; Matallana y Montero, 1995; Díaz *et al.*, 2001).

Poliétileno (PE).

El polietileno en general se obtiene por combinación entre sí, a muy altas presiones, de las moléculas de etileno, gas extraído de la hulla o del petróleo. El polietileno es probablemente el polímero más popular del mundo. Por ser un material tan versátil, tiene una estructura muy simple, la más simple de todos los polímeros comerciales. Una molécula de polietileno no es más que una cadena larga de átomos de carbono con dos átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono (Universidad del Sur de Mississippi, 1996). En ocasiones, algunos de los átomos de carbono en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se conoce como polietileno ramificado o de baja densidad (PE. b.d.). Cuando no hay ramificación se llama polietileno lineal o de alta densidad (PE a.d.). Este último es mucho más fuerte que el primero; sin embargo, el PE b.d. es mucho más económico, flexible y fácil de hacer, y se utiliza fundamentalmente en la fabricación de películas para acolchado, túneles, invernaderos, embalses y embalajes, y tuberías para riego, edificaciones agrícolas y transporte de agua (Robledo y Martin, 1981; Matallana y Montero, 1995). Los PE a.d. son más rígidos que los PE b.d. debido a que sus moléculas son más lineales a temperaturas por debajo de 0 °C. Su mayor aplicación es especialmente en envases y tuberías para conducción de agua, y como rompevientos.

El descubrimiento y desarrollo del polímero polietileno en la década de 1930 y su subsecuente introducción al mercado en la década de 1950 en la forma de películas plásticas, revolucionaron la producción comercial de varios cultivos, principalmente hortalizas, dándole una nueva faceta a la agricultura (Lamont, 2002).

Polipropileno (PP).

Se obtiene de la polimerización del propileno a bajas presiones y con temperaturas de 100 a 200 °C (Mehrenberger, 1980). Este miembro de la familia de las poliolefinas es el menos denso de todos

($d = 0.9 \text{ g cm}^{-3}$) y el más rígido. Se emplea en la fabricación de bolsas para recolección y transporte, redes para recolección de aceitunas, sacos y cuerdas agrícolas.

Debido a la configuración especial ordenada, el PP es muy cristalino y por tanto su punto de fusión es muy elevado ($164\text{-}170 \text{ }^\circ\text{C}$), posee gran rigidez y dureza superficial. Es el material más frágil a bajas temperaturas de toda la familia de poliolefinas.

Copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA).

Los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA) constituyen una familia de productos que comprende desde productos típicamente termoplásticos similares al PE b.d. hasta productos tipo caucho. Estos materiales se sintetizan por calentamiento suave de etileno y acetato de vinilo en presencia de peróxidos (Los Plásticos en la Agricultura, 2002). El acetato de vinilo (AV) se comporta como una cadena lateral corta que impide la cristalización.

La proporción más común del AV en copolímeros usados en la agricultura oscila entre el 6 y 18 por ciento. Mayor contenido en AV aumenta su opacidad a la radiación infrarroja pero disminuye su resistencia mecánica (López, 2000). Las propiedades de los copolímeros EVA dependen fundamentalmente del peso molecular y del contenido en acetato de vinilo. El peso molecular determina el comportamiento del flujo en estado fundido y las características mecánicas y resistencia química en general, se mide a través del índice de fluidez (Ureta, 1975).

En relación con el PE de baja densidad, al aumentar el contenido de AV en el copolímero, aumentan también las siguientes características y propiedades: densidad, claridad, permeabilidad, solubilidad, flexibilidad a bajas temperaturas y resistencia a la fisuración por tensiones en medio activo, compatibilidad con otras resinas. Por el contrario, disminuye: la rigidez, la temperatura de reblandecimiento y la dureza superficial. Por sus características de flexibilidad y tenacidad, propiedades ópticas y mecánicas, permeabilidad a los gases; los copolímeros EVA o sus mezclas con PE se utilizan en lo siguiente:

- Películas para cubiertas de invernaderos y para túneles de cultivo.
- Envasado de carne fresca ya descongelada.
- Complejos.
- Películas estirables o extensibles.

Policloruro de vinilo.

Se obtiene de la polimerización en autoclave del cloruro de vinilo. Este monómero puede obtenerse del acetileno y del etileno, derivados ambos del petróleo y de la hulla (Mayer, 1978). En esta familia hay que distinguir entre PVC flexible utilizado como en la fabricación de lámina y el PVC rígido, empleado en la fabricación de planchas para abrigos y tuberías para la conducción de agua.

Policloruro de vinilo flexible (plastificado).

Con respecto al resto de los plásticos utilizados en la agricultura, el PVC presenta la particularidad de ser compatible, en grandes proporciones, con diferentes tipos de plastificantes (Robledo y Martín, 1981). La flexibilidad a distintas temperaturas depende del tipo de plastificante y del porcentaje del mismo añadido al compuesto el cual suele variar entre 25 y 70 por ciento. Por tanto, no es difícil comprender que, en el caso del PVC plastificado, es posible utilizar muchas fórmulas para la obtención de películas o de tuberías flexibles. Además de los plastificantes se añaden normalmente otros aditivos en mayor proporción, tales como estabilizantes térmicos, antioxidantes, absorbentes de luz U.V., antiestáticos, lubricantes, entre otros.

El PVC tiene la ventaja sobre el PE normal que es menos sensible a la oxidación incluso cuando se ha plastificado, con la condición de haber elegido bien los plastificantes. La flexibilidad a bajas temperaturas del PVC plastificado, suele ser inferior a la del polietileno, aunque esto depende del tipo y proporción de plastificante. Si se elige adecuadamente el plastificante, se puede ampliar el margen de flexibilidad a bajas temperaturas. Por otro lado, esta posibilidad se ve limitada por algunas consideraciones como durabilidad, volatilidad, ataque por los microorganismos y precio.

No es aconsejable emplear bajos contenidos de plastificante con el propósito de que las películas conserven su flexibilidad a bajas temperaturas. Pero si se añade en exceso se obtienen productos demasiado flexibles a temperatura ordinaria que fluyen demasiado y presentan ciertos inconvenientes desde el punto de vista del envejecimiento del material. Para lograr una duración de varios años, la solución más adecuada la constituye las películas de PVC armadas, que consisten en dos películas superpuestas y soldadas entre sí. Estas incluyen en su interior, en forma de emparedado, una rejilla fabricada de poliamida o de poliéster lineal. El envejecimiento del plástico se manifiesta por la pérdida de transparencia, aparición de color y por fragilidad mecánica.

Estas variaciones se deben a modificaciones del polímero y del plastificante por efecto del calor y de la luz en presencia de oxígeno; también se debe a un fenómeno físico de extracción del plastificante que puede ser provocado por el agua, los suelos absorbentes, los microorganismos o como consecuencia de su volatilidad.

Cuando se manifiesta una cierta fragilidad mecánica ya hay signos visibles de envejecimiento; se forman pequeñas manchas rojizas que se van extendiendo poco a poco hasta ocupar casi la totalidad de la superficie. No obstante, se utilizan estabilizantes de estaño o productos orgánicos sulfurados, la transparencia y ausencia del color pueden mantenerse aunque el plástico sea frágil. La adversidad térmica provoca el desprendimiento de una molécula de HCl, acompañado de una coloración que va del amarillo pálido al negro. Conviene saber, sin embargo, que estos dos fenómenos no van ligados cuantitativamente ya que la intensidad e incluso el matiz de la coloración están influenciados por los plastificantes y estabilizantes existentes en la composición.

Por su parte, la luz provoca también la deshidrocoloración del polímero, si bien la coloración resultante es menor; incluso una coloración provocada térmicamente puede verse atenuada por la acción de la luz. Así se explica el hecho de la película que al principio del otoño presenta ciertas manchas (por haberse consumido casi todo su estabilizante), se vuelve incoloro durante el invierno.

Policloruro de vinilo rígido.

En la agricultura, el PVC rígido se utiliza en forma de placas, generalmente ondulada y en forma de tuberías. En estos casos, el PVC no llevaría plastificantes, sólo estabilizantes, absorbentes de luz U.V., antioxidantes y, en algunos casos pigmentos o colorantes. El espesor de las placas varía entre 1.0 y 1.5 mm, y se emplean en la fabricación de invernaderos (Díaz *et al.*, 2001).

En lo que a tubería se refiere, merece destacar la gran resistencia a la corrosión, lo que es de vital importancia en conducciones de agua y líquidos alimenticios tales como vino y leche. A la intemperie, el PVC rígido puede tener una resistencia de varios años si se elige adecuadamente el sistema estabilizante. Es de suma importancia retirar los residuos de este material una vez que no se utilice más, ya que puede ocasionar contaminación al suelo debido a su alta resistencia a la degradación tanto por agentes físicos como por microorganismos.

Poliésteres lineales.

Los poliésteres lineales, en forma de película, químicamente son compuestos a base de tereftalato de polietilenglicol (Mayer, 1978). En el mercado mundial se encuentran con diversos nombres comerciales y se utilizan más en E.U.A. debido a su alto precio. Estos materiales poseen una excepcional resistencia mecánica, buena resistencia a la intemperie y gran transparencia, por lo que se utilizan en la construcción de invernaderos con la durabilidad entre cuatro y siete años (López, 2000).

Poliésteres no saturados reforzados.

Las resinas de poliésteres no saturados, para su utilización en la agricultura, se presentan reforzadas con fibras de vidrio o de nailon para la fabricación de placas; de este modo se logra una excepcional solidez (Robledo y Martín, 1981). Por otro lado, las fibras de vidrio constituyen una mejor difusión de luz, en el refuerzo se suele utilizar fieltros de vidrio de 450 a 460 g m⁻². El producto acabado se presenta en forma de placas lisas, onduladas o con terminaciones de diferentes tipos. Las resinas de poliéster no saturado son mezclas bien dosificadas de varios constituyentes, su naturaleza tiene una gran influencia en las propiedades del estratificado final.

Así por ejemplo, la presencia de 10 a 15 por ciento de metacrilato monómero en lugar de estireno como reticulante, proporciona un aumento de la estabilidad del material y una disminución del poder de la difusión de la luz (baja del 50 al 10 por ciento). Las propiedades de los poliésteres reforzados dependen además del modo de fabricación, ya que influyen en la homogeneidad del material y por lo tanto en su estabilidad; una fabricación cuidadosa da lugar a un espesor uniforme, ausencia de burbujas y otros defectos que disminuyen la transparencia.

Actualmente, gracias a los absorbentes de luz ultravioleta, al empleo de las resinas adecuadas y al recubrimiento con plásticos de policloruro de vinilo, existen placas de poliéster que dan buen resultado en cuanto a envejecimiento (en ciertos países se llega a garantizar hasta 10 años), algunas placas experimentan un ligero amarillamiento durante el primer año pero luego se estabilizan. Las placas de poliésteres reforzados se utilizan en la construcción de invernaderos fundamentalmente (Matallana y Montero, 1995).

Polimetacrilato de metilo.

Este material también se conoce con el nombre de vidrio acrílico por sus excepcionales propiedades ópticas. Posee una remarcable resistencia a la intemperie y agentes atmosféricos (luz U.V., nieve, granizo, etc.). Se emplea en forma de placas para la construcción de invernaderos (López, 2000). Admite todo tipo de coloración en la masa, totalmente estable a la luz desde la máxima transparencia hasta totalmente opaco. Merece destacarse las placas denominadas hielo o blanco traslúcido que, con un 85 por ciento de transparencia, permiten un buen efecto de sombra.

Recientemente ha aparecido en el mercado europeo la plancha celular de polimetacrilato de metilo (PMM), compuesta por dos placas unidas uniformemente por tabiques. Es un material ligero con una densidad de 1.180 kg m^{-3} , presenta buena resistencia mecánica y estabilidad. Tiene alta transmisividad solar ($>83\%$) y baja a la radiación de onda larga o calor (López, 2000). Existen diversos tipos en cuanto a coloración (incolore, blanco brillante, blanco opaco y humo), por lo que su utilización puede efectuarse con arreglo a los diferentes climas de cada región, permitiendo un adecuado control de luz solar.

Poliestireno.

Es un polímero estructurado a partir del monómero estireno; se utiliza principalmente para modificar la estructura del suelo y para la fabricación de placas de diferente espesor, que pueden ser utilizadas como material aislante (Ureta, 1975). El poliestireno expandido en perlas de tamaño pequeño pueden incorporarse al suelo para mejorar, como se dijo antes, su estructura y, debido a que es química y bacteriológicamente inerte, esta mejoría puede durar casi permanentemente.

Espumas sintéticas.

Todas las espumas poseen una estructura celular. Sus paredes consisten en membranas más o menos pronunciadas, y estas células o celdillas pueden estar completamente cerradas o llenas de gas o aire. Las estructuras que pueden tener son la esférica, alveolar y poliédrica, y pueden ser blandas o duras.

El cultivo de plantas a base de espumas sintéticas hidrofílicas, que contengan o puedan absorber nutrimentos, ya sea en forma sólida o en copos, sobre suelos o dentro de ellos en los cuales es imposible un desarrollo normal, se le denomina plastoponia (Bauman, 1969). Las espumas sintéticas más conocidas son de los siguientes materiales y también pueden emplearse en la hidroponia:

Resina urea-formaldehído.

Resina fenólica.

Poliestireol.

Poliuretano.

Policloruro de vinilo.

Mixtas.

Otras poco estudiadas como de polietileno, resinas epoxi, siliconas, poliamidas, acetato de celulosa, resinas poliéster, acetato de polivinilo.

Propiedades ópticas de los plásticos

Generalidades.

La principal fuente de energía para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la tierra es la radiación solar. Esta es importante para la vida de las plantas a través de sus efectos en el intercambio de energía entre ellas y su medio ambiente, fotosíntesis, fotomorfogénesis y mutagénesis (Nobel, 1991). Las longitudes de onda de la radiación que están involucradas en esos procesos se encuentran en el rango de 300 nm^a hasta 1.1 μm^b e incluyen parte de la radiación ultravioleta (UV), la radiación visible (que es muy similar a la radiación fotosintéticamente activa, RFA) y la radiación en el infrarrojo cercano (NIR). En el Capítulo 2 se discuten más ampliamente todos los aspectos relacionados con la radiación solar.

La radiación UV comprende longitudes de onda entre 290 y 380 nm y también se le conoce como radiación ionizante debido a su alto contenido de energía. Esta radiación tiene diversos efectos deformativos como plantas achaparradas, hojas más gruesas y entrenudos cortos; a longitudes de onda inferiores de 300 nm las plantas pueden morir (Chang, 1969). La radiación visible o energía luminosa con longitudes de onda de 0.38 a 0.76 μm comprende la RFA (longitudes de onda entre 0.4 a 0.7 μm) que es esencialmente la región donde ocurren diferentes reacciones bioquímicas para dar lugar a la fotosíntesis (Moore *et al.*, 1995). Por otra parte, la radiación NIR incluye longitudes de onda entre 760 nm hasta 2.5 mm, y está relacionada con los procesos de fotoperiodismo, germinación y control de la floración. Una pequeña fracción de toda la energía luminosa que llega a las plantas es absorbida y directamente utilizada en el proceso de fotosíntesis. La restante se transforma en calor y contribuye, junto con la energía de la radiación NIR, al calentamiento de la planta y a la transpiración.

Los materiales plásticos tienen diferentes propiedades ópticas que dependen principalmente de su constitución química, color y espesor (Ham *et al.*, 1993; Díaz *et al.*, 2001; Benavides *et al.*, 2002) y éstas afectan la calidad y cantidad de la radiación recibida por las plantas.

^a nm=nanómetro=10⁻⁹ m

^b μm=micrómetro= 10⁻⁶ m

Transparencia de los plásticos a la radiación solar.

En algunas aplicaciones, como cubierta para invernaderos, túneles y acolchados, la transparencia de los materiales plásticos utilizados es de capital importancia. Transparencia es la propiedad de un material para dejar pasar la mayor cantidad posible de la radiación solar (visible). La magnitud de esta propiedad es de interés si se expresa en función de la importancia que las radiaciones tienen en el espectro solar, es decir, un material es tanto mejor cuanto más transparente sea a las radiaciones que el sol emite. Los materiales plásticos utilizados en la agricultura pueden considerarse, en general, como buenos sustitutos del vidrio en lo que se refiere a aplicaciones bajo abrigo. En el Cuadro 1.2 se dan valores de transparencia de varios materiales plásticos de las diferentes longitudes de onda de la radiación solar incidente (Robledo y Martín, 1981).

Cuadro 1.2. Transparencia (%) a las radiaciones solares (Robledo y Martín, 1981).

Materiales	Radiaciones			Total 300-2,000 nm
	U. V.	Visible	I. R.	
Polimetacrilato, 3 mm	68	92	80	84.5
Vidrio, 3 mm	53	90	88	86.5
Poliamida, 0.1 mm	82	91	93	91.5
Poliétileno, 0.1 mm	68	80	83	80.0
Poliestireno, 0.14 mm	83	90	92	90.5
PVC, 0.25 mm	72	88	90	88.0
Poliéster/vidrio, 1.0 mm	15	76	80	74.0

Un material ideal como cubierta para invernaderos y túneles debe dejar pasar las radiaciones comprendidas entre 0.3 y 3.0 μm además debe ser opaco a las radiaciones de longitud de onda mayores, que corresponden a la radiación infrarroja emitida por el suelo y las plantas (Robledo y Martín, 1981; DeKorne, 1992). Esto es muy importante, ya que tiene que ver con el llamado 'Efecto de Invernadero', que es el fenómeno por el cual un material transparente a las radiaciones solares, tiende a mantener a través del tiempo una temperatura superior al exterior. Este concepto está íntimamente relacionado con la retención de calor, que es la capacidad de un abrigo cerrado para mantener la energía térmica acumulada en su interior. En el Capítulo 6 se presentan más detalles a este respecto.

La capacidad de retención de calor está ligada directamente al coeficiente de conductividad térmica del material y con su permeabilidad a las radiaciones caloríficas emitidas por el suelo y plantas (Tarara, 2000). En aplicaciones para acolchado es benéfico que las películas tengan una cierta permeabilidad a las radiaciones emitidas por el suelo y las plantas, con el objeto de aportar calor a la parte aérea de éstas durante la noche (Jensen y Malter, 1995). A este respecto, no debe olvidarse que el factor más importante es la cantidad total de radiación solar que atraviesa el material y que un aspecto grisáceo o una presentación no pulida no tiene nada que ver con que tenga un alto o bajo nivel de transmisión.

Por otro lado, las diferencias en la composición química de los plásticos que llevan el mismo nombre genérico, pero que provienen de orígenes diferentes, así como los tamaños en los espesores de los materiales pueden dar lugar a variaciones sensibles en las propiedades fotométricas.

Comportamiento de los materiales plásticos ante la radiación solar directa (320 a 2,150 nm)

Poder de transmisión

En el Cuadro 1.3 se muestra la transmisión de la radiación solar así como la transmisión de la energía térmica (calorífica) del sol por parte de varios materiales de plástico. La transmisión es la relación entre la luz que atraviesa un material y la luz incidente. La mayoría de los plásticos utilizados como cubierta son muy transparentes a las radiaciones visibles e incluso al conjunto de la radiación solar.

Con la excepción de los poliéster/fibra de vidrio de calidad estándar, todos los demás materiales del Cuadro 1.2 transmiten alrededor del 90 por ciento de la luz que reciben. La gran diferencia entre la transmisión total y directa en el caso del poliéster/fibra de vidrio demuestra que un porcentaje elevado de la luz recibida es difundido.

La radiación térmica es un factor importante para las cubiertas como acolchados, túneles, abrigos, etc. Esta radiación corresponde a la energía no visible producida y transmitida por sustancias calientes o muy calientes. Como se señaló anteriormente, algunos materiales dejan pasar la radiación térmica, otros la detienen, por lo que conser-

van mejor el calor y por lo tanto producen un mejor efecto de invernadero; desde el punto de vista de la opacidad a las radiaciones del suelo y plantas comprendidas entre 5 y 35 μm (onda larga), el vidrio es el material óptimo. Por lo tanto, el material ideal es el que tenga el espesor y flexibilidad de los plásticos y las propiedades ópticas del vidrio.

Cuadro 1.3. Porcentaje de transmisión de la radiación solar y energía térmica (Duncan y Walker, citado en Robledo y Martín, 1981).

Películas	Transmisión de radiación solar		Transmisión térmica
	Pared simple	*Pared doble	Pared doble
PE transparente	93	88	-
PE comercial transparente	76 (89)	(81)	70.8
PE, U.V.	74 (88)	—	—
Vidrio	86 (90)	75	4.4
PVC transparente	86 (91)	(84)	12.0
PVC "turbio"	(89)	(82)	—
Poliéster lineal	86 (90)	80	16.2
Poliéster/fibra de vidrio	18 (78)	(64)	1.0

* Los números fuera del paréntesis corresponden a la transmisión directa, los números entre paréntesis a la transmisión total.

Poder de absorción.

En cuanto a la absorción de luz por los materiales plásticos, se puede considerar insignificante a lo largo del espectro solar (no más del 6 % del conjunto de la radiación solar), aunque esta característica depende de cada tipo de material y de su formulación (Robledo y Martín, 1981; Ham *et al.*, 1993). El vidrio, el poliestireno y las poliamidas poseen un poder absorbente mayor frente a la luz visible que es prácticamente nulo sea cual sea su espesor dentro de los empleados en agricultura. El PVC absorbe hasta el cinco por ciento para espesores comprendidos entre 0.05 y 0.25 mm; el PE absorbe entre el cinco y 35 por ciento en espesores comprendidos entre 0.03 y 0.5 mm. El PVC en plancha, entre el cinco y el 10 por ciento y los poliésteres reforzados con fibra de vidrio poseen valores más altos (Robledo y Martín, 1981).

Poder de reflexión.

Las pérdidas de transmisión que se observan en las cubiertas son debidas principalmente a la reflexión, especialmente en PVC armados y polietileno de pared doble (0.10 mm de espesor con 10 mm de capa de aire), plancha celular de PMM y de PC entre otros. No todos los rayos solares que llegan a un invernadero penetran en su interior; una parte se refleja y es mayor si el ángulo de incidencia se incrementa. Algunos materiales plásticos poseen un factor espectral de reflexión totalmente dependiente de la longitud de onda de la luz que reciben, así como del color de ellos (Benavides *et al.*, 2002). Por ejemplo, el PE a una radiación de 0.3 μm puede tener un poder de reflexión del cinco por ciento mientras que frente a longitudes de onda de 1.2 μm es de 14 por ciento. En cambio, otros materiales, como el vidrio, polimetacrilato y poliésteres estratificados, poseen un poder reflector que varía muy poco y que pueden estimarse en un ocho por ciento aproximadamente; para el PVC este valor es incluso menor (Robledo y Martin, 1981).

En forma general, la reflexión aumenta con el índice de refracción del material. El del vidrio es de 1.52 y el de los plásticos varía entre 1.45 y 1.8. Una clasificación por orden de mayor a menor de índice de refracción, y por tanto de reflexión de las radiaciones solares, es la siguiente:

- Policloruro de vinilo
- Polimetacrilato de metilo
- Lámina de poliéster (tereftalato)
- Poliéster-fibra de vidrio
- Poliamidas
- Polietileno normal
- Poliestireno

Las pérdidas por reflexión disminuyen considerablemente la cantidad de luz que llega a los vegetales cultivados bajo abrigo. Este hecho es de gran importancia en regiones o estaciones en la que la luminosidad es poco abundante.

Poder de difusión.

Los materiales plásticos con mayor o menor poder de difusión de luz son: poliéster-fibra de vidrio, algunas planchas de PVC y polietilenos. En ciertas ocasiones y regiones esta propiedad de difundir la luz supone una ventaja que evita que los agricultores tengan que "blanquear" sus construcciones con objeto de evitar la acción del sol directo y en exceso.

Comportamiento de los materiales plásticos ante las radiaciones infrarrojas (opacidad a las radiaciones nocturnas)

Como se mencionó anteriormente, los materiales empleados en invernaderos y túneles deben ser transparentes a las radiaciones solares en su conjunto, pero lo más opaco posible a las radiaciones emitidas por el suelo y las plantas durante la noche, que se han calentado por los rayos del sol o por cualquier otro medio. Estas radiaciones suelen variar entre 2.5 y 70 μm con un máximo de 10 μm (Chang, 1969).

En el Cuadro 1.4 se presenta información acerca de la transparencia referida a la emisión del cuerpo negro opaco (a 7 °C), las radiaciones comprendidas entre 2.5 y 35 μm corresponden al 90 por ciento aproximadamente de la radiación del cuerpo negro. Conforme al cuadro, se deduce que sólo el vidrio y el polimetacrilato, las placas de poliéster/fibra de vidrio y las de PVC son los materiales que presentan un efecto total de invernadero. Esto es, a mayor transparencia, mayor enfriamiento nocturno.

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 1.4 y aquellos mostrados en el Cuadro 1.3, se tiene que la mayoría de los plásticos sin aditivos permiten un calentamiento rápido durante el día, pero muchos de ellos dejan escapar también la radiación acumulada, con lo que disminuye el valor relativo. El aspecto general del espectro de transmisión en el I.R. de 5 μm a 36 μm es bastante característico en cada familia de materiales. Así, los polietilenos (PE) presentan dos picos de absorción a 7 μm y 14 μm , aproximadamente. Los PVC se caracterizan por amplios picos entre 7.5 y 9 μm , y entre 24 μm y 32 μm ; los plásticos de EVA ocupan una situación intermedia entre los PE y los PVC. Los poliésteres estratificados no transmiten más que

un pequeño porcentaje de radiación a partir de 9.5 μm . El vidrio y el polimetacrilato de metilo puede considerarse como un coeficiente de trasmisión nulo en este intervalo de longitudes de onda.

Cuadro 1.4. Transparencia de películas para invernadero a las radiaciones de onda larga emitidas por el suelo durante la noche (2.5 a 25 μm , Robledo y Martin, 1988).

Material	Transparencia (%)
Cuerpo negro, 7 °C	100.0
PE (película), 0.5 mm (sin aditivos)	77.0
PE (película), 0.5 mm (sin aditivos)	56.5
Poliamida (película), 0.04 mm	50.0
Poliéster lineal, (película)	46.0
PE negro (película), 0.05 mm	45.0
PVC (película), 0.1 mm	32.0
PVC (película), 0.2 mm	28.0
Poliestireno, 0.25 mm	27.0
EVA (película), 0.2 mm	18.0
PE térmico (I. R.), 0.2 mm	18.0
Poliamida, 0.25 mm	4.5
PVC (placa), 1 mm	0.5
Poliéster/fibra de vidrio	0.5
Vidrio (placa), 3 mm y polimetacrilato	0.0

Algunos efectos de los materiales plásticos sobre el microclima.

Las cubiertas plásticas afectan al microclima de la planta modificando los parámetros del balance de radiación en la superficie. Estas cubiertas reducen las pérdidas directas de agua del suelo (Liakatas *et al.*, 1986; Tanner, 1974); aunque pueden provocar mayor transpiración de las plantas al estimular el crecimiento foliar.

Por otro lado, el color de las cubiertas plásticas determina la influencia del microclima cercano a la planta en términos de radiación y de modificaciones a la temperatura del suelo. Ham y Kluitenberg (1994) encontraron que el grado de contacto entre la película plástica y el suelo determina las bondades de los plásticos utilizados como acolchados. Si existe aire entre estos dos límites, el calentamiento del suelo es menos efectivo de lo que se pudiera esperar.

La temperatura del suelo bajo cubiertas plásticas depende de las características térmicas (reflectancia, absorbancia o transmitancia) del material específico en relación a la radiación solar incidente, (Schales y Sheldrake, 1963). El plástico negro absorbe la mayor parte de los rayos ultravioleta, el infrarrojo y el visible de la radiación solar incidente e irradia hacia la atmósfera la energía absorbida en forma de radiación térmica o radiación de onda larga. Mucha de la radiación absorbida por el plástico negro se pierde hacia la atmósfera en forma de radiación o convección forzada. La eficiencia con la que un plástico negro aumenta la temperatura del suelo se puede incrementar optimizando las condiciones para la transferencia de calor desde el plástico hacia el suelo; la preparación del terreno juega un papel preponderante en este aspecto. Dado que la conductividad térmica del suelo es mayor que la del aire, la energía absorbida por el plástico negro se transmite al suelo por conducción si el contacto entre los dos es adecuado.

Por el contrario, los plásticos "claros" son pobres absorbentes pero buenos transmisores; se estima que alrededor del 85 al 95 por ciento de la energía incidente pasa a través de las películas plásticas transparentes dependiendo del espesor y grado de opacidad del polietileno. El agua que se condensa bajo las cubiertas plásticas de este tipo, provoca que entre la mayor parte de la radiación de onda corta y no permita salir aquella de onda larga, por lo que mucho del calor que se pierde hacia la atmósfera mediante radiación ultravioleta en un suelo desnudo se puede retener mediante plásticos transparentes. Esto es una característica útil en regiones frías.

Otra familia de plásticos lo constituyen aquellos fotoselectivos que transmiten radiación de algunas regiones del espectro electromagnético, pero no en las longitudes de onda fotosintéticas (Loy *et al.*, 1989). Estas cubiertas absorben radiación fotosintéticamente activa y transmiten radiación solar infrarroja haciendo un complemento entre los plásticos negros y los transparentes. Es decir, estos plásticos tienen los mismos beneficios de los negros en términos de control de malezas y constituyen un punto intermedio en el incremento de la temperatura del suelo.

Los plásticos se emplean en numerosas aplicaciones agrícolas como cubiertas de invernaderos, túneles, acolchados y ensilaje entre otras. El conocimiento de las características de los plásticos, las propiedades ópticas de estos así como su contribución en la modificación del medio ambiente permite la selección del material más apropiado para determinado propósito y región.

Referencias

- Bauman, H. 1969. *Plastoponia. Aplicación de los plásticos en la agricultura*. Ed. Blume. Madrid, España. 57 p.
- Benavides-Mendoza, A., A.G. De León-Ramírez, M.E. Facio-Castro, J. Zamarripa-Leyva, V. Robledo-Torres, H. Ramírez-Rodríguez, J. Hernández-Dávila y G. Arias. 2002. Estudio espectrorradiométrico de diferentes materiales plásticos para acolchado. *Agrofaz. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo. México. Vol. 2. pp. 36-44.*
- Chang, J-H. 1969. *Climate and agriculture*. Aldine Publishing Company/ Chicago. U.S.A. 296 p.
- DeKorne, J. B. 1992. *The hydroponics hot house: low cost, high-yield greenhouse gardening*. Loompanics Unlimited. Washington, U.S.A. 177 p.
- Díaz S., T., E. Espí G., A. Fontecha R., J. C. Jiménez G., J. López G. y A. Salmerón C. 2001. *Los filmes plásticos en la producción agrícola*. Mundi-Prensa. REPSOL YPF. 320 p.
- Greenough, D. R., L. L. Black, and W. P. Bond. 1990. Aluminum-surfaced mulch: An approach to the control of tomato spotted wilt virus in solanaceous crops. *Plant Disease* 74:905-808.
- Ham, J. M., G. J. Kluitenberg, and W. J. Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulches affected the field temperature regime. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:188-193.
- Ham, J. M., and G. J. Kluitenberg. 1994. Modeling the effect of mulch optical properties and mulch-soil contact resistance on soil heating under plastic mulch culture. *Agriculture for Meteorology* 71: 403 - 424.
- Jensen, M. H., and A. J. Malter. 1995. *Protected agriculture a global review*. World Bank Technical Paper Num. 253. Washington, D. C.
- Lamont, W. J. 2002. *Vegetable production using plasticulture*. The Pensilvania State University. University Park Pensilvania. USA. 11 p.

- Liakatas, A., J. A. Clark, and J.L. Monteith. 1986. Measurements of the heat balance under plastic mulches. Part. I Radiation balance and soil heat flux. *Agriculture for Meteorology* 36:227- 239.
- López H., J. C. 2000. Materiales de cubierta para invernaderos y desarrollo de nuevas formulaciones. Encuentro Medioambiental Almeriense: en busca de soluciones. *Agricultura Intensiva*. España. 6 p.
- Los Plásticos en la Agricultura. 2002. Materiales para cubierta de invernaderos. http://www.abcagro.com/industria_auxiliar/plasticos5.asp.
- Loy, B., J. Lindstrom, S. Gordon, D. Rudd, and O. Wells. 1989. Theory and development of wavelength selective mulches. *Proceedings, 21st National Agricultural Plastic Congress*, pp. 193-197.
- Martin V., L. 1976. Guía para la aplicación de los plásticos en la agricultura. Editorial Sociedad de Ingenieros Plásticos, A.C. México.
- Matallana, G. A. y J. I. Montero. 1995. Invernaderos, diseño, construcción y climatización. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 209 p.
- Mayer, L. 1978. Métodos de la industria química orgánica. Editorial Reverte, S. A. 137 p.
- Mehrenberger, U. 1980. Los polímeros, síntesis y caracterización, Editorial Limusa. 98 p.
- Moore, R., W. D. Clark, K. Stern, and D. Vodopich. 1995. *Botany*. Wm. C. Brown Publishers. U.S.A. 823 p.
- Nobel, P. S. 1991. *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press, Inc. San Diego, Calif. USA. 627 p.
- Robinson, D. W. 1991. *Developments in plastic structures and materials for horticultural crops*. Food & Fertilizer Technology Center. An International Information Center for Farmers in the Asia Pacific Region. Taipei, Taiwan. pp.13.

- Robledo de P., F. y V. L. Martín. 1981. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 553 p.
- _____. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. 2ª Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 624 p.
- SARH-INIA-PRONAPA. 1985. El uso de las películas de plástico como arropado del suelo para la producción agrícola. Academias de Curso. Gómez Palacio, Dgo. México. 165 p.
- Schales, F. D. and R. Sheldrake. 1963. Mulch effects on soil conditions and tomato plant response. Proceedings 4th National Agricultural Plastic Congress, pp. 78-90.
- Tanner, C. B. 1974. Microclimate modification: Basic Concepts. Hort Science 9: 555-560.
- Tarara, J. M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. HortScience. 35:169-180.
- Universidad del Sur de Mississippi. 1996. Macrogalleria. Nivel dos: Los polímeros en persona. Departamento de Ciencia de Polímeros. 37 p.
- Ureta, E. 1975. Polímeros. Editorial Anuies. 254 p.

Capítulo

2

Balance de Energía

Ignacio Sánchez Cohen

Introducción

El objetivo esencial de las cubiertas plásticas es la modificación de variables climáticas y fisiología de los cultivos, en consecuencia, es de suma importancia conocer la magnitud de las alteraciones que se inducen al ambiente que rodea a los cultivos y al suelo. La radiación solar actúa como agente inductor de estas reformas; dicha radiación es variante en tiempo y espacio y su efecto en diferentes superficies depende de la naturaleza de estas últimas. El proceso más importante responsable de la transferencia de energía en la atmósfera es la radiación electromagnética, la cual viaja en forma de ondas a la velocidad de la luz. Su impacto en los cultivos es cuantificable por los procesos de transferencia de calor en el suelo que induce otros procesos fisiológicos de impacto directo en la productividad como son la transpiración y la fotosíntesis.

De lo anterior se desprende que la plasticultura juega un papel preponderante en el incremento de la productividad de los recursos agua y suelo. Relativo al primero, es evidente el impacto del cambio global climático en su disponibilidad, por lo que el uso de cubiertas plásticas ofrece una alternativa de incrementar la cantidad de producto obtenido por unidad de agua usada; concerniente al suelo, los invernaderos ofrecen una excelente opción para localidades donde el recurso es restringido.

En el presente capítulo se señalan los aspectos básicos necesarios relativos a la disponibilidad energética para su aplicación en la selección óptima de los materiales a usar en plasticultura y para el conocimiento del impacto de las cubiertas en el rendimiento de los cultivos.

Radiación y temperatura

Radiación es la energía emitida desde la superficie de todos los cuerpos en la forma de ondas electromagnéticas. La energía se origina de la rápida vibración de los electrones que los componen. La longitud de onda que cada objeto emite, depende esencialmente de su temperatura. Así, mientras más alta sea la temperatura los electrones vibrarán más rápido y las ondas electromagnéticas de la radiación emitida serán más cortas (Monteith y Unsworth, 1990).

Los objetos que tienen temperaturas muy altas emiten energía a una tasa mayor que aquellos con bajas temperaturas. A medida que la temperatura de un objeto se incrementa, emite más radiación total por unidad de tiempo. Esto se expresa mediante la ley de Stefan-Boltzmann, que establece que la tasa de emisión de energía desde un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, lo cual se expresa en forma matemática como (Ahrens, 1988 y Liu, 1980):

$$E \approx T^4 \quad 2.1$$

Algunos autores expresan la ley anterior como (Sellers, 1975 y Liu, 1980):

$$E = \sigma T^4 \quad 2.2$$

Donde E es la tasa de radiación emitida por cada centímetro cuadrado de área superficial del objeto radiante y T es la temperatura superficial del objeto expresada en grados Kelvin. Esta ley establece que todos los objetos con temperaturas superiores al cero absoluto (0°K , ó -273°C) emiten radiación a una tasa proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. La constante de la ecuación 2.2 es $\sigma = 5.67 \times 10^{-5}$ ergs.cm² K⁴ seg. En el sistema internacional la constante es $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W . m² K⁴.

Radiación del sol y la tierra

La temperatura de la superficie del sol es aproximadamente 6,000 °K (5,726 °C) y la temperatura promedio de la tierra es de 300 °K (26.85 °C), (Sellers, 1975). Acorde a esto y a la ley de Stefan-Boltzmann descrita anteriormente, el sol emite mucho más energía que la tierra. La radiación emitida por un cuerpo tiene una distribución espectral amplia con una cantidad máxima de energía radiada a un rango de longitud de onda particular que depende básicamente de la temperatura del objeto.

La longitud de onda a la cual el sol y la tierra emiten la cantidad máxima de energía es estimada mediante la ecuación propuesta por Wien definida mediante la siguiente relación (Liu, 1980):

$$\lambda_{\max} = \frac{3000 \mu m K}{T} \quad 2.3$$

Donde λ_{\max} es la longitud de onda para la emisión máxima de energía y T es la temperatura del cuerpo en °K.

El sol emite la cantidad máxima de energía a longitudes de onda cercanas a 0.5 μm ; por otro lado, la Tierra irradia la mayoría de su energía a 10 μm . Por esta razón es común llamar a la radiación terrestre como de "onda larga" y a la del sol de "onda corta". También es obvio que la ley de Wien demuestra que a medida que la temperatura de un objeto se incrementa, la longitud de onda a la cual la máxima emisión ocurre tiende a disminuir.

Es menester mencionar que aunque el sol emita su máxima radiación en una longitud de onda 0.5 μm , también emite radiación en otras longitudes de onda. A esta gama de radiación se le conoce como el "espectro electromagnético del sol", (Figura 2.1).

A la porción del espectro electromagnético entre 0.4 y 0.7 μm se le conoce como "región visible"; esto es debido a que el ojo humano es sensible a este tipo de radiación. El sol emite casi el 44 por ciento de su radiación en esta zona con una energía radiante máxima que corresponde a las longitudes de onda del azul al verde. El color violeta se encuentra en la porción inferior del rango visible y las ondas electromagnéticas por debajo de este valor corresponden al ultra violeta en donde sólo el siete por ciento de la energía radiante del sol recae.

Las ondas largas de la luz visible corresponden al color rojo y las infrarrojas que tienen longitudes de onda más grandes que $0.7 \mu\text{m}$ y son las que proporcionan la energía calorífica. Estas ondas no son perceptibles al ojo humano. En la Figura 2.1 se puede apreciar que casi el 37 por ciento de la energía solar se irradia entre $0.7 \mu\text{m}$ y $1.5 \mu\text{m}$ con sólo el 11 por ciento irradiado en longitudes de onda mayores a $1.5 \mu\text{m}$.

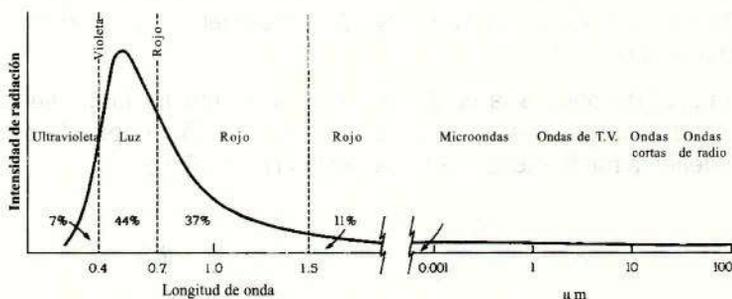


Figura 2.1. Espectro electromagnético del sol (Ahrens,1988).

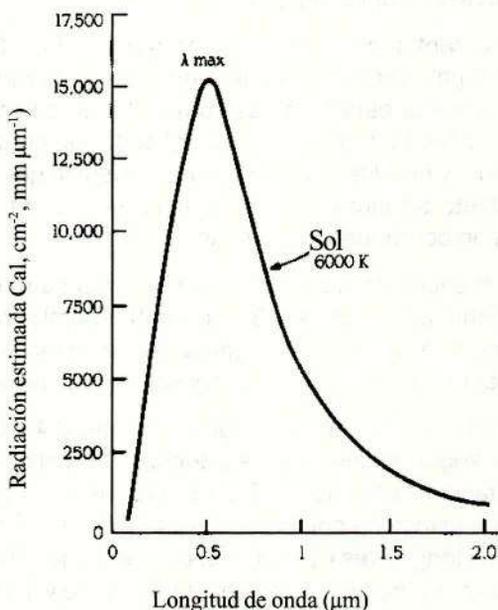


Figura 2.2. Energía radiante emitida por un cm^2 de área al sol (Ahrens, 1988).

Disposición de la radiación solar

La radiación solar interceptada por la tierra puede ser absorbida o reflejada hacia el espacio. En forma matemática la disposición de la radiación solar está dada por la siguiente ecuación (Sellers, 1975):

$$Q_s = C_r + A_r + C_a + A_a + (Q + q)(1 - \alpha) + (Q + q)\alpha \quad 2.4$$

La ecuación anterior establece que la radiación solar incidente en una superficie horizontal al tope de atmósfera (Q_s) puede ser reflejada al espacio por las nubes (C_r), por moléculas de aire seco, polvo y vapor de agua (A_r), o por la superficie de la tierra $[(Q + q)\alpha]$, donde Q y q son la radiación solar directa y difusa, respectivamente; α es el albedo. También la radiación solar puede ser absorbida por las nubes (C_a), por moléculas secas de aire, polvo y vapor de agua (A_a), o por la superficie de la tierra $[(Q + q)(1 - \alpha)]$.

El Cuadro 2.1 muestra la disposición global de la radiación solar incidente a tope de atmósfera durante un año promedio y en la Figura 2.3 se aprecia la distribución latitudinal de los componentes de este balance.

Cuadro 2.1. Disposición de la radiación solar en un año promedio (Sellers, 1975).

Concepto	Radiación kilolangleys año ⁻¹
Q_s	263
C_r	63
A_r	15
$[(Q+q)\alpha]$	16
C_a	7
A_a	38
$[(Q+q)(1-\alpha)]$	124

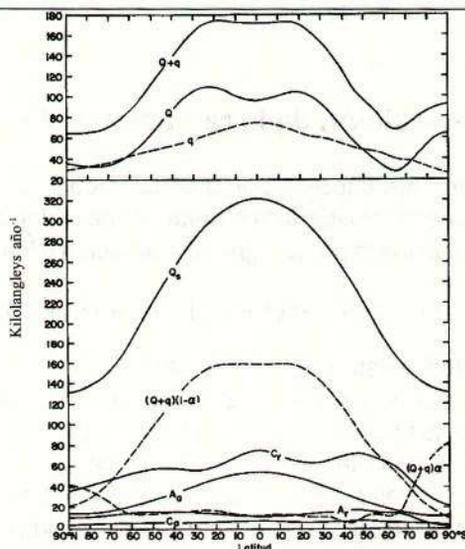


Figura 2.3. Distribución latitudinal de la disposición de la radiación solar (Sellers, 1975).

En este balance el albedo tiene un papel preponderante, ya que define el porcentaje de la radiación que llega y que es reflejada de nuevo al espacio (De Fina y Rabello, 1979).

Todos los objetos sobre la tierra tienen capacidades distintivas de absorber e irradiar energía, lo que define su temperatura. Si un objeto irradia más temperatura de la que absorbe, éste se enfriará; por el otro lado, si absorbe más energía que la que refleja, se calentará. La tasa a la cual un objeto irradia y absorbe energía depende fuertemente de las características de su superficie como el color, textura y humedad así como del gradiente de temperatura entre el objeto y el medio circundante. Como regla general, los objetos que son "buenos absorbedores de energía", son buenos irradiadores (Ahrens, 1988). A los objetos que absorben toda la radiación que les llega y que también la emiten se les llama "cuerpos negros" (Monitor, 2000). Puesto que la tierra y el sol absorben e irradian casi con el 100 por ciento de eficiencia, se les considera cuerpos negros, motivo por el cual es posible usar la ley de Wien (Ecuación 2.3) y la de Stefan-Boltzmann (Ecuación 2.1) para determinar las características de la radiación emitida de ambos cuerpos.

Como promedio general, cerca de un 25 por ciento de la radiación incidente se refleja al espacio por las nubes, las cuales tienen un albedo mayor al 50 por ciento (ver Cuadro 2.2). El hemisferio sur tiene valores más altos en este componente en virtud de que ahí se encuentra la máxima nubosidad por la mayor presencia de océanos.

Balance de energía

Varios factores contribuyen a la disponibilidad del agua en los ecosistemas áridos; sin embargo, la energía solar es la principal fuerza involucrada en el ciclo del agua, siendo responsable de la circulación global de ésta desde que se evapora de los océanos, mismos que ocupan el 70 por ciento de la superficie de la tierra (Manning, 1987; Hewlett, 1982). Así, los dos componentes de la evapotranspiración de los cultivos (evaporación y transpiración), dependen de la disponibilidad de agua y energía, fenómenos que son controlados por diversas variables como: radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento (Hillel, 1991; Ojeda *et al.*, 1999).

Como se ha asentado, la radiación solar provee prácticamente de toda la energía calorífica sobre la superficie de la tierra, estimándose que un 80 por ciento de la energía incide sobre los océanos produciendo el fenómeno de evaporación con el que se inicia el ciclo hidrológico. Luego entonces, la importancia de los procesos de transferencia de energía en el suelo y/o agua en ecosistemas áridos, estriba en las cantidades de agua que se pueden almacenar en el suelo o evaporar hacia la atmósfera (Chang, 1968).

En el balance de energía y del agua se aplica el principio de conservación, el cual establece que todas las pérdidas y ganancias de energía se balancean en la superficie de la tierra. El calor latente de vaporización es la variable de más peso en el balance de agua y energía; de hecho, es el causante de las condiciones de aridez en algunas latitudes del planeta, entre el rango de 0-35° en ambos hemisferios, donde se encuentran las principales zonas áridas del planeta, el balance de radiación global, considerando la superficie del suelo y la atmósfera (R_g) y el calor latente de vaporización expresado como flujo neto del calor latente $L(E-r)$ es de crucial importancia para explicar el comportamiento en los ecosistemas.

Cuadro 2.2 Valores de albedo para la porción de onda corta del espectro electromagnético $< 0.4 \mu\text{m}$ (Budyko *et al.*, 1962).

Superficies	Albedo
Agua invierno 0° Latitud	6
30° Latitud	9
60° Latitud	21
Agua verano 0° Latitud	6
30° Latitud	6
60° Latitud	7
Nieve fresca	75 - 95
Nieve vieja	40 - 70
Hielo, mar	30 - 40
Arena seca	35 - 45
Arena húmeda	20 - 30
Suelo oscuro	5 - 15
Suelo húmedo	10 - 20
Suelo seco arcilloso	20 - 35
Suelo seco arenoso	25 - 45
Concreto seco	17 - 27
Desiertos	25 - 30
Bosque caducifolio	10 - 20
Bosque de coníferas	5 - 15
Cultivos	15 - 25
Nubes cumuliformes	70 - 90
Nubes estratus	59 - 84
Altos estratus	39 - 59
Cirrustratus	44 - 50

En ambos hemisferios entre las latitudes 10 y 35° se gana energía porque existe una transferencia de calor sensible de latitudes menores. En latitudes cercanas a la línea ecuatorial existe un valor negativo del calor latente (pérdida de calor para evaporación) en virtud de las altas tasas de precipitación en relación a aquellas de evaporación. La relación entre la precipitación y la evaporación en el hemisferio norte muestra incrementos de ambas variables hacia el ecuador, siendo sus valores respectivos menores hacia los polos.

Balance de energía y agua cercanos a la superficie del suelo

Tratándose de modificaciones a las variables climáticas que inciden en procesos que se llevan a cabo en el suelo debido al uso de cubiertas plásticas, es importante analizar cómo se modifican estas variables cerca de la superficie del suelo, pues algunas teorías tratan de explicar el cambio en el rendimiento de los cultivos por concepto de cubiertas plásticas en dos vertientes: encima y debajo de las cubiertas mediante el uso de métodos micrometeorológicos (Zermeño, 2001; Guzmán, 1998). En este sentido, es necesario explicar el balance de energía y agua en la capa de aire cercana al suelo.

Las variables que inciden en estos balances (energía y agua) se indican en la Figura 2.5, y están relacionadas mediante la siguiente ecuación (Dyer *et al.*, 1970):

$$G_a = R_1 + H + C_i + L_r + R - H_1 - C_o \quad 2.5$$

Donde G_a es la tasa de cambio en el contenido de calor, R_1 es el flujo vertical de calor sensible, H es la transferencia de calor sensible al aire cuando este está más frío que la superficie, C_i es el flujo horizontal del calor sensible, L_r es la condensación del vapor de agua, R es la radiación que llega al suelo, H_1 es la energía irradiada hacia la atmósfera, C_o es el calor saliendo de la columna.

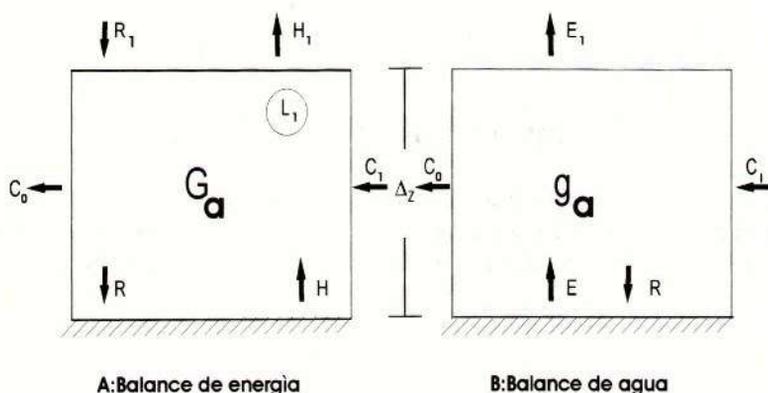


Figura 2.5. Balance de agua y energía en una columna de altura Δz

El balance de agua estaría dado por:

$$g_a = E + c_i - E_1 - c_o - r \quad 2.6$$

Donde g_a es la tasa de incremento en humedad en la columna, E es la evaporación del suelo, E_1 es el vapor de agua saliendo de la capa, c_i advección horizontal de vapor de agua entrante a la columna, c_o vapor de agua que se pierde por advección (sale de la columna), y r es la precipitación.

Así, se puede deducir que los parámetros de almacenamiento G_a y g_a están dados por:

$$G_a = \sigma c_p \frac{\Delta T}{\Delta t} \Delta_z \quad 2.7$$

y

$$g_a = \sigma \frac{\Delta q}{\Delta t} \Delta_z \quad 2.8$$

Donde σ es la densidad respectiva (aire o agua), c_p calor específico del aire a presión constante ($0.24 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), ΔT es el gradiente de temperatura, Δt es el intervalo de tiempo, Δ_z es una altura o profundidad arbitraria y Δq es el gradiente de la humedad.

El transporte de calor en el suelo

El flujo de calor es de crucial importancia no sólo para el proceso de la evapotranspiración sino también para establecer el balance de energía en el suelo en forma separada (Tanner, 1960 y Fuchs, 1986).

En términos de disponibilidad de agua en el suelo en el contexto del balance de energía, el medio físico se calienta debido a la absorción de radiación solar y por la condensación del vapor de agua principalmente. El primer término es fuertemente dependiente del albedo también denominado coeficiente de reflexión de radiación de onda corta, el cual a su vez depende de la cubierta de la superficie del suelo y su estado de humedad como se ha señalado anteriormente (Cengel, 1989).

También, desde hace algún tiempo se ha demostrado el efecto del tamaño de partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) sobre la penetración de luz solar; así, se ha establecido que mientras más grandes las partículas de suelo, mayor penetración de la luz solar y por tanto, mayor calor disponible para el proceso de evaporación con consecuencia directa en procesos de fotosíntesis (Nobel, 1991).

En términos de calentamiento, la tasa a la cual el calor fluye a través de una capa de suelo a una profundidad $z(G)$, es directamente proporcional al gradiente vertical de temperatura $\partial T / \partial x$, pudiéndose expresar de la siguiente manera (Jury *et al.*, 1991):

$$G = -KA \frac{\partial T}{\partial x} \quad 2.9$$

Figura 2.6. El concepto de conducción térmica en el suelo.

En esta figura se presenta un esquema del flujo de calor a través del suelo, donde A es el área de la sección a través del cual fluye la energía térmica; el flujo de calor es positivo y hacia abajo cuando la temperatura decrece con la profundidad (Nobel, 1991). La constante de proporcionalidad K se denomina **conductividad térmica**, la cual depende del tipo de suelo, del contenido de humedad y de la temperatura (Campbell *et al.*, 1994).

Físicamente en el suelo, la conductividad térmica representa la tasa a la cual la energía pasa a través de un área unitaria cuando existe un gradiente de $1\text{ }^{\circ}\text{C cm}^{-1}$. De manera general, K es mayor en suelos con abundante contenido de cuarzo ($K = 21\text{ mcal cm}^{-1}\text{ seg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) y menor en suelos ricos en materia orgánica ($K = 0.6\text{ mcal cm}^{-1}\text{ seg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$). También, K se incrementa con el contenido de humedad siendo su valor más alto en suelos a bajas temperaturas. De la Ecuación 2.9 si $\partial T/\partial x$ es constante a lo largo de la columna de suelo considerada, entonces el diferencial de temperatura ∂T se puede escribir como $T_c - T_f$ y el desplazamiento ∂x se puede sustituir por la longitud L de la columna por lo que la Ecuación 2.9 se reduce a:

$$G = \frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{KA(T_c - T_f)}{L} \quad 2.10$$

Aplicando la Ecuación 2.10 a dos diferentes profundidades se obtiene el flujo y dirección de energía calorífica en esa capa. El Cuadro 2.3 muestra algunos valores de conductividad térmica (K) para varios constituyentes del suelo.

En términos de disponibilidad de agua, el concepto de flujo de energía es especialmente útil en estudios de acolchados plásticos u orgánicos en el suelo dada las modificaciones que sufren el albedo, la temperatura del suelo y el contenido de humedad el cual es mantenido al evitar los rayos directos del sol propiciando además una menor evaporación (Barfield y Gerber, 1979; Campbell *et al.*, 1995; Katul y Parlange, 1993).

Cuadro 2.3. Valores de conductividad térmica (K) para algunos constituyentes del suelo (Sellers, 1975).

Sustancia	T °C	K (mcal cm ⁻¹ seg ⁻¹ °C ⁻¹)
Cuarzo	10	21
Arcilla	10	7
Materia orgánica	10	0.6
Agua	10	1.37
Hielo	0	5.2
Aire	10	0.06

Como se asentó, lo descrito anteriormente adquiere relevancia en los acolchados plásticos en virtud de que la temperatura del suelo se incrementa por este concepto (Martínez, 1985; Martínez *et al.*, 2001; Mendoza *et al.*, 1999; Pérez, 2000; Santiago, 2002). La magnitud de este incremento es función también del color del plástico utilizado.

Referencias

- Ahrens, C. D. 1988. *Meteorology Today. An introduction to weather, climate and the environment.* 581 p.
- Barfield, D. J. and J. F. Gerber. 1979. *Modification of the aerial environment of plants.* 537 p.
- Budyko, M. I., N. A. Yefimova, L. I. Zubenok, and L. A. Strokina. 1962. The heat balance of the surface of the earth. *Sov. Geograph*, 3:3-16.
- Campbell, G. S., J. D. Jungbaver, W. R. Bidlake and R. D. Hungerford. 1994. Predicting the effect of temperature on soil thermal conductivity. *Soil Science*. 158 (5): 307-313.
- Campbell, G. S., J. D. Jungbaver, J. L. Bristow and R. D. Hungerford. 1995. Soil temperature and water content beneath surface fire. *Soil Science*. 159 (6): 363-374.
- Cengel, Yunus, A. 1989. *Thermodynamics. An Engineering Approach.* 987 p.
- Chang, J. H. 1968. *Climate and Agriculture. An Ecological Survey.* 297 p.
- De Fina, L. y A. C. Ravelo. 1979. *Climatología y Fenología Agrícolas.* 351 p.
- Dyer, A. J. and B. Hicks. 1970. Flux gradient relationships in constant flux layer. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 98, pp. 206- 212.
- Fuchs, M. 1986. Heat flux. In: A. Klute (d) *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods.* Agron. Monogr. No. 9 (Part 1). AMER. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Amer. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. AMER, Madison, Wis. USA. pp. 957-968.
- Guzmán P., J. M. 1998. *Tecnología avanzada para la producción de cultivos hortícolas bajo condiciones de invernadero.* Simposio Internacional de Aguas Subterráneas. León, Gto. Mex. pp. 201-216.

- Hewlett, J. D. 1982. Principles of Forest Hydrology. The University of Georgia Press. 183 p.
- Hillel, D. 1991. Introduction to soil physics. Academic Press. San Diego, Cal. E.U.A. 362 p.
- Jury, W. A., W. R. Gardner and W. H. Gardner. 1991. Soil Physics. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 328 p.
- Katul, G. G. and M. B. Parlange. 1993. Determination of average field scale soil surface temperature from meteorological measurements. Soil Science. 155 (3): 166-174.
- Liu, Kwo-Nan. 1980. An introduction to atmospheric radiation. Academic Press. 392 p.
- Manning, J. C. 1987. Applied Principles of Hydrology. Merryl Publishing, Co. 278 p.
- Martínez S., J. 1985. Frecuencia del riego en el cultivo del melón (*Cucumis melo* L.) por trasplante con y sin acolchado plástico. Tesis Profesional Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, México.
- Martínez S., J., F. Mendoza M., H. Macías R., J. G. Martínez R., M. Rivera G., G. García H., C. E. Ramírez C. e I. Sánchez C. 2001. Distribución espacial de la humedad en el suelo bajo cubiertas plásticas y micro riego. XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Gto. 5 p.
- Mendoza M., S. F., G. García H., J. Martínez S., H. Macías R. 1999. Productividad del agua en tres sistemas de producción en sandía con riego por cintilla y acolchado plástico. IX Congreso Nacional de Irrigación. ANEI, A.C. Culiacán, Sin. México. pp. 159-166.
- Monitor 2000. Biblioteca básica de física. Física elemental. Vol. 2 cap. 19. pp 359 - 375.
- Monteith, J. L. and M. H. Unsworth. 1990. Principles of environmental Physics. 2nd. Ed. Edward Arnold. London.
- Nobel, P. S. 1991. Physiochemical and environmental plant physiology. Academic Press, Inc. San Diego, Cal. 630 p.

- Ojeda B., W., I. E. Sifuentes, C. J. González, G. J. Guillén G. y H. Unland W. 1999. Pronóstico del riego en tiempo real. Centro Nacional de Transferencia de Tecnología de Riego y Drenaje. Programa Anual de Capacitación. 224 p.
- Pérez G., J. L. 2000. Productividad del agua en tres sistemas de producción en sandía (*Citrus lanatus* Tund.) con riego por cintilla y acolchado plástico. Tesis profesional. Secretaría de Educación Pública, Instituto Tecnológico Agropecuario N° 10. 82 p.
- Santiago R., M. 2002. Efecto del color del acolchado y el nivel de agua aplicado sobre rendimiento y absorción de macro nutrientes en sandía. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. 80 p.
- Sellers, W. 1975. Physical Climatology. The University of Chicago Press. 272 p.
- Tanner, C. B. 1960. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24 1-9.
- Zermeño G., A. 2001. Métodos micro meteorológicos para medir flujos de calor y vapor de agua entre los cultivos y la atmósfera. XIII Semana Internacional de Agronomía. Universidad Juárez del Estado de Durango. pp. 53-57.

Capítulo

3

Almácigos Protegidos con Materiales Plásticos

**Josefina Martínez Saldaña
Hilario Macías Rodríguez
Luis Román Castañeda Viesca**

Introducción

Los almácigos son una de las prácticas más antiguas que se han utilizado para la protección de los cultivos en etapas tempranas de su desarrollo. Son pequeñas parcelas que permiten la producción masiva de plántula destinada al trasplante después de su germinación, pudiéndose obtener raíz desnuda o con cepellón que se trasladarán al terreno definitivo, en el cual continuarán su crecimiento hasta la cosecha. La protección de los almácigos se hace a través de túneles e invernaderos, utilizando cubiertas plásticas, flexibles o rígidas, tratadas contra rayos ultravioleta y con gran capacidad termoaislante, garantizando protección contra vientos y bajas temperaturas (Bonner y Galston, 1973; Martín, 1976).

Comúnmente, en la cubierta y protección de los almácigos se emplean barreras construidas con base en materiales diversos, como cañas, juncos, carrizos, madera, paja e incluso el vidrio, aunque este último en menor proporción por ser una estructura pesada y costosa.

Las técnicas modernas de producción de cultivos protegidos bajo túnel o invernadero, con los que se alcanzan altos rendimientos y alta calidad de producción, exigen el empleo de semillas selectas que es preciso manejar cuidadosamente en los almácigos, a fin de conseguir un alto porcentaje de germinación y plantas vigorosas.

Tipos de almácigos

Los almácigos se pueden establecer al piso o en recipientes como vasos, charolas, macetas y bolsas.

Ventajas.

La producción de plántula de hortalizas en almácigos ofrece múltiples ventajas como las que a continuación se enlistan:

- Ahorro de mano de obra y tiempo en comparación con una siembra directa en campo.
- Producción temprana de plántula de acuerdo a la demanda de cosechas en el mercado.
- Germinación y desarrollo de las plantas en un medio con temperatura, humedad y nutrición adecuada.
- Uniformidad en la aplicación del riego mediante métodos presurizados como goteo o micro aspersión.
- Menor incidencia de plagas y enfermedades.
- Producción de excedentes para la reposición de plántula siniestrada en el campo por daños mecánicos o biológicos (fungosis, plagas, etc.)
- Producción de plántula bajo condiciones climáticas adversas.
- Reducción en la lámina total de riego aplicada al cultivo.

Aspectos a considerar.

Como la finalidad de los almácigos es producir plantas sanas y de buena calidad, es preciso tener presente los siguientes factores:

Vientos dominantes.

Dado que la época en que se siembran los almácigos suele ser fría y con presencia de heladas, es conveniente construirlos al abrigo de los vientos dominantes, extremadamente perjudiciales para las plantas e incluso para las instalaciones (Robledo y Martín, 1981).

Orientación.

La orientación de los almácigos varía de acuerdo a la época de su plantación. En climas calurosos, la orientación se realizará hacia el este-suroeste, consiguiéndose de esta forma dotar al semillero la máxima iluminación sin que le afecte la radiación del mediodía. En épocas frías, deberá orientarse de norte a sur para que de esta forma las plantas no sólo reciban la máxima iluminación sino también el máximo calor; en caso de que la reproducción de plántula se realice en túneles multiseriados o en invernaderos de dimensiones medianas a grandes, su orientación deberá sujetarse a las normas de construcción de túneles e invernaderos como se describe en capítulos subsecuentes (SAGARPA-INIFAP, 2000).

Agentes dañinos

Los agentes que pueden causar grandes daños a los semilleros son numerosos, entre ellos las aves y animales domésticos que pueden trozar los tallos jóvenes e incluso poner al descubierto las semillas. Además, los almácigos construidos próximos a matorrales, cultivos ya envejecidos, rompevientos realizados a base de cañas, carrizos, etc., son foco de transmisión de enfermedades y plagas (Gordon y Barden, 1984).

La proximidad de carreteras y caminos de terracería crea un ambiente polvoriento, depositándose las partículas no sólo sobre las cubiertas protectoras del almácigo que les restan luminosidad, sino también sobre las plantas. Se deberá elegir por tanto, para la instalación de los almácigos, aquellos lugares que de ser posible estén protegidos contra los agentes dañinos antes citados (Guenkov, 1974).

Establecimiento de almácigo al piso.

En el establecimiento del almácigo es conveniente tener presente los siguientes aspectos: superficie que se va a trasplantar, dimensiones del almácigo y tamaño de la semilla.

Superficie.

Para su determinación se deberá conocer primero la densidad de plantas que se precisa para cubrir la parcela de cultivo (plantas, surco o cama), esto dependerá de la región y de la especie a cultivar (SAGARPA-INIFAP, 2001).

Una vez conocida la densidad de población y, por tanto, el número de plantas por transplantar se determinará la superficie del semillero; dicha superficie no será igual para todas las hortalizas. En el Cuadro 3.1 se enlista la cantidad de semilla a utilizar por cada 10 m de longitud de surco para diversas especies. Esta cantidad debe calcularse detalladamente para evitar desperdicios, sobre todo en semillas originales, cuyo costo de adquisición es muy elevado (Gausto, 1999).

Cuadro 3.1. Densidad de siembra para algunas hortalizas en almácigo (COPLAMAR, 1983).

Cultivo	Semilla (g) por surco de 10 m	Plantas por m ²
Berenjena	2	500 a 1200
Cebolla	12	1500 a 2000
Coliflor	5	700 a 1500
Chile	6	500 a 1200
Lechuga	3	700 a 1500
Rábano	15	700 a 1500
Tomate	5	500 a 1200

Dimensiones.

Tanto el ancho como la longitud de los almácigos varía de una zona a otra. Lo primero depende de la disponibilidad de la iluminación directa en el caso de almácigos de zonas cálidas y zonas frías. En cuanto al largo de los mismos, éste estará condicionado a las necesidades del agricultor (COPLAMAR, 1983). En el Cuadro 3.2 se presenta el número de semillas por gramo para algunas hortalizas.

Cuadro 3.2. Número de semillas por gramo para algunas hortalizas. (COPLAMAR, 1983).

Cultivo	Semillas por gramo	Cultivo	Semillas por gramo
Alcachofa	24	Lechuga	700
Apio	2500	Lenteja	50
Berenjena	210	Melón	30
Betabel y Acelga	60	Nabo	45
Calabacita	14	Pepino	40
Chicharo	8	Perejil	650
Chile	150	Rábano	75
Coliflor y Col	300	Sandía	11
Espárrago	50	Tomate	300
Espinaca	100	Tomatillo	600
Frijol	4	Zanahoria	825

En el Cuadro 3.3 se muestran las ventajas e inconvenientes de algunos tipos de almácigos de acuerdo a sus dimensiones. Para semilleros de fácil manejo se recomiendan camas de 1.2 m de ancho y 20 a 30 m de longitud.

Cuadro 3.3. Ventajas e inconvenientes de almácigos o semilleros acorde a sus dimensiones (COPLAMAR, 1983).

Tipo de almácigo	Ventajas	Inconvenientes
Estrecho (1-1.5 m de ancho)	Simplicidad de prácticas de cultivo. Riegos uniformes. Siembras uniformes.	Reducción de la parte útil del semillero por desecación de sus bordes. El volumen de aire calentado durante el día es pequeño.
Ancho (1.5-4 m)	Las pérdidas por desecación son menores que en los semilleros estrechos. El volumen de aire calentado durante el día es mayor, protegiendo mejor a la planta de las bajas temperaturas nocturnas.	Riegos poco uniformes. Siembras irregulares. Dificultad para efectuar aclareos y escardas. Pérdidas de espacio por la construcción de pasillos para realizar las prácticas culturales.

Composición del suelo para almácigos en piso

El suelo ideal para los almácigos es aquel de consistencia media, desmenuzado, rico en humus, buen drenaje y con pH entre 5.6 y 7.0 (Bosso y Serafín, 1981); sin embargo, debido a la dificultad para conseguir suelo con estas características, es preciso prepararlo mediante alguna de las siguientes mezclas (Ogden, 1983):

- 25 por ciento de arena.
 - 50 por ciento de suelo.
 - 25 por ciento de estiércol.
- o bien:
- 25 por ciento de arena.
 - 25 por ciento de suelo .
 - 25 por ciento de turba o musgo.
 - 25 por ciento de estiércol fino.

Estos materiales deberán cernirse para quitar los fragmentos gruesos antes de mezclarlos. La superficie del almácigo debe quedar bien nivelada para evitar que se formen encharcamientos al regar.

Desinfección y esterilización del sustrato.

Generalmente los componentes utilizados para formar la cama del almácigo del sustrato llevan incorporados gérmenes, insectos, nemátodos y semillas de malas hierbas que es preciso eliminar antes de la siembra (Guerrero, 1984). Esto se consigue mediante la incorporación de productos químicos como los señalados en el Cuadro 3.4.

Otro método sencillo y eficaz para la esterilización del sustrato es con vapor de agua durante 30-60 minutos, tal como se explica en la Figura 3.1.

Cuadro 3.4. Productos químicos para la desinfección de almácigos o semilleros (Gausto, 1999).

Producto	Dosis (kg ha ⁻¹)	Tiempo de exposición (días)	Siembra después de la aplicación (días)
67 % Bromuro de metilo 33 % cloropicrina	Media 500-600	2-4	2-4
Cloropicrina	Media 400-450		
	Alta 600	5	21-28
Dazomet	600-700	2-4	20-25
Dicloropropano	Media 275-300		
+Dicloropropano (D.D.)	Alta 325-400	2-4	10-15
MAPAM	80 cm ³ m ⁻²	25	30-35

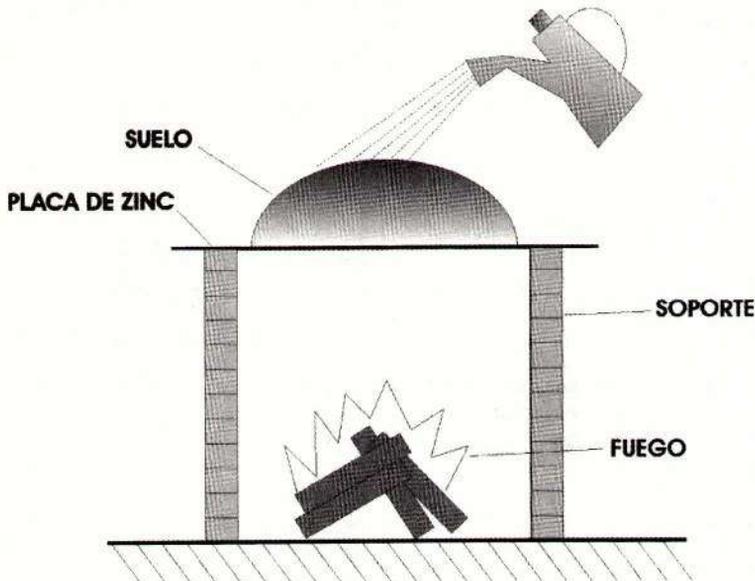


Figura 3.1. Esterilización de suelo usando vapor de agua.

Tipos de almácigos o semilleros

De las numerosas construcciones tradicionales ideadas por los agricultores, muchas han caído en desuso con la aparición de los plásticos para uso agrícola. También han evolucionado los sistemas de siembra, en cuanto a la creación o disposición del medio para efectuarlas.

En orden de las dos variantes se puede establecer la clasificación que señala la Figura 3.2.

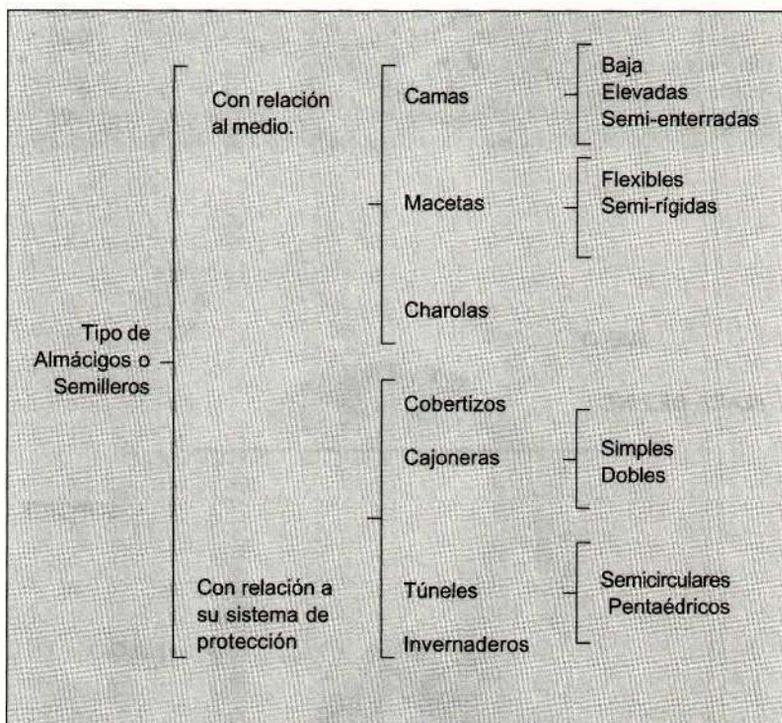


Figura 3.2. Clasificación del tipo de almácigos.

Almácigos en camas.

Existen diversas modalidades de camas en lo que se refiere a su sección transversal (rectangular, trapezoidal, etc.), presentando distintas formas con base en la diferencia de altura que tiene la superficie de siembra en relación con el nivel normal del suelo, contando con los siguientes tipos:

Almácigos en camas bajas.

En ellos, la cama presenta un nivel más bajo que el normal del suelo. Puede tener secciones trapezoidal o rectangular (Martínez, 1985) como se muestra en la Figura 3.3. Son adecuados para aquellas zonas frías con vientos rasantes, realizándose las labores con gran comodidad. Si el ancho no permitiese efectuar las labores de cultivo en el centro del semillero, se puede colocar una tabla a manera de andamio de lado a lado sobre la cual el operante podrá trabajar con cierta facilidad (Van Haeff y Berlijn, 1982). Los inconvenientes son que por estar a un nivel más bajo del suelo, el agua de lluvia puede inundarlo si el sistema de protección no es totalmente impermeable (Serrano 1977 y Saray, 1986).

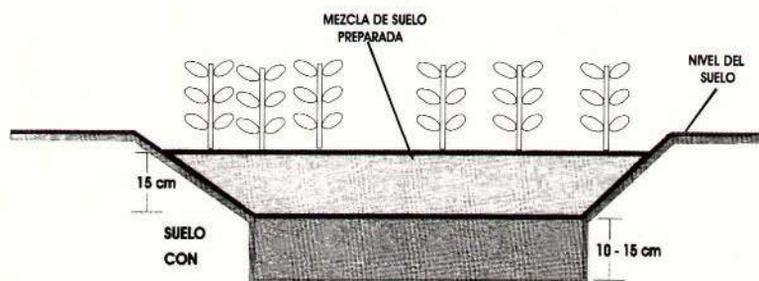


Figura 3.3. Almácigo en cama enterrada.

Almácigos en camas elevadas.

Son los almácigos cuyas camas, ya sean trapezoidales o rectangulares, están construidas por encima del nivel normal del suelo, como se muestra en la Figura 3.4. Este tipo de almácigo tiene la ventaja de facilitar la aireación, por lo que es recomendado para zonas calurosas. Su mayor inconveniente es la pérdida de plantas por la desecación en las orillas, la cual podría corregirse poniendo bordes alrededor del almácigo (García *et al.*, 1982 y Saray, 1986).

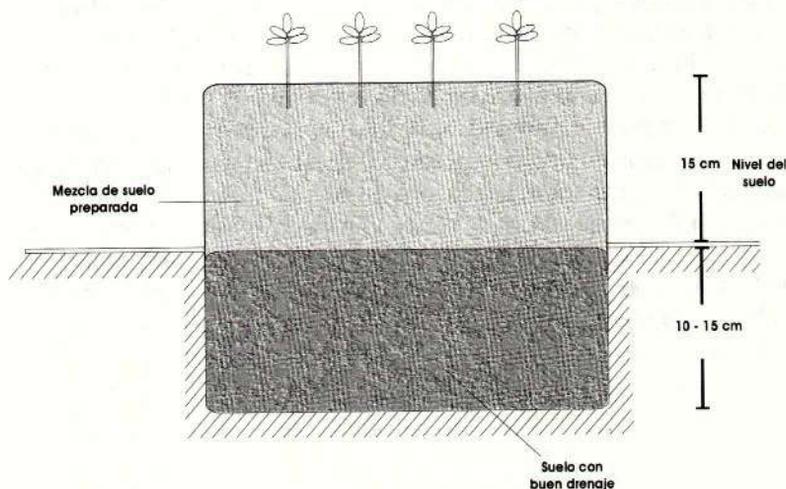


Figura 3.4. Almácigo en cama elevada.

Almácigos en cama semienterrada.

Este tipo de semillero goza de las ventajas de los semilleros de cama baja y de cama superficial o elevada, como se puede observar en la Figura 3.5. Su inconveniente es que en zonas frías las plantas pueden dañarse por los vientos y además pueden existir pérdidas de plantas por desecación de sus bordes (Moreno, 1976).

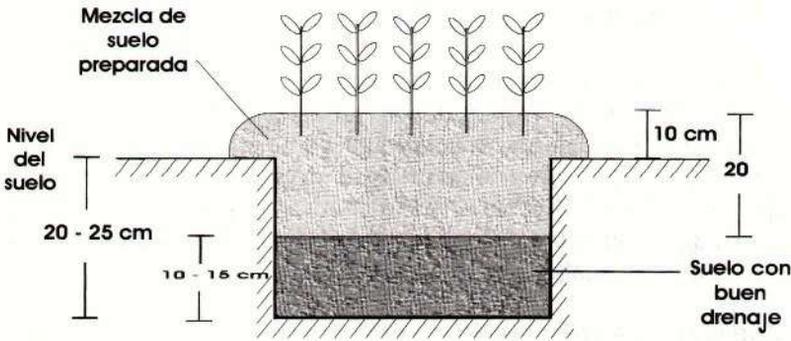


Figura 3.5. Almácigo en cama semienterrada.

Almácigos en bolsas de polietileno negro flexible.

En estos almácigos se utilizan bolsas o tubos de polietileno negro calibre de 75 a 300 micras o más, con dimensiones de 20 cm de largo y 8 cm de diámetro, con capacidad para un kilogramo de sustrato aproximadamente. Estos tipos de almácigos se utilizan exclusivamente para aquellas hortalizas que son requeridas en bajas densidades de población en el campo, como es el caso de la sandía y el melón (Martínez, 1985 y Mendoza *et al.*, 1999). Su gran ventaja y propósito principal es obtener plántula con suficiente cepellón y follaje para acortar el periodo de cultivo en campo y lograr cosechas tempranas, de acuerdo a demandas de mercado tanto nacional como extranjero. Su aplicación es muy puntual para los cultivos referidos, ya que implementar este sistema de reproducción para cultivos de alta densidad de población en campo, como chile, tomate, cebolla, etc., sería muy costoso y poco práctico. En la Figura 3.6 se aprecia un almácigo típico con bolsas de polietileno negro.

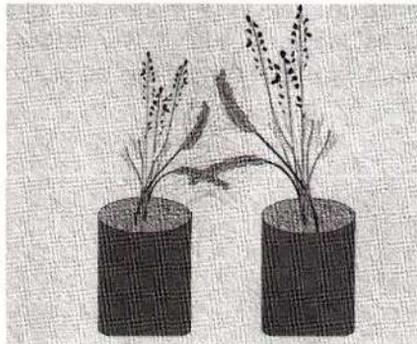


Figura 3.6. Almácigo típico en bolsas de polietileno.

Cubierta de plástico para túneles al piso

Los tipos de cubierta para los túneles pueden ser: plásticos de polietileno flexible, transparente, térmico, tratado contra rayos ultravioleta. De colores transparentes, como el verde, naranja, gris, así como de espesores delgados para un ciclo o de espesores más gruesos para que la durabilidad sea para varios ciclos. En cuanto a forma de la estructura de los túneles pueden utilizarse diversos modos como se señala en capítulo posterior.

Almácigos en charolas de poliestireno.

Este tipo de almácigos es el más usual en la actualidad. En éste se utilizan bancales metálicos y charolas de nieve seca o poliestireno, con 200, 288 y 338 cavidades o huecos, y se producen principalmente bajo condiciones de invernadero tipo túnel, los cuales pueden ser con clima controlado o simplemente una cubierta de plástico o malla (Castañeda, 1982 y Hernández, 1997). Los almácigos de este tipo tienen la ventaja de proporcionar, al igual que la reproducción en bolsas de polietileno negro, plántula con cepellón, evitando retrasos en el campo y fallas en el cultivo por falta de arraigo, ya que al momento del trasplante no hay roturas en el sistema radicular (Biblioteca de la Agricultura, 1998).

Sustratos.

Los sustratos son la base del almácigo, ya que es el lugar donde la semilla germina y la planta se desarrolla. Normalmente los sustratos que se utilizan para el llenado de charolas son materiales comerciales y sus características más importantes son: la capacidad de retención del agua, el pH cuyo rango óptimo oscila de 5.5 a 6.5, capacidad de aireación y contenido nutrimental; igualmente, estar libre de sales dañinas al cultivo. Generalmente los sustratos son orgánicos: turba, musgo o compostas de estiércol (Mendoza *et al.*, 1999).

Sistema de riego

El aprovisionamiento de agua es a través de sistemas de riego presurizados principalmente micro aspersion; con este sistema de aplicación, el riego se proporciona una o dos veces por día, y el sistema es aprovechado para nutrir a las plántulas utilizando las mismas soluciones nutritivas de los cultivos hidropónicos.

Las hortalizas que se reproducen de manera óptima en charolas bajo las condiciones descritas son muy diversas: tomate, chile, col, coliflor, brócoli, melón, sandía, pepino, calabacita, lechuga, cebolla, frijol ejotero, apio y berenjena (Resh, 1978; Agronegocios, 2001). En la Figura 3.7 se muestra un sistema de reproducción de plántula en charola de poliestireno, bajo condiciones de invernadero tipo túnel sin clima controlado.



Figura 3. 7. Reproducción de plántula en charola.

Tipos de almácigos con relación a su sistema de protección.

Los tipos de protección que más se utilizan en los almácigos o reproductores de plántula son: almácigos al piso, túneles, invernaderos con clima controlado y sin clima. Los túneles e invernaderos se describen detalladamente en capítulos subsecuentes desde su construcción hasta su operación.

Cajoneras.

Su nombre en sí define la forma de estos almácigos, y se utilizan para la producción de plántula requerida en cantidad pequeña, sobre todo para la producción de hortalizas de traspacio con fines de autoconsumo o de explotaciones hortícolas de superficies pequeñas. Las medidas más recomendadas son de 1.0 a 1.5 m de largo, en donde la altura de la parte delantera de las cajoneras tiene 15 cm menos que la parte posterior; esto es con el fin de que el bastidor de cubierta tenga una pendiente aproximada de 10 por ciento, que impedirá la entrada de agua de lluvia, facilitará la penetración de los rayos solares y evitará oponer resistencia a los vientos. Se construyen semienterrados, pero siempre sobresaliendo a cierta altura del nivel del suelo. Los materiales que más se utilizan son el ladrillo y la madera (Robledo y Martín, 1981). En la estructura de los bastidores se emplea madera o metal, con travesaños o tela metálica abierta, que impiden que el plástico forme bolsas por viento o lluvia.

El material que más se usa para cubrir o revestir los bastidores de las cajoneras es el polietileno térmico de larga duración calibre 720*, con aditivos que lo protegen de la radiación ultravioleta; son flexibles, ligeros y fáciles de manejar. En regiones muy frías se pueden cubrir los bastidores con polietileno térmico calibre 800**, ya que tiene mayor capacidad de conductividad térmica.

Con el fin de facilitar la ventilación de estos semilleros se aprovisiona a los bastidores de bisagras, fijándolas a la pared más alta de la cajonera, permitiendo con ello una abertura mayor o menor de acuerdo con la intensidad de la ventilación deseada. La preparación del sustrato a utilizar en las cajoneras se hace como se describió anteriormente (Ogden, 1983).

En este tipo de semilleros o almácigos se pueden multiplicar las mismas especies hortícolas que se reproducen en charola de poliestireno, inclusive, por ser almácigos para transplantar en pequeñas superficies se pueden utilizar las propias charolas descritas o bolsas de polietileno negro, teniendo con esto la opción de utilizar sustrato orgánico para su llenado (Martín, 1976). Las cajoneras pueden ser sencillas a una vertiente o dobles con dos vertientes, tal como se muestran en las Figuras 3. 8 y 3. 9.

* Calibre 720, con un espesor de 0.19 mm

** Calibre 800, con un espesor de 0.20 mm

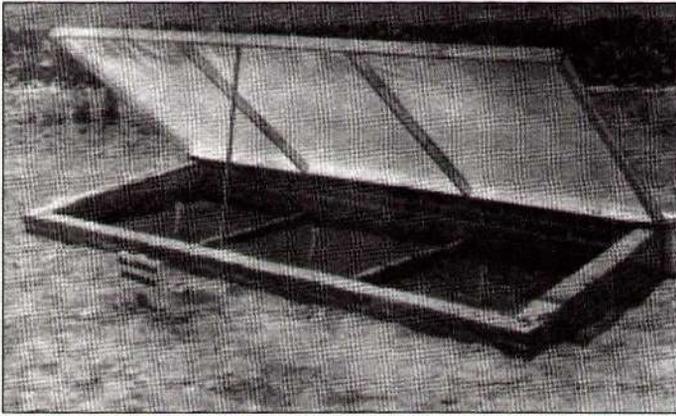


Figura 3.8. Cajonera sencilla a una vertiente.

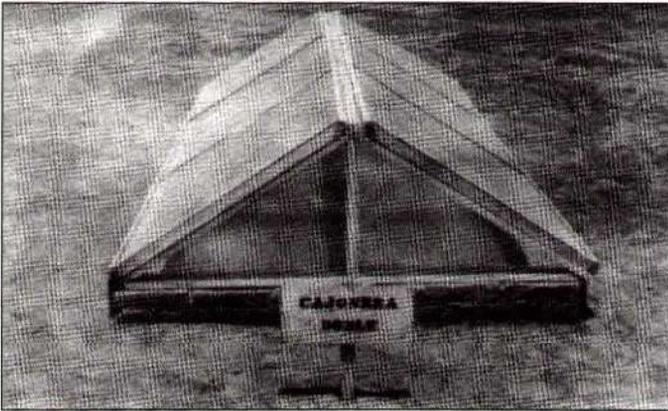


Figura 3.9. Cajonera doble a dos vertientes.

Operaciones relevantes en el manejo de almácigos.

Es conveniente que una vez que esté definido el tipo de almácigo a establecer y su sistema de protección se dé un estricto seguimiento a la planeación operativa de las actividades: mezcla de sustratos, tratamiento de semilla con fungicidas, siembra, programación de riegos, aplicación de solución nutritiva cuando así se disponga, control fitosanitario, ventilación y trasplante. La obtención de plántula sana y vigorosa dependerá de un buen control de todos estos factores.

Siembra.

Siembra al voleo. Consiste en diseminar directamente la semilla sobre la superficie del suelo. Esta forma de siembra es apropiada para el caso de tomate, chile, cebolla, col, coliflor, brócoli, etc. El almácigo debe estar bien nivelado para tener mejor distribución de los fertilizantes, de la semilla y del agua de riego.

Siembra en surcos. Este método propicia el ahorro de semilla facilitando las labores de deshierbe. Cuando se realiza la siembra, los surcos se marcan ligeramente sobre el almácigo para distribuir mejor la semilla y facilitar el cubrirla con una capa delgada de suelo. Como se ha asentado, es recomendable una buena nivelación del almácigo.

Para garantizar una buena germinación se deben realizar pruebas para determinar el porcentaje de viabilidad de la semilla. Las semillas pueden perder viabilidad si se deshidratan; para evitarlo se pueden cubrir con paja seca de trigo, avena, cebada, etc., hasta el momento de su germinación.

Prueba de germinación.

- Para este propósito se utiliza papel absorbente u otro que se humedezca totalmente; se distribuyen uniformemente las semillas sobre él (preferentemente múltiplos de 10) cubriéndolas con otro pliego del mismo tipo de papel que se humedece adecuadamente procediendo a hacer un rollo, mismo que se coloca en una bolsa de plástico con la finalidad de que no pierda humedad.
- Se verifica el proceso de germinación levantando el papel y anotando la cantidad de semillas germinadas en un periodo de cinco a diez días. Los resultados se expresan en porcentaje.
- Si en este período no se ha alcanzado el porcentaje de germinación recomendado, se puede inferir la no viabilidad del material y no se debe correr el riesgo en su uso.

Riego.

Los riegos del almácigo en piso se pueden realizar con manguera o regaderas portátiles; estos deben ser ligeros a intervalos de tres días procurando evitar encharcamiento y el contacto directo con la planta.

Aclareo.

Esta práctica es muy importante, principalmente en los almácigos donde la semilla se colocó al voleo o se diseminó. Consiste en dejar espaciadas las plantas eliminando las más débiles en los lugares más densos; es recomendable entresacar cuando el terreno está húmedo y las plantas tengan la primera hoja verdadera.

Deshierbes.

Esta práctica se realiza en las primeras apariciones de maleza en la cama del almácigo.

Control de plagas y enfermedades

La susceptibilidad de las hortalizas a las plagas y enfermedades se hace mayor cuando:

- a) No se usa semilla original de variedades resistentes, lo que da como resultado plantas débiles.
- b) Se aplica el riego en exceso causando inundaciones.
- c) La rotación de cultivos en el terreno ha sido inadecuada, recomendándose no sembrar dos veces seguidas la misma especie en un mismo terreno.

Si se llevan a cabo las recomendaciones fitosanitarias descritas desde la esterilización de los sustratos, disminuyen considerablemente los problemas de fitosanidad en el área física de los almácigos (García *et al.*, 2000). El riesgo de plagas y enfermedades es latente al momento del trasplante, y para minimizarlo o evitarlo se recomienda aplicar insecticidas y fungicidas sistémicos específicos en la plántula, tres días antes de su trasplante definitivo.

Referencias

- Agronegocios. 2001. Hortalizas Grupo Editorial Iberoamericano, S. A. de C. V. 196 p.
- Biblioteca de la Agricultura. 1998. Biblioteca de la Agricultura. España. Tomo 3, pp. 650-661.
- Bonner, J. y A. W. Galston. 1973. Principios de Fisiología Vegetal; segunda reimpresión, quinta edición, Aguilar S. A. Ediciones Madrid, España.
- Bosso, B. y C. Serafin. 1981. El Experto Horticultor Agt. Editor, S. A.
- Castañeda V., L. R. 1982. Producción de forraje verde hidropónico. Informe de Trabajo de Investigación. Div. de Investigación. CENAMAR-SARH. 75 p.
- COPLAMAR. 1983. Manual de Horticultura. Departamento de Fruticultura, Hortalizas y Floricultura. Editor. Presidencia de la Republica. 124 p.
- García C., R., I. E. Cárdenas Ch., J. M. Cárdenas V., E. Zamarripa R. 1982. Metodología para la construcción de almácigos de chile en Aguascalientes. pp. 7-27.
- García V., M. H., C. Patiño G., J. N. Barrios D. 2000. Tanque de descarga de fondo para huertos familiares. Manual Práctico. SAGAR. IMTA-UAZ.
- Gausto, G. 1999. Guía completa del cultivo del tomate. Editorial de Vecchi, S. A.
- Gordon, H. J. y J. A. Barden. 1984. Horticultura. Agt. Editor, S. A. 62 p.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 520 p.
- Guerrero M., A. 1984. Guía para cultivar chile ancho y pasilla en el centro y sur de Guanajuato. SAGAR-INIFAP CIAB. 35 p.
- Hernández C., A. 1997. Producción de plántulas en semilleros. IV Congreso Internacional de Nuevas Tecnologías Agrícolas. Vallarta, Jal.

- Martín V., L. 1976. Guía para la aplicación de los plásticos en la agricultura. Ed. Sociedad de Ingenieros en Plásticos, A. C. México, D. F. 185 p.
- Martínez S., J. 1985. Frecuencia de riego en el cultivo de melón (*Cucumis Melo* L.) por trasplante con y sin acolchado con plástico. Informe de investigación PRONAPA-SAGAR. 48 p.
- Mendoza M., S. F., J. Martínez S., G. García H. y H. Macías R. 1999. Melón con cintilla y acolchado plástico. IX Congreso de Irrigación. pp. 159-166.
- Moreno M., E. 1976. Manual para el Análisis de Semillas. Productora Nacional de Semillas, SAG, México, D. F. pp. 25-43.
- Ogden, S. 1983. Cultivo natural de las hortalizas. Editorial Diana.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. 3a. Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 369 p.
- Robledo de P., F. y L. Martín V. 1981. Aplicación de los plásticos en la Agricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 63-79.
- SAGARPA-INIFAP. 2001. Una forma de controlar la enfermedad del chino en el cultivo de jitomate en Morelos. Folleto Técnico INIFAP. Campo Experimental Zacatepec. JICA.
- SAGARPA-INIFAP. 2000. Jitomate para Riego Campo. Folleto Técnico Campo Experimental Zacatepec. JICA.
- Saray M., C. R. 1986. Almácigos de chile ancho en el norte de Guanajuato. Folleto Técnico SARH- INIFAP. CIAB.
- Serrano C., Z. 1977. Diez temas sobre la huerta. Vols. III y IV, Ministerio de Agricultura, Madrid, España. 201 p.
- Van Haeff, J. N. M. y H. D. Berlijn. 1982. Horticultura, Manuales para Educación Agropecuaria. Primera Edición.

Capítulo

4

Acolchados con Plásticos

Ma. Magdalena Villa Castorena

Introducción

El acolchado plástico es una técnica que consiste en colocar una lámina de plástico polietileno (PE) o policloruro de vinilo (PVC), total o parcialmente sobre el suelo. El propósito de esta técnica es proporcionar condiciones más favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas y consecuentemente obtener mayor rendimiento de los cultivos (Hopen y Oebker, 1976; Jensen y Malter, 1995). El acolchado plástico se usa principalmente en cultivos altamente remunerativos tales como las hortalizas y frutales, aunque también se emplea en otros cultivos como el algodón, maíz y caña de azúcar (Robledo y Martín, 1981; Jensen y Malter, 1995). Mediante el uso del acolchado plástico se favorecen las condiciones del microambiente alrededor de las plantas. Lo que estimula el crecimiento y, en consecuencia, el rendimiento del producto comercial (Martínez y Villa, 1982; Martínez, 1985; Chugoku, 1991; Mendoza et al., 1999; Powell, 1999). En el presente capítulo se discuten las ventajas y desventajas del uso de acolchado con plástico, las características de los plásticos, los tipos de láminas de plástico y su comportamiento espectrométrico, las modalidades del acolchado, colocación del plástico y épocas de acolchar, así como algunas recomendaciones generales para el uso del acolchado con plástico.

Ventajas y desventajas de los acolchados con plástico

El uso del acolchado plástico proporciona algunas ventajas para la producción agrícola, entre las que destacan las siguientes (Robledo y Martín, 1981; Lamont, 1991):

- a) **Aumento de la temperatura del suelo.** Durante el día el plástico transmite al suelo la energía proveniente del sol produciendo un efecto de invernadero. Durante la noche el plástico impide el paso del calor del suelo hacia la atmósfera, lo cual sirve como un medio de defensa para la planta contra las bajas temperaturas. Se ha reportado que la temperatura del suelo se incrementa hasta 15 °C en el estrato 0-10 cm de profundidad con el uso de acolchado plástico (Jiménez, 1987). La magnitud del incremento depende del color del plástico, época del año y espesor del plástico (Maeda, 1989a; Fleck *et al.*, 1999; Ham *et al.*, 1993; Zermeño *et al.*, 1998; Tarara, 2000). Además, las propiedades físicas y el contenido de humedad del suelo influyen también sobre el efecto del acolchado plástico en el incremento de la temperatura del mismo (Mahrer *et al.*, 1984; Maeda, 1989b).
- b) **Precocidad de cosechas.** El incremento de la temperatura del suelo causado por el uso de acolchado plástico provoca que el crecimiento de la planta se acelere, debido principalmente a una mayor absorción de nutrientes e incremento en la fotosíntesis, produciendo precocidad en la cosecha. Este aspecto es muy importante, sobre todo en la producción de hortalizas, ya que se logra mejor precio en el mercado. Por ejemplo, la precocidad de algunos cultivos como melón y sandía puede adelantarse de siete a 14 días utilizando un plástico de color negro en el norte de México (Martínez, 1985; López *et al.*, 1999; Mendoza *et al.*, 1999), mientras que el acolchado con plástico transparente acelera la cosecha también de melón y sandía hasta por 21 días (Jensen y Malter, 1995).

- c) **Reducción de la evaporación del agua del suelo.** El acolchado plástico produce una barrera física que impide la evaporación directa del agua desde la superficie del suelo hacia la atmósfera, consecuentemente el agua queda disponible únicamente para las plantas, lo que favorece el crecimiento y rendimiento comercial de los cultivos. Martínez (1985) y Munguia *et al.* (1998) señalan que el contenido de humedad del suelo utilizando acolchado con plástico negro es mayor con respecto a un tratamiento sin acolchar en el cultivo de melón. Este mismo efecto se observa en el cultivo de algodónero acolchado con película plástica de color negro (Maeda, 1989b).
- d) **Reducción o eliminación de malas hierbas.** Mediante la utilización de películas de plástico se frena considerablemente el desarrollo de malas hierbas debido a que las temperaturas debajo del plástico llegan a ser letales para su crecimiento. En el caso del acolchado con plástico opaco se reduce la transmisión de la mayoría de la radiación fotosintéticamente activa hacia el suelo, lo que impide el crecimiento de las malezas.
- e) **Mejoramiento de la estructura del suelo.** El suelo acolchado con plástico presenta una estructura ideal para el desarrollo de las raíces de la planta, la densidad y longitud de las raíces se incrementa en sentido horizontal debido a que tienen humedad a poca profundidad. Con el incremento de raicillas se asegura a la planta mayor absorción de agua, sales minerales y demás nutrimentos. La acción de las raíces sobre el suelo que las rodea y el aumento de la materia orgánica por la cantidad de raíces muertas al finalizar el ciclo de cultivo pueden tener influencia en una mejoría de la estructura del suelo superficial (SARH-INIA-PRONAPA, 1985; Tindall *et al.*, 1991).
- f) **Conservación de la fertilidad del suelo e incremento en la absorción de nutrimentos.** Con el acolchado plástico del suelo se eleva la temperatura y la humedad del mismo, estos factores favorecen la nitrificación y como consecuencia la disponibilidad de nitrógeno para la planta. Además, por la protección del suelo se evita el lavado de nutrimentos como consecuencia de la lluvia. Diversos estudios hechos en tomate y chile señalan que la concentración de nutrimentos en el suelo, tales como NH_4 , NO_3 y Mg se incrementan debido al acolchado con plástico negro (Bhella, 1988; Wells y Mitchell, 1998). Igualmente la ab-

sorción de NO_3 , P y K por plantas de chile jalapeño se incrementa con el acolchado con plástico negro (Potisek *et al.*, 1999). Esto debido quizás a la mayor concentración de los nutrimentos en el suelo o al mayor crecimiento de la raíz (Wien *et al.*, 1993).

- g) Modificación del intercambio gaseoso aire-suelo.** Estudios realizados recientemente en diversos cultivos hortícolas demostraron que el PE, por su poca permeabilidad a los gases, permite un almacenamiento de gas carbónico en un terreno acolchado, que a través de las perforaciones de plantación sube a la parte aérea de la planta y juega un papel importante en la fotosíntesis (Jensen y Malter, 1995).
- h) Facilita el control de insectos y enfermedades.** Mediante el uso de películas plásticas reflectivas ayuda a disminuir la población de insectos como los áfidos (Jones, 1991), trips (Greenough *et al.*, 1990) y mosquita blanca (Burgueño *et al.*, 1997). La reducción de la población de esos insectos puede ayudar a disminuir considerablemente la incidencia de enfermedades virales, puesto que áfidos, trips y mosquita blanca son los principales vectores en la transmisión de virus a las plantas. El uso del acolchado con plástico ha reducido la incidencia de algunas enfermedades tales como la marchitez por *Fusarium* sp en sandía (Martyn y Hartz, 1986) y tizones causados por *Xanthomonas campestris* (Stevens *et al.*, 1999).
- i) Calidad de los frutos.** El plástico al actuar como barrera de separación entre el suelo y la parte aérea de la planta evita que los frutos estén en contacto directo con el terreno, lo que ayuda a conservar la calidad y presentación de estos.

El uso del acolchado plástico presenta también algunas desventajas, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- a)** Cuando el acolchado plástico se coloca en forma manual es muy laborioso y se requiere una gran cantidad de mano de obra que depende del tipo de acolchado.
- b)** Costo del material plástico, lo que condiciona que sólo debe efectuarse en aquellos cultivos que sean altamente remunerativos.

- c) Necesidad de conocimientos técnicos para la implementación de esta práctica, ya que si no se maneja adecuadamente puede originar problemas serios como son: exceso de humedad en el suelo que se traduce en enfermedades y aumento en la población de insectos, así como propiciar la salinización de los suelos.
- d) Necesidad de eliminación del plástico. El Plástico acolchado no se descompone fácilmente, y debe ser removido para que no interfiera con las labores de cultivo futuras. Actualmente se ha dado mucha atención a la fabricación de películas plásticas fotodegradables y biodegradables. En el primer caso, la lámina de plástico se descompone después de haber recibido cierta cantidad de luz ultravioleta (Garrison, 1990). Las láminas biodegradables son descompuestas por algunos micro-organismos presentes en el suelo; estas películas aún se encuentran en la etapa experimental y están compuestas básicamente de almidón, polietileno y algunos ácidos orgánicos (McCraw y Motes, 1991; Jensen y Malter, 1995).

Características de los plásticos para acolchado

Los materiales plásticos que más se utilizan para la técnica de acolchado son: el polietileno (PE) y el policloruro de vinilo flexible (PVC) (Lamont, 1991; Díaz *et al.*, 2001). Los materiales de PE son láminas transparentes muy sensibles a la oxidación bajo la influencia del oxígeno atmosférico y a las radiaciones solares; esta oxidación los hace rápidamente frágiles. Sin embargo, con la adición de antioxidantes y absorbentes de la luz ultravioleta puede evitarse en gran parte esta sensibilidad a la oxidación, prolongando el período de vida útil de estos materiales. Las láminas de PE pueden ser pigmentadas con negro de humo, haciéndolas más resistentes a la acción de la intemperie y agentes atmosféricos. Las láminas de PE son menos densas que el agua y son flexibles.

El PVC es rígido, sin embargo, con el uso de plastificantes, estabilizantes térmicos y antioxidantes se logra un PVC flexible apropiado para el uso de acolchado en cultivos. Las láminas pueden ser transparentes u opacas de acuerdo al uso y fines que se pretenden alcanzar. Son menos sensibles a la oxidación y se usan láminas armadas, que constan de dos láminas superpuestas y pegadas, para lograr una mayor duración.

Considerando que el PE y PVC flexible son los materiales plásticos más empleados para el acolchado de suelos, es importante señalar lo siguiente: Las láminas de PVC de buena calidad tienen mejores características mecánicas que los de PE también de buena calidad y las características de los materiales de PVC armados son aún mejores. Las láminas de PE tienen un mejor comportamiento general frente a las diversas temperaturas. El PE resiste o conserva su flexibilidad a temperaturas más bajas que el PVC. Respecto a la durabilidad puede considerarse una ligera ventaja por parte del PVC siempre que sea de buena calidad. Esta ventaja se aumenta en el caso de los materiales de PVC armados. Con respecto a las propiedades ópticas, puede considerarse una ligera ventaja a favor del PVC.

Tipos de láminas de plástico y su comportamiento espectrométrico

El desarrollo en la tecnología de los plásticos ha conducido a la fabricación de una gran variedad de materiales para acolchado. Actualmente, es posible formular láminas de plástico para controlar o utilizar más eficientemente la energía luminosa y calorífica proporcionada por el sol y también la energía calorífica radiada desde el suelo. De acuerdo a la coloración de los materiales plásticos, existen en el mercado láminas transparentes, negro opaco, gris-humo, blanco, verde, marrón, rojo, azul, amarillo, metalizado. También hay láminas de doble color diferencial en la parte superior e inferior, respectivamente, como blanco y negro, plateado y negro, y rojo y negro.

Recientemente se ha introducido en el mercado un tipo de plástico transmisor de la radiación infrarroja (IRT), el cual transmite la mayoría de la energía calorífica del sol y absorbe la mayoría de la porción visible del espectro (Jensen y Malter, 1995). Este plástico IRT favorece el control de las malezas como lo hace el plástico negro pero incrementa la temperatura del suelo como lo hace el plástico claro. Los beneficios que se desean de las láminas utilizadas para el acolchado del suelo son los siguientes:

- Reflejen la luz visible hacia el cultivo con el fin de incrementar la fotosíntesis.
- Transmitan al suelo durante el día el máximo de calorías con el fin de aumentar la temperatura del mismo.
- Impidan al máximo el crecimiento de malas hierbas.
- Dejen salir durante la noche parte del calor acumulado en el suelo durante el día, con el fin de proteger a la planta de las bajas temperaturas del aire.

Los efectos producidos por los diferentes tipos de láminas de plástico sobre las plantas son diferentes como consecuencia del comportamiento espectrométrico de éstas durante el día y la noche. Las láminas de plástico pueden absorber, transmitir o reflejar la energía solar en términos de energía luminosa y energía calorífica. A continuación se presenta el comportamiento espectrométrico de los materiales plásticos más estudiados así como sus efectos producidos sobre las plantas (Robinson, 1991; Ham *et al.*, 1993; Tarara, 2000).

Efectos Diurnos.

Láminas transparentes (incoloras).

a) Radiaciones visibles:

La transmisión al suelo de las radiaciones visibles es entre un 80-84 por ciento; esta es la razón por la cual las malas hierbas crecen mejor bajo plástico transparente que en terreno sin acolchar. El crecimiento de las malas hierbas puede ocasionar molestias a los cultivos acolchados en la mayoría de los casos. Las láminas transparentes reflejan alrededor de un 10-11 por ciento y absorben solamente un cinco por ciento de las radiaciones visibles.

b) Radiaciones caloríficas:

El calentamiento del suelo es muy elevado debido a la fuerte transmisión de los rayos solares. Con esta lámina se produce la buena germinación de las semillas, favoreciendo el crecimiento de los cultivos y dando lugar a la obtención de cosechas precoces.

Láminas negro opaco.*a) Radiaciones visibles:*

La lámina de plástico negro opaco no transmite al suelo las radiaciones visibles. Como consecuencia, no se efectúa la fotosíntesis, no crecen las malas hierbas y esto representa una ventaja inmensa para esta lámina. Este tipo de película absorbe el 96 por ciento de la radiación visible y refleja sólo el uno por ciento (Tarara, 2000).

b) Radiaciones caloríficas:

La lámina color negro absorbe una gran parte del calor recibido y lo transmite por radiación hacia el suelo y a la atmósfera; debido a este fenómeno el suelo se calienta poco durante el día. El aumento de temperatura que se origina sobre la superficie de la lámina puede causar serios problemas, tales como: peligro de quemaduras ocasionadas a las plantas en contacto con la lámina, especialmente en el verano (lechuga, tabaco, etc.). La lámina se dilata al calentarse mucho en las horas calurosas del día, luego se somete a las contracciones durante la noche; esto obliga a que la lámina de color negro se coloque floja para evitar que se desgarre y pierda su condición de pantalla.

Láminas gris humo.*a) Radiaciones visibles:*

Esta lámina transmite aproximadamente el 35 por ciento de la radiación visible recibida, deteniendo considerablemente el crecimiento de las malas hierbas. La particularidad de este plástico es la de permitir una acción secundaria de destrucción de malas hierbas al ponerse en contacto con éstas, ya que, al calentarse por la absorción del calor solar, quema por contacto las malas hierbas que nacen bajo él.

b) Radiaciones caloríficas:

La transmisión calorífica es buena, apenas inferior a la lámina incolora.

Láminas blancas.*a) Radiaciones visibles:*

Estas láminas absorben y reflejan las radiaciones visibles en proporciones semejantes (51 y 48 %) pero transmiten muy poco la energía luminosa. Por lo tanto, el crecimiento de las malas hierbas debajo del plástico se reduce considerablemente.

b) Radiaciones caloríficas:

Las láminas de plástico blanco absorben casi la mitad del calor recibido y lo transmiten por radiación en su mayoría hacia la atmósfera y en menor proporción hacia el suelo. Debido a este fenómeno, la temperatura del suelo se incrementa muy poco durante el día, y en algunas ocasiones ésta disminuye ligeramente (Chugoku, 1991).

Láminas verde, marrón, amarillo, azul, rojo.*a) Radiaciones visibles:*

Estas láminas transmiten aproximadamente del 60-75 por ciento de las radiaciones visibles (depende de la intensidad de coloración de la lámina), por lo que el crecimiento de las malas hierbas se estimula, pero en menor cantidad que con el plástico transparente. Investigaciones recientes señalan que este tipo de láminas reflejan parte de las radiaciones visibles principalmente en la banda del azul y rojo del espectro; lo cual ha sido relacionado con incrementos en la fotosíntesis, crecimiento y rendimiento de algunos cultivos como tomate, fresa y nabo (Decoteau *et al.*, 1988; Gilby, 1990; Robinson, 1991; Tarara, 2000).

b) Radiaciones caloríficas:

Las láminas verde, marrón, azul y rojo absorben una pequeña parte del calor recibido. Esta absorción de calor está en función de la mayor a menor pigmentación de la lámina de plástico. Como la tonalidad de las láminas usadas para acolchado es suave y su espesor es pequeño, la absorción de calor es muy similar al que tiene la lámina transparente.

Láminas metalizadas.*a) Radiaciones visibles:*

Estas láminas no transmiten las radiaciones comprendidas entre 0.3 y 0.8 micras de longitud de onda, por lo tanto las malas hierbas no crecen bajo él. La particularidad que tienen las láminas metalizadas de reflejar la luz en todas direcciones permite a las plantas aprovecharla con mejor efectividad. Además se ha comprobado que las láminas metalizadas de superficie rugosa, al tener su relieve no direccional, dispersan la luz evitando con ello la concentración de dichos rayos en un área específica, que dan origen a sombras en las plantas. Esta reflexión y dispersión de luz crea alrededor de la planta un entorno más luminoso, el cual se aprovecha para producir mayor rendimiento. También se ha comprobado que la lámina de polietileno metalizado es muy eficaz para repeler insectos, particularmente el pulgón, que se desarrolla en las partes menos iluminadas de las plantas y que, al evitarse éstas como consecuencia de la reflexión de luz que originan dichas láminas, crea un ambiente que les es desfavorable.

b) Radiaciones caloríficas:

Las láminas metálicas absorben poco del calor que reciben dado que lo reflejan hacia el exterior. Este calor absorbido lo transmite por radiación hacia el suelo y lo retiene en casi su totalidad.

Efectos Nocturnos.

Láminas transparentes (incoloras).

La lámina incolora es mucho más permeable a la transmisión de las radiaciones emitidas desde el suelo hacia la atmósfera. Debido a que la elevación de la temperatura en los días de mucho sol es muy alta, las condiciones térmicas que el suelo puede aportar a la planta durante la noche suelen ser muy determinantes para la misma.

Láminas negro opaco:

Es relativamente poco permeable a la transmisión de las radiaciones emitidas desde el suelo hacia la atmósfera y comprendidas entre 7 y 35 micras. Por tanto, la planta apenas dispone de los aportes caloríficos del suelo.

Láminas gris humo:

La transmisión es ligeramente inferior a la lámina incolora, sin embargo, se tiene un buen calentamiento del suelo durante los días soleados. Además, como en el caso de las láminas transparentes, deja salir una buena parte de la radiación calorífica del suelo contribuyendo a evitar las heladas que suceden con las láminas negras (Robledo y Martín, 1981). En cierto modo, la planta goza de un equilibrio justo en el balance térmico, tanto en el suelo como en la superficie.

Láminas blancas:

Estas láminas aportan muy poco calor a las plantas durante la noche dado que el calentamiento del suelo durante el día es nulo o muy pequeño. Este tipo de láminas no debe usarse en zonas donde las temperaturas nocturnas se aproximen a cero grados centígrados.

Láminas verde, marrón, azul y roja:

Estas láminas permiten el calentamiento del suelo al dejar pasar las radiaciones recibidas durante el día en un 60-70 por ciento. Por la noche dejan escapar hacia el exterior un porcentaje elevado de las calorías acumuladas, beneficiándose la planta con ello, ya que las protege en cierta medida contra las bajas temperaturas. La menor o mayor liberación de calor del suelo (irradiación) hacia la atmósfera (planta), estará en función de la mayor o menor condensación de agua que se produzca en la cara interna de la lámina.

El comportamiento nocturno de estas láminas es muy parecido al de la lámina transparente, si bien la aportación de calor que la planta recibe del suelo es menor que con las láminas transparentes. Por eso, estas láminas de colores deben utilizarse con cierta reserva en zonas donde la temperatura del aire puede ser cerca del punto de congelación del agua.

Láminas metalizadas:

Estas láminas tienen un comportamiento nocturno muy parecido a las láminas negro-opaco. El calentamiento del suelo durante el día con estas láminas es pequeño, por lo tanto, la planta se ve privada durante la noche de aportaciones caloríficas del suelo. No deben utilizarse estas láminas en zonas donde las heladas sean frecuentes.

Tipos de plásticos a utilizar según las necesidades y duración de los mismos

El tipo de lámina a utilizar deberá estar acorde con las características particulares de la zona, época del año y tipo de cultivo, ya que dependiendo de esto se buscará lo siguiente: calentar el suelo, evitar su calentamiento, buscar precocidad de cosecha, entre otros. En el Cuadro 4.1 se presenta de manera resumida, para mayor facilidad de interpretación, algunas ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de plásticos.

La duración de las láminas de plástico dependerá de la calidad de los materiales, las condiciones climatológicas de la zona, estación del año, pigmentación de las láminas, incorporación de inhibidores de rayos ultravioleta, antioxidantes, tipo de material, manejo del mismo, etc. Cuanto mayores sean los espesores de estas láminas, mayor será su duración.

Las láminas transparentes sin tratar con inhibidores contra la radiación ultravioleta, tienen una duración inferior a un año, por lo que servirían para cultivos estacionales. Las láminas gris-humo y negro-opaco, debido a su pigmentación que inhibe la acción de los rayos ultravioleta, tienen mayor duración y pueden ser utilizados en cultivos de uno a tres años.

Para la elección del tipo de lámina a utilizar es necesario considerar el tipo de cultivo y las características particulares de la zona, pues si bien con todos los tipos se cumple el principal objetivo de evitar las pérdidas de agua del suelo por evaporación, hay otras características que son importantes para la planta como es la temperatura del suelo y los cambios producidos en el microambiente aéreo.

Modalidades del acolchado

El acolchado con plástico puede ser parcial o total, en este último caso se suele acolchar toda la superficie del suelo de tal forma que la parcela de cultivo queda totalmente cubierta. Con el acolchado parcial se tienen las siguientes variantes (Robledo y Martín, 1988; SARH-INIA-PRONAPA, 1985):

Acolchado de lomos de los surcos.

Acolchado de las camas.

Acolchado en forma de microtúnel sobre los lomos, camas o franjas.

Acolchado con círculos de plástico colocados en los lugares de siembra formando un microtúnel.

Acolchado con franjas de plástico sobre las hileras de plantas.

Acolchado en el surco de las camas.

Acolchado de los lomos de los surcos y camas.

Consiste en colocar la lámina de plástico sobre los lomos de los surcos o camas de los cultivos, sujetando con suelo todos los bordes de la lámina (Figura 4.1).

Cuadro 4.1 Características de las películas de polietileno empleadas en acolchados de suelos (Modificado de Robledo y Martín, 1981).

Tipo de Película	Beneficios	Inconvenientes
Transparente	Favorece la germinación de semillas cuando el acolchado se coloca antes de la siembra. Incrementa la temperatura del suelo durante el día. Protege los cultivos durante la noche al permitir el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmósfera. Induce la precocidad a los cultivos.	Favorece el crecimiento de las malas hierbas, las cuales compiten con las plantas cultivadas por agua y nutrientes. Estas malas hierbas levantan los plásticos.
Negro opaco	Impide el crecimiento de malas hierbas. Produce altos rendimientos. Induce precocidad de cosechas (menor que con el plástico transparente).	Calienta poco el suelo durante el día. Durante la noche la planta recibe poco calor del suelo. En días calurosos puede producir quemaduras en la parte aérea.
Gris humo	Calienta el suelo durante el día. Protege sensiblemente a la planta durante la noche al permitir el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmósfera. Produce precocidad de cosechas (menor que con el plástico transparente, pero mayor que con el negro). No produce quemaduras.	Menor precocidad de cosechas que la lograda con el plástico transparente.
Blanco	Impide el calentamiento del suelo. Evita el crecimiento de malas hierbas. Produce precocidad e incremento en las cosechas. No produce quemaduras al follaje debidas al contacto con la lámina.	No protege a la planta durante la noche al impedir la liberación de calor del suelo.

Verde, marrón, amarillo, azul, rojo	Calienta el suelo durante el día, aunque en menor cantidad que con las láminas transparentes. Protege a los cultivos durante la noche, al permitir el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmósfera pero en menor cantidad que con el plástico transparente. Atenúa el crecimiento de las malezas. Reflejan parte de la luz luminosa particularmente en la parte del azul y al final del espectro lo cual favorece al crecimiento y producción de fruto de algunos cultivos como la fresa, el tomate y nabo. Proporciona precocidad de cosecha similar al conseguido por el plástico transparente.	Crecimiento de malas hierbas, aunque menor que con el plástico transparente.
Metalizado	Suprime el crecimiento de malas hierbas. En plantaciones de verano impide el calentamiento excesivo del suelo y secado del sistema radical de la planta. Produce gran precocidad y rendimiento de cosechas superiores a las logradas con el plástico transparente.	Más costoso que cualesquiera de las películas anteriores señaladas. No protege a la planta durante la noche al impedir la liberación de calor del suelo.
Blanco sobre negro	Evita el calentamiento excesivo del suelo en lugares y épocas calientes. Produce precocidad en la cosecha e incrementa el rendimiento. Suprime el crecimiento de las malas hierbas. No produce quemaduras a las plantas por el calentamiento de las láminas.	Son materiales caros.
Negro sobre blanco (foto degradable)	Incrementa la temperatura del suelo a principios de la temporada pero ésta disminuye a medida que el color negro se descompone y el color blanco es expuesto. Suprime el crecimiento de malezas durante la estación de crecimiento entera. Proporciona precocidad e incrementos en las cosechas.	Son materiales caros.

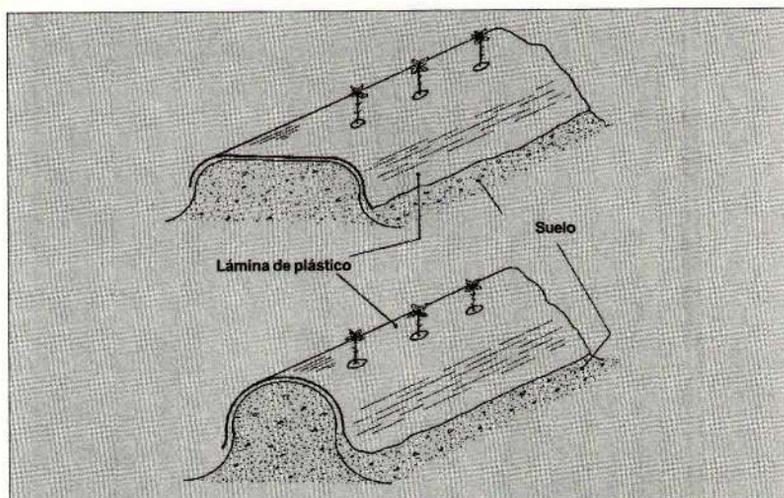


Figura 4.1. Acolchado de los lomos de los surcos y camas.

Acolchado en forma de microtúnel sobre los lomos, camas o franjas.

Esta modalidad es semejante al acolchado de los lomos de los surcos y camas, con la diferencia de que en los lugares de siembra, antes de acolchar se hacen hoyos de unos 15-20 cm de diámetro y una profundidad variable comprendida entre 5 y 25 cm donde se realiza el trasplante del cultivo que se va a acolchar. De esta manera se establece una especie de acolchado-túnel o microtúnel que permite a las plantas estar protegidas del exterior, sin necesidad de hacer el orificio de salida, durante el tiempo que germinan, emergen y comienzan su desarrollo (Figura 4.2). Es necesario utilizar película transparente para permitir el paso de los rayos solares.

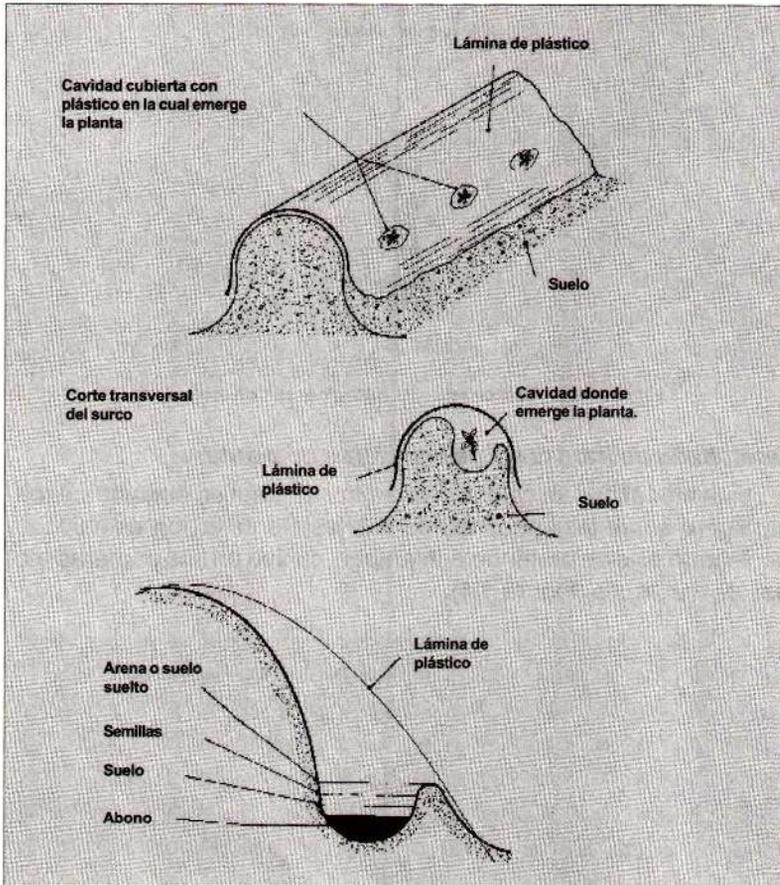


Figura 4. 2. Acolchado en forma de microtúnel sobre los lomos, camas o franjas.

Acolchado de microtúnel con círculos.

Esta forma de acolchado es parecida al acolchado en forma de microtúnel sobre los lomos, camas o franjas. Pero en lugar de colocar el plástico en franja continua sobre las líneas de cultivo, solamente se ponen círculos de plástico de un diámetro de 30 cm sobre la superficie donde se va a sembrar. Esta manera de acolchado es interesante cuando el marco de plantación es muy amplio y sólo interesa proteger a la planta durante la germinación, emergencia y primeras etapas de desarrollo (Figura 4.3).

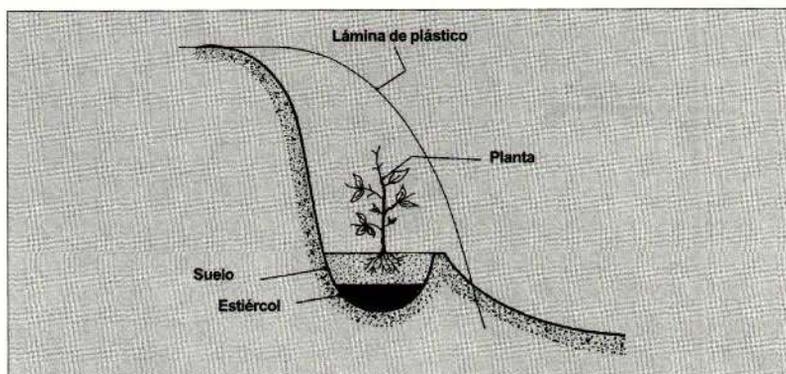


Figura 4.3. Acolchado de microtúnel con círculos.

Acolchado de franjas sobre las hileras de plantas.

En esta modalidad se coloca una lámina de plástico angosta y espesor ligero sobre las líneas donde van las plantas. Con este tipo de acolchado sólo se pretende adelantar el cultivo en sus primeras etapas de desarrollo (Figura 4.4).

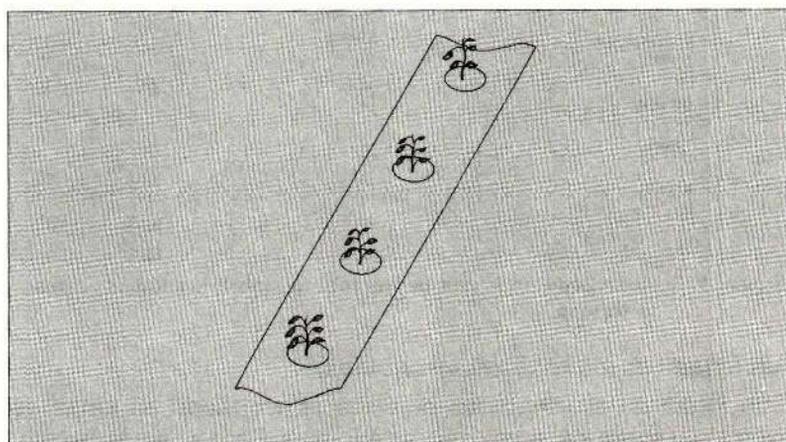


Figura 4.4. Acolchado de franjas sobre las hileras de plantas.

Acolchado en el surco de las camas.

Esta variante de acolchado consiste en colocar el plástico sobre el surco de las camas de los cultivos tales como melón y sandía, sujetando con suelo todos los bordes del plástico (Figura 4. 5).

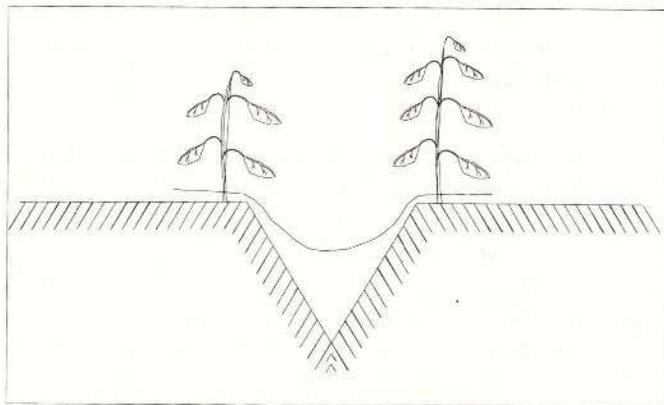


Figura 4.5. Acolchado en el surco de las camas.

Colocación del Plástico.

Colocación manual. El acolchado puede hacerse en forma manual o mecánica. Los pasos que deben seguirse para la colocación manual son los siguientes:

- a) Preparación del terreno de cultivo con las labores habituales construyendo surcos, camas, etc.
- b) A ambos lados del surco o cama que se vaya a acolchar, se hacen dos surcos de 10 cm de profundidad.
- c) En los extremos de los surcos o camas que se van a cubrir se hace una zanja de 20 cm de profundidad, sobre el cual se coloca el extremo de la lámina de plástico tapándola a continuación con suelo.
- d) Se desenrollan de ocho a 10 m de lámina y se dejan extendidas encima de la franja que se va a acolchar.

- e) Se estira el plástico con la ayuda de un operario mientras que otras dos personas van tapando unos 10 cm por cada lado del plástico sobre los dos surcos paralelos que previamente se hicieron. Se siguen desenrollando 8 ó 10 m de lámina y así se va haciendo hasta terminar la longitud de la franja que se acolcha.
- f) Al final de la cama o surco se sujeta el plástico de la misma forma que se hizo en el otro extremo de la franja que se está acolchando.

Al colocar el plástico se debe procurar que la lámina quede lo más tensada posible y muy pegada al suelo, con el fin de que las malas hierbas tengan poco volumen de aire para su desarrollo e inmediatamente de que hayan germinado cuando aún son muy jóvenes tomen contacto con el plástico y se quemen. Todos los bordes de la lámina que se tapen con el suelo deben quedar bien ocultas, sin que ninguna punta o borde del plástico salga a flor de tierra con el fin de que el viento no levante la lámina.

Colocación mecánica. En la actualidad existen, en otros países, diversas máquinas acolchadoras que vienen preparadas para sembrar, fertilizar y colocar el plástico (Díaz *et al.*, 2001). Sin embargo, en México la acolchadora más común es aquella que va acoplada al tractor por medio de un enganche a tres puntos que desenrolla, tiende y estira la hoja de plástico a una velocidad de 3 km h⁻¹ (Figura 4.6).

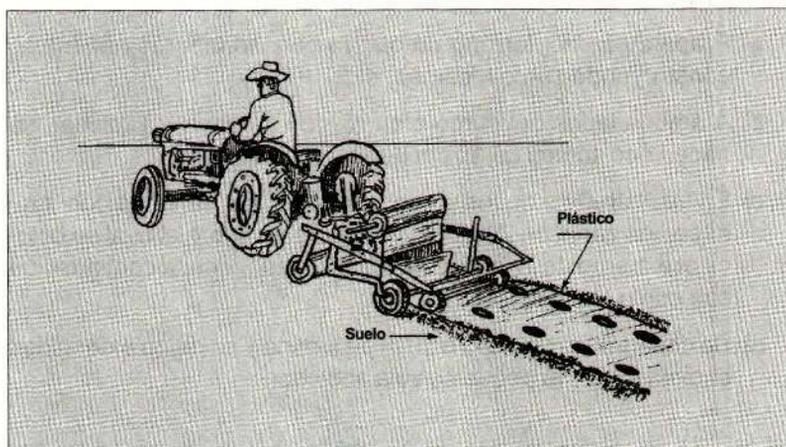


Figura 4.6. Colocación del plástico mediante una acolchadora.

La acolchadora consta de las siguientes partes:

- Un eje en que se coloca la bobina de plástico y sobre el cual gira ésta.
- Dos rejas que abren los surcos o zanjitas laterales donde se estira el plástico.
- Un rodillo para aplicar la lámina de plástico.
- Dos rejas o discos en la parte posterior que entierran el plástico en los surcos pequeños o zanjitas abiertas por las dos rejas anteriores.
- Dos ruedas de goma que sujetan el plástico mientras es enterrado por las rejas posteriores y, además, regulan la altura.

Epoca de colocación del plástico

La colocación de la película plástica en el suelo puede hacerse antes o después de la siembra o trasplante. Solamente se recomienda sembrar antes de acolchar en el caso de las siembras en microtúnel. Para ello, en los lugares de siembra se hacen unos hoyos de unos 15 a 20 cm de diámetro y una profundidad variable según el tiempo que vayan a estar las plantas dentro del microtúnel. Esta profundidad nunca será menor de cinco cm ni mayor de 20 a 25 cm. En el fondo de cada hoyo se hace la siembra, no es recomendable poner demasiadas semillas si su poder germinativo es alto.

Dentro del microtúnel germinarán las plantas y permanecerán hasta que su follaje tome contacto con la lámina de plástico, momento en que será necesario hacer una perforación en el plástico para sacar la planta del microtúnel. A continuación se saca la planta por el orificio procurando que los bordes del plástico no toquen el tallo para evitar quemaduras.

Cuando se vaya a acolchar después de haber trasplantado el cultivo, se extiende la lámina de plástico sobre los surcos, camas o franjas que se van a acolchar (Figura 4.7). La presión de la lámina sobre las plantas no las perjudica. Inmediatamente después de que se coloque el plástico se procede a realizar agujeros sobre la lámina en aquellos lugares donde estén las plantas. Las perforaciones que se hagan en

las láminas para acolchado deben efectuarse en forma de círculos, con un diámetro de ocho a 10 cm, nunca se harán en cruz o hendiduras, con el fin de evitar que el plástico pueda ser desgarrado por el viento.

Cuando la siembra o trasplante se lleve a cabo después de haber acolchado, éstas se realizan en los marcos de plantación correspondientes a cada especie. Para esto se perfora el plástico antes o al momento del trasplante, (Figura 4.8). En ambos casos hay que procurar que los bordes del orificio no toquen el tallo de la planta para evitar quemaduras.

Figura 4.7. Forma de colocar el plástico sobre los surcos después de haber trasplantado.

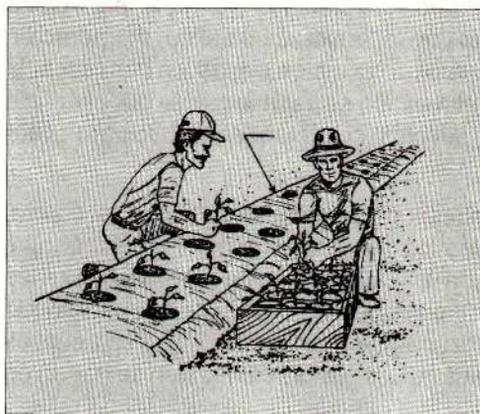


Figura 4.8. Trasplante después de acolchar en los marcos de plantación recomendados para cada cultivo.

Recomendaciones generales para el acolchado

Entre los materiales plásticos que existen en el mercado, el agricultor debe buscar el que se adapte más a sus necesidades. Para esto, es conveniente tener en cuenta las siguientes recomendaciones con el fin de obtener el mejor provecho del uso del acolchado:

Antes de decidirse por un tipo de lámina, es fundamental conocer su comportamiento y si las ventajas que el mismo proporciona son las deseadas (precocidad, rendimiento, control de malezas, plagas y enfermedades). Se deben tomar ciertas precauciones a la hora de colocar las láminas de plástico entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

Evitar la colocación del plástico en días calurosos y con mucho viento.

No poner el plástico demasiado tirante ni pisarlo.

El orificio que se practique en la lámina para efectuar la siembra o el trasplante deberá ser circular, cuyo diámetro estará en función del porte del cultivo.

Los bordes laterales de la lámina plástica no se deben enterrar muy profundos para facilitar la infiltración del agua hacia las raíces cuando llueve.

Referencias

- Bhella, S. H. 1988. Tomato response to trickle irrigation and black polyethylene mulch. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 543-546.
- Burgueño H., J. N. Gómez. R., I. Montoya M., M. Barba L. 1997. Efecto del color del acolchado plástico sobre el crecimiento, producción e incidencia de plagas en el cultivo de tomate en el valle de Culiacán, Sinaloa. p 28-53. En H. Burgueño. *La Fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico*. Vol. 3. BURSAG, S. C. Culiacán, Sin., México.
- Chugoku, T. H. 1991. The effect of mulching and row covers on vegetable production. Food & Fertilizer Technology Center. An International Information Center for Farmers in Asia Pacific Region. Taipei, Taiwan. p. 10.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, D. D. Daniels, and P. G. Hunt. 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. *Scientia Hort.* 34: 169-175.
- Díaz S., T., E. Espí G., A. Fontecha R., J. C. Jiménez G., J. López G. y A. Salmerón C. 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. Mundi-Prensa. REPSOL YPF. 320 p.
- Fleck, J. E., M. D. Orzolek and W. L. Lamont Jr. 1999. Crop response and plastic characteristics of experimental colored mulches. Proceedings of the 28th National Agricultural Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Tallahassee, Florida, USA. p. 72.
- Garrison, S. A. 1990. Managing degradable mulches. *Amer. Veg. Grower.* 38: 73-76.
- Gilby, G. W. 1990. Speciality horticultural films, based on polyethylenes, for greater control of the growing environment. Proceedings of the XI International Congress on the use of Plastics in Agriculture. New Delhi, India. p. G67-G73.
- Greenough, D. R., L. L. Black, and W. P. Bond. 1990. Aluminum-surfaced mulch: An approach to the control of tomato spotted wilt virus in solanaceous crops. *Plant Disease* 74: 905-808.

- Ham, J. M., G. J. Kluitenberg, and W. J. Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulches affected the field temperature regime. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 188-193.
- Hopen, J. H. and N. F. Oebker. 1976. Vegetable crop responses to synthetic mulches. Univ. of Illinois, Specc. Publ. 42.
- Jensen M. H. and A. J. Malter. 1995. Protected agriculture a global review. World Bank Technical Paper Number 253. Washington, D. C.
- Jiménez D., F. 1987. Solarización para el control de malezas y marchitez del melón en la Comarca Lagunera. Avances de investigación en tecnología de producción de melón. INIFAP-UNOPHF.
- Jones, R. A. C. 1991. Reflective mulch decrease the spread of two non-persistently aphid-transmitted viruses to narrow lupin (*Lupinus angustifolius*). *Annals of Applied Biology.* 118: 79-85.
- Lamont, W. J. 1991. The use of plastic mulches for vegetable production. Dept. of Hort. Kansas ST. Univ. p.13.
- López E. J., F. F. Preciado, A. A. Alvarez y C. P. Valenzuela. 1999. Evaluación de dos coeficientes de tina en sandía bajo acolchado plástico. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación (ANEI, A. C.).
- Maeda M., C. 1989a. Efecto del acolchado con diferentes colores y espesores de plástico sobre la temperatura del suelo. Informes de Investigación 1988. CENID RASPA-INIFAP-SARH. 3: 375-398.
- _____. 1989b. Dinámica de la humedad del suelo en el cultivo de algodónero arropado con plástico. Informes de Investigación 1988. CENID RASPA-INIFAP-SARH. 3: 349-373.
- Mahrer, Y. O., N. E. Rawiti, and J. Katan. 1984. Temperature and moisture regimes in soil mulched with transparent polyethylene. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 8: 362-367.
- Martínez S., J. 1985. Frecuencia del riego en el cultivo del melón (*Cucumis melo* L.) por trasplante con y sin acolchado plástico. Tesis UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 76 p.

- Martínez S., J. y M. Villa C. 1982. Producción de lechuga por trasplante con y sin acolchado total de plástico. CENAMAR-SARH.
- Martyn, R.D. and T. K. Hartz. 1986. Use of soil solarization to control Fusarium wilt of watermelon. *Plant Disease*. 70: 762-766.
- McCraw, D. and J. E. Motes. 1991. Use of plastic mulch and row covers in vegetable production. Oklahoma Cooperative Extension Service OSU Extension Facts F-6034. Oklahoma, USA. pp. 11.
- Mendoza M., S. F., G. García H., J. Martínez S. y H. Macías R. 1999. Productividad del agua en tres sistemas de producción en sandía con riego por cintilla y acolchado plástico. IX Congreso Nacional de Irrigación. ANEI, A. C. Culiacán, Sin. México. pp. 159-166.
- Munguia, J., L. R. Quezada, A. Zermeño G. and V. Peña. 1998. Plastic mulch effect on the spatial distribution of solutes and water in the soil profile and relationship with growth and yield of muskmelon crop. Proceedings 27th National Agricultural Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Tucson, Arizona. USA. pp. 173-177.
- Potisek T., M. C., S. F. Mendoza M. y J. L. González B. 1999. Producción de chile jalapeño bajo riego por cintilla subsuperficial, en dos regímenes de humedad y acolchado plástico. IX Congreso Nacional de Irrigación Culiacán, Sin. México. pp. 153-158.
- Powell, N. L. 1999. Effect of red and black plastic mulch with drip irrigation on melon production in southeast Virginia. Proceedings of the 28th National Agricultural Plastics Congress American Society of Plasticulture. Tallahassee, Fl. 73 p.
- Robinson, D. W. 1991. Developments in plastic structures and materials for horticultural crops. Food & Fertilizer Technology Center. An International Information Center for Farmers in the Asia Pacific Region. Taipei, Taiwan. 13 p.
- Robledo de P., F. y V. L. Martín. 1981. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Edición Mundi-Prensa. Madrid, España.
- _____ 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. 2^a Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 624 p.

- SARH-INIA-PRONAPA. 1985. El uso de las películas de plástico como arropado del suelo para la producción agrícola. Academias de curso. Gómez Palacio, Dgo. México. p.165.
- Stevens, C., V. A. Khan, C. Stevens III, D. J. Collins, J. E. Brown, and A. Wilson. 1999. The effect of black plastic mulch on mosaic viral, common bacterial blight and stubby root nematode diseases of pole snapbeans. Proceedings of the 28th National Agricultural Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Tallahassee, Florida, USA. pp. 48-50.
- Tarara, J. M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. HortScience. 35: 169-180.
- Tindall, J. A., R. B. Beverly, and D. E. Radcliffe. 1991. Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation. Agronomy Journal 83: 1028-1034.
- Wells, O. S. and J. R. Mitchell. 1998. Soil nitrate conservation in bell pepper with plastic mulch. Proceedings 27th National Agricultural Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Tucson, Arizona, USA. pp. 179-184.
- Wien, H. C., P. L. Minotti, and V. P. Grubinger. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient of transplanted tomatoes. Journal of the American Society for Horticultural Science. 118: 207-211.
- Zermeño, A., R. Martinez, and J. Munguia. 1998. The effect of four plastic mulches on the top soil temperature and its relations with the growth and yield of muskmelon. Proceedings 27th National Agricultural Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Tucson, Arizona, USA. pp. 112-117.

Capítulo

5

Túneles para Cultivos

**Josefina Martínez Saldaña
Luis Fernando Flores Lui**

Introducción

Los túneles y los acolchados son las dos técnicas más comunes del semiforzado de cultivos. Establecer cultivos con túneles de plástico en los periodos invernales ofrece grandes ventajas para las plantas, ya que las mismas se protegen permanentemente de las bajas temperaturas. La eficacia de este sistema de protección radica en el efecto de invernadero que produce el túnel en su ámbito interior permitiendo la obtención de cosechas fuera de las épocas normales de producción, incrementando la posibilidad de lograr mejores precios de mercado con buena calidad de frutos y ahorro de agua. Entre sus múltiples beneficios, los túneles proporcionan a la planta protección contra el frío, viento y heladas, facilitan también el control de plagas y enfermedades y promueven un mejor aprovechamiento de los fertilizantes y el riego. En este capítulo se presentan las ventajas y desventajas del uso de los túneles, tipos de túneles, cubiertas plásticas utilizadas en los túneles, características de los túneles, riego y sus diferentes formas de aplicación, ventilación, anclaje y sujeción de los túneles, reglas generales para el semiforzado de cultivos bajo túneles y microtúneles.

Ventajas y desventajas de los túneles

Las ventajas de este sistema de producción son variadas, sin embargo, las siguientes definen sus principales bondades:

- Permiten la obtención de cosechas fuera de las épocas normales de producción, ya que la siembra o el trasplante se realizan antes o después de las fechas tradicionales, permitiendo obtener cosechas en temporada en que se puede lograr mejores precios de mercado.
- Protege a la plántula y a los cultivos del frío, heladas, plagas, vientos, etc.
- Incrementa la productividad del agua y los fertilizantes.
- Mantiene el terreno con la humedad adecuada, lo cual facilita el desarrollo de la parte radicular de la planta.
- Aumenta considerablemente los rendimientos del cultivo.

Dentro de las desventajas de los túneles se pueden mencionar las siguientes:

- Representa un costo adicional al cultivo por la adquisición, instalación y operación de esta infraestructura.
- Se requiere capacitación de mano de obra para la ventilación del cultivo; si ésta no se realiza apropiadamente, se puede perder todo el cultivo por los cambios bruscos de temperatura.

Cubiertas plásticas para túneles.

Para la cubierta de los túneles se emplea material plástico flexible transparente. Las características o medidas de las películas que se utilizan para cubrir varían según se trate de climas fríos o cálidos, de la intensidad y velocidad de los vientos, así como del cultivo que se va a proteger y el tipo de túnel que se vaya a instalar. Cuanto mayor sea el espesor del plástico, más protección dará a la planta, más impermeable resultará a las radiaciones nocturnas emitidas por el suelo y la planta y, consecuentemente, retendrá por más tiempo el calor.

El plástico que se recomienda utilizar como cubierta se conoce en el mercado nacional como polietileno térmico de larga duración, cuyo espesor varía desde 60 hasta 800 micras. Otra opción es utilizar polietileno térmico con multicapa interior, cuyas propiedades de antigoteo no permiten la condensación del agua en la cara interior del plástico (Díaz *et al.*, 2001).

Tipo de túneles

Los túneles se clasifican de acuerdo a su función y forma. Por su función, los túneles pueden ser para almácigos y túneles semiforzados. En cuanto a su forma, los túneles son pentaédricos y semicirculares.

Túneles para almácigos.

Los túneles para almácigos funcionan como abrigo que protegen a las plántulas de los factores adversos del clima (Guenkov, 1974 y Thoshio, 2000). En el presente capítulo se describen únicamente los aspectos relacionados con la construcción de los túneles. Cualquier tipo de túnel aquí descrito sirve como protección para los almácigos.

Túneles semiforzados.

Los túneles semiforzados son una protección permanente del cultivo desde la siembra o trasplante hasta la cosecha (Martín, 1976). Los materiales más usados para la construcción de los túneles son el plástico flexible para la cobertura, y para la estructura que lo sostiene, el fierro o la madera. Su utilización es diversa, dependiendo del cultivo.

Para construir las estructuras o soportes se utiliza material metálico como varilla de construcción, alambón, alambre recocado, alambre galvanizado, así como hilo de ixtle o rafia, y estacas de madera. También se puede utilizar sauce, carrizo, jara o cualquier rama de arbusto o árbol que sea flexible. Estos últimos materiales deben utilizarse pulidos o cepillados con la finalidad de que no rompan el plástico (Robledo y Martín, 1981).

El éxito de la instalación de los túneles reside en el uso de un buen método de sujeción y anclaje del plástico a los soportes y al suelo. En cuanto a las dimensiones, mientras mayor sea éste, mayor deberá ser el espesor de la película plástica y la resistencia de la estructura. Una película plástica gruesa no sólo resistirá mejor la acción del viento sino además protegerá a los cultivos de las bajas temperaturas (Terrones, 1985).

Los túneles que se utilizan en la producción forzada de cultivos constan de los mismos elementos: arcos usados como estructuras, láminas de plástico para su cobertura, y difieren unos de otros en el sistema de anclaje y sujeción del túnel (SAGARPA-INIFAP, 2000 y 2001). Así pues, teniendo en cuenta estos dos factores pueden considerarse los pentaédricos y los semicirculares los más comunes.

Túneles pentaédricos.

Las principales ventajas que ofrecen son:

- Solidez y gran resistencia al viento.
- Simplicidad de montaje. La fijación y colocación de la película es sencilla y rápida, permitiendo tensar el plástico lo suficiente para que no se produzcan aleteos sobre su superficie y por tanto, no se tiene el riesgo de desgarramiento.
- Ligereza de peso y facilidad de manejo.
- Facilidad de almacenaje. En reducido espacio se puede apilar un gran número de armazones.
- Facilita las labores culturales a lo largo del ciclo vegetativo (riegos, escardas, aclareos, etc.).
- Ventilación adecuada cuando se utiliza para semillero, ya que se emplea en superficies reducidas.

El inconveniente de este tipo de túneles es el requerimiento de estructuras más elaboradas y costosas que los semicirculares, por eso su aplicación queda reducida a cubrir superficies pequeñas como:

a) Semilleros:

Es la estructura más adecuada para la reproducción de plántula de hortalizas y especies forestales.

b) Jardinería:

Semiforzado de gladiolos, tulipanes, jacintos, etc.

c) Huertos familiares:

Semiforzado de cultivos de porte bajo como zanahoria, rábano y betabel, entre otros (Serrano, 1977).

Túneles semicirculares para cultivos semiforzados.

Estos abrigos presentan la forma de túneles semicirculares, es decir, están formados por arcos de alambre, caña, sauce, mimbre, etc., unitarios e independientes entre sí y sobre los que descansa el plástico, alcanzando la longitud que se desee. Están más generalizados que los pentaédricos y se utilizan para el semiforzado de cultivos hortícolas de porte bajo y alto (Gordon y Barden, 1984).

Los diversos túneles semicirculares difieren unos de otros en el sistema de anclaje y sujeción del plástico al suelo y a los arcos, respectivamente, constituyendo las dos características primordiales para su diferenciación y adaptación a las diversas zonas de cultivo (Quero y Hernández, 1984).

Variantes de túneles semicirculares.

Por ser este tipo de túnel el más usado por parte de los horticultores, la descripción del establecimiento de túneles se hace en relación a los semicirculares.

Anclaje y sujeción de los túneles

Los túneles semicirculares como ya se mencionó, difieren unos de otros en el sistema de anclaje al suelo y sujeción del plástico a los arcos. De acuerdo a la diversidad de anclaje y sujeción tanto de la estructura como del plástico, se describen los siguientes tipos:

- Sujeción del plástico utilizando suelo adyacente.
- Alambre de tensión para el plástico.
- Alambre cruzado para tensar el plástico.

Sujeción del plástico utilizando suelo adyacente.

Son los más usados; el anclaje del plástico a los costados del túnel se realiza correctamente vaciando una palada de suelo de tramo en tramo sobre el borde de la película. Si se quiere dar mayor seguridad al anclaje o se desea conseguir mayor hermetismo en el túnel, se pueden enterrar en su totalidad los bordes laterales del plástico (Bosso y Serafini, 1981). En la Figura 5.1 se observa un ejemplo de este anclaje.

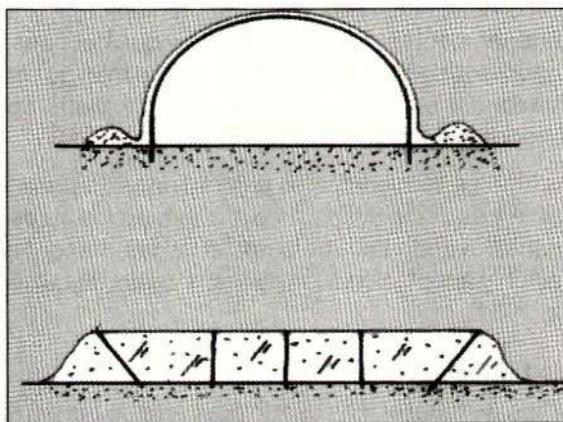


Figura 5.1. Túnel con sujeción del plástico utilizando suelo a) sección transversal, b) sección longitudinal.

Túnel con alambre de tensión para el plástico.

Lo típico de este anclaje es el conjunto de alambres que se tensan a lo largo del túnel, haciendo contacto y amarre con cada uno de los arcos; ordinariamente se utiliza alambre recocado para este propósito. Este sistema de tensión proporciona bastante solidez al túnel y evita el contacto del plástico con las hojas y tallos del cultivo. Para sujetar el plástico se coloca alrededor del túnel hilo de rafia o ixtle para evitar aleteo. En la siguiente figura se muestra este tipo de anclaje:

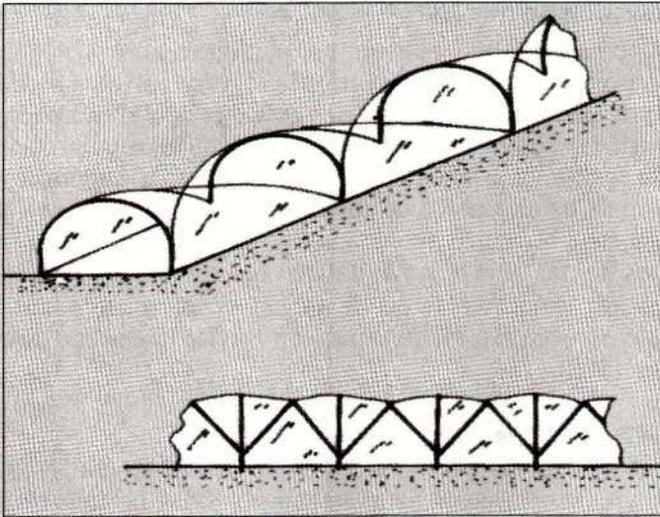


Figura 5.2. Túnel con amarre cruzado para tensar el plástico.

Túnel con amarre cruzado para tensar el plástico.

Este anclaje es el más elaborado y puede ser una combinación de los anclajes antes descritos, agregando el cruce de hilo de rafia o ixtle sobre el plástico entre arco y arco. Este anclaje es el que proporciona mayor seguridad para los dos propósitos de uso: reproducción de plántula y desarrollo de cultivos hortícolas. Los detalles del túnel se observan a continuación:

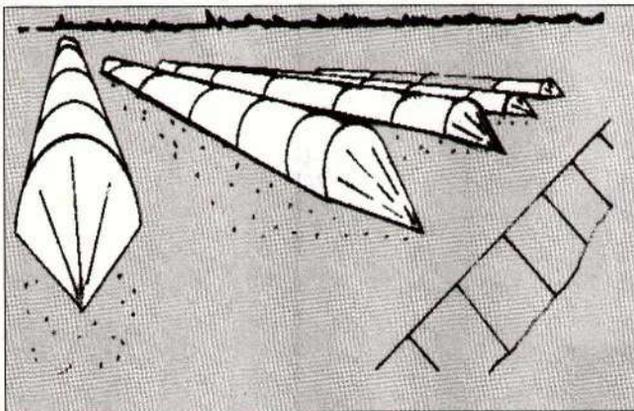


Figura 5.3. Túneles con amarre cruzado.

Túneles con doble capa de plástico.

Este tipo de túnel está cubierto por una doble lámina plástica que queda bien sujeta y tensa, sin arrugas ni bolsas en su superficie. El efecto de "abrigo" de estos túneles es superior a los anteriores y la ventilación se realiza con facilidad, ya que con levantar el plástico se desliza por los arcos-soporte, permaneciendo fijo a la altura deseada. El costo de estos túneles es superior a los construidos con lámina sencilla, pero ofrecen mayor protección a los cultivos y alta resistencia a los vientos. Son recomendables para zonas frías. Actualmente en el mercado nacional se puede adquirir polietileno térmico de diferentes calibres, con elevada capacidad térmica (Biblioteca de la Agricultura, 1998).

Túneles cubiertos con lámina perforada.

Cuando se emplean plásticos perforados, el tipo de túnel más adecuado y de menor costo es el de sujeción de la película utilizando suelo. Los perforados no son recomendables para aquellas zonas con fríos severos y riesgos permanentes de heladas (Figura 5.4). Con este tipo de túnel no se requiere ventilación lateral manual. El uso de perforados para zonas poco iluminadas, donde los días claros son poco abundantes, ya que impiden la condensación de agua sobre la cara interior del plástico. Los cultivos aprovechan por lo tanto, una mayor luminosidad (Biblioteca de la Agricultura, 1998).

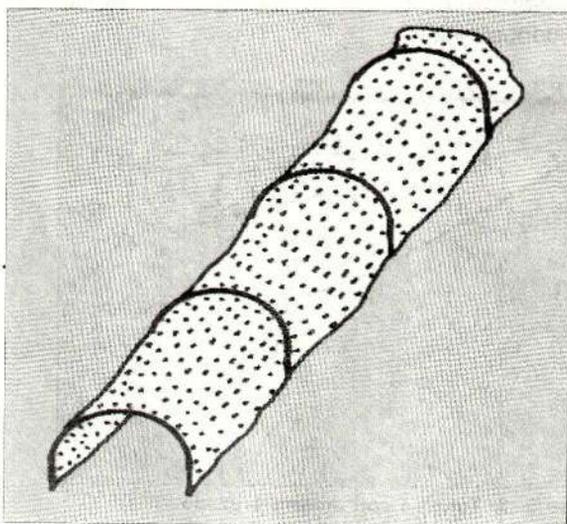


Figura 5.4.
Túnel con
cubierta
perforada.

Características de los túneles

Dimensión del túnel.

El tamaño de los túneles es muy variado, pero comúnmente oscila entre los 0.15 y 3 m de ancho por 0.15 a 2 m de altura. Se debe tener bien definido cuánto tiempo va a operar el túnel de acuerdo a su propósito: reproducción de plántula o desarrollo parcial o total del cultivo. Bajo esta consideración se determina el tamaño de la estructura, por ejemplo, si el túnel es para desarrollo de plántula a fin de proteger el cultivo de un mes o dos meses, éste debe ser de 0.50 a 0.75 m de altura.

Anclaje y sujeción.

Uno de los factores de éxito de los túneles es el correcto anclaje y sujeción del plástico para evitar la acción destructora de los vientos.

Instalación de los túneles.

Para determinar el momento de la instalación se deben considerar los siguientes elementos: dirección del viento, el material que se va a utilizar y las dimensiones de los túneles. Cuando se han tomado en cuenta todos estos aspectos se deben orientar los túneles de una manera paralela a la dirección de los vientos dominantes de la región (Guerrero, 1984; Saray, 1986).

Preparación del suelo.

Se realizan primeramente las labores culturales como barbecho, rastro, nivelación, formación de surcos. Se procede posteriormente con la colocación de los arcos del túnel (Agronegocios, 2001).

Riego y sus diferentes formas de aplicación

El riego de los cultivos semiforzados con túneles se hace por gravedad en surcos interiores o exteriores al túnel o bien, a través de riego localizado como goteo con cintilla.

Riego en el interior del túnel.

La aplicación del agua de riego se lleva a cabo en el interior del túnel (Figura 5.5). En esta modalidad la desventaja es la elevada humedad relativa que se presenta en su interior, lo que podría ocasionar alta incidencia de enfermedades fungosas. Para evitar este problema se recomienda acolchar la canaleta de riego.

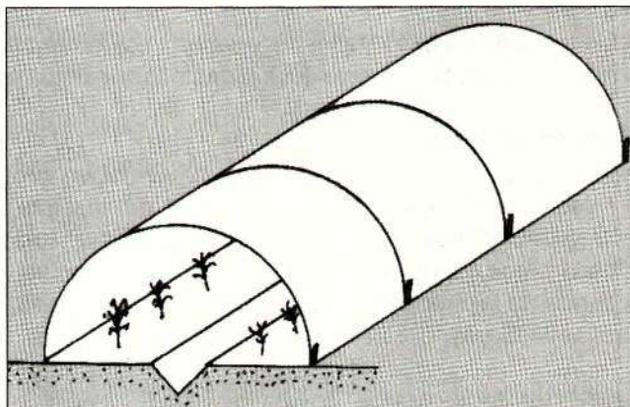


Figura 5.5. Riego en el interior del túnel.

Riego en el exterior del túnel.

La regadera se traza en el exterior del túnel, como se ilustra en las Figuras 5.6 y 5.7, el cultivo se localiza en la parte alta de la cama y se recomienda acolchar complementariamente la parte en donde se localiza el cultivo como en la canaleta de riego, esto es con la finalidad de evitar malezas y pérdidas por evaporación del agua de riego.

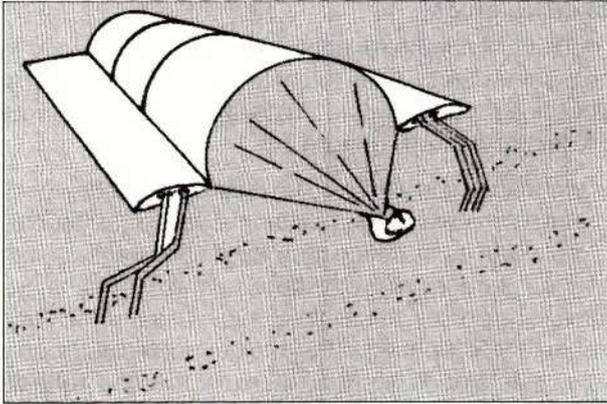


Figura 5.6. Riego en el exterior del túnel con acolchado.

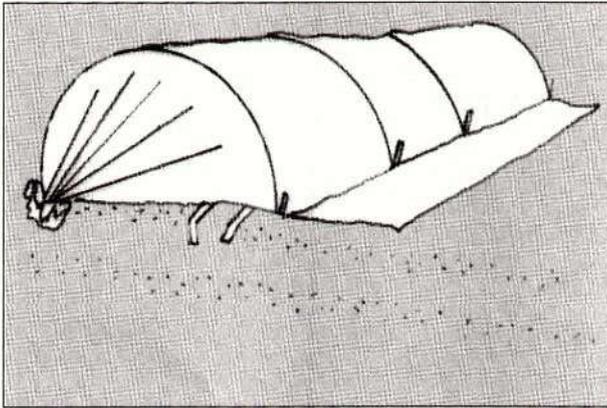


Figura 5.7. Riego en el exterior del túnel sin acolchar.

Riego por goteo.

Este sistema de riego es el más común a nivel comercial. La cintilla se coloca antes o durante el acolchado plástico. De acuerdo al tipo de cultivo y la cantidad de hileras de planta se pueden instalar una o varias cintillas en el surco (Wells y Loy, 1985).

Distancia de los arcos.

Una vez definido el criterio respecto al sistema de riego, y formados los surcos o camas se instalan los arcos-soporte del túnel sobre las respectivas regaderas o camas. La distancia entre los arcos estará en función del tipo de túnel (Figura 5.8).

Los arcos fabricados con varilla de un cuarto o tres octavos de pulgada de diámetro se clavan a una distancia aproximada de 3 m. Si el material de soporte es flexible o muy frágil como la jara o materiales semejantes, se debe instalar a distancias más cortas. Según la textura del terreno, los arcos se clavan al suelo a una profundidad de 25 a 30 cm (Ibarra y Rodríguez, 1984). Cuando se utiliza alambrcn y éste es de un diámetro de 6 mm, la altura del túnel no debe ser mayor de un metro, y su anclaje se debe acompañar con estacas para que el viento no lo derribe.

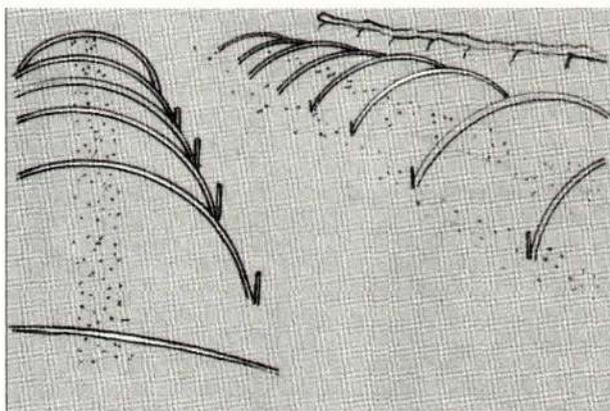


Figura 5.8. Estructura de los túneles.

Colocación de la cubierta plástica.

Una vez instalados los arcos sobre el terreno y después de realizar la siembra o trasplante, se procede con la colocación de la cubierta plástica sobre los arcos (Ramírez, 1994). Para esto conviene elegir un día de calma, sin viento. En invierno y a principios de primavera, los mejores días son los despejados, a media mañana.

Se recomienda instalar el plástico en horas de más calor con el propósito de que quede tenso, ya que si se hace en horas frías, en el momento en que se presentan altas temperaturas, se forman bolsas y arrugas. Con humedad o lluvia el plástico se maneja con dificultad, ya que se resbala entre las manos. Para la colocación del plástico se

comienza por uno de los extremos del túnel, en el cual se debe enterrar previamente una extremidad de la lámina de plástico; de esta forma, la película evita ser arrastrada por los operarios que la van colocando, y sobre todo se facilita su tensado (Daza, 2001).

Ventilación

Deben evitarse en el interior del túnel temperaturas excesivas, pues además de propiciar enfermedades fungosas, puede perjudicar el buen desarrollo de la planta (Martínez y Villa, 1982). Con elevadas temperaturas la planta transpira más y los estomas podrían cerrarse si llegara a faltar agua en el suelo. Si así sucediera, el aire no llegaría en cantidad suficiente a las cavidades subestomáticas, y el CO_2 no se suministraría a las células parenquimatosas en cantidades suficientes, dada la escasez de él en el aire. La aireación de los túneles es por lo tanto, esencial (Razo, 1992). En la Figura 5.9 se observan los diferentes tipos de ventilación en las estructuras de los túneles.

La temperatura en el interior del túnel es superior a la del ambiente en 4 a 5 °C, ya que el plástico transparente permite el paso del 80 al 90 por ciento de la radiación solar, provocando con ello el incremento señalado. Las temperaturas elevadas pueden perjudicar el desarrollo vegetativo de los cultivos, por eso en épocas de calor se debe tener la precaución de ventilar los túneles y que la película de plástico no toque la planta, pues de lo contrario se podrían producir quemaduras en los tallos y hojas.

En las plantas cultivadas existen periodos críticos de temperaturas que se deben considerar, ya que para cada especie hortícola se tienen exigencias muy concretas en cuanto a los límites de las temperaturas máxima y mínima. Por eso, el control de las temperaturas en el interior del túnel debe hacerse en función de la especie y la época del año.

Se debe evitar, más que un enfriamiento rápido, una desecación violenta del ambiente interior del túnel, ya que las plantas, adaptadas a su ambiente artificial, recibirían mucho daño con este cambio brusco (Salisbury y Ross, 1994). A medida que se hace necesario aumentar la ventilación para evitar altas temperaturas o humedad relativa, la vigilancia debe ser más cuidadosa, con el fin de que la operación sea paulatina y no rápida.

De acuerdo a lo anterior, es importante ventilar los cultivos en días calurosos o cuando las plantas están en su fase de floración y fecundación, ya que la temperatura y humedad elevadas en el interior del túnel pueden provocar aborto de órganos fructíferos, daños al polen, etc. También es importante ventilar durante la formación de la cabeza de los cultivos como lechugas y, en general, en la formación de frutos y raíces.

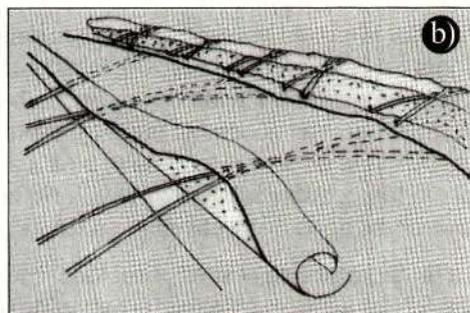
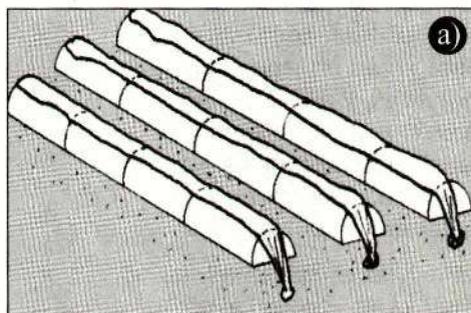
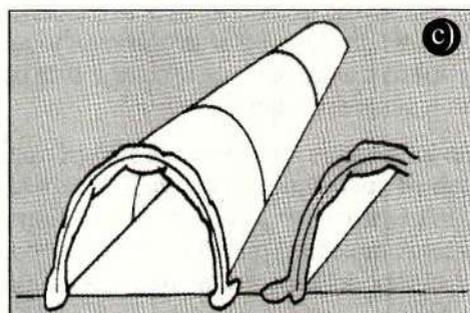


Figura 5.9. Formas de ventilación de túneles: a) total, b) lateral y c) por los extremos.



Con la ventilación a través del levantamiento del plástico en los túneles se persigue evitar enfermedades de tipo fungoso-bacteriano, y favorecer la penetración directa de los rayos solares y el calentamiento del suelo. Con esto se puede reducir el número de aplicaciones de agroquímicos.

Frecuentemente se observa, sobre todo en las mañanas frías, que los túneles tienen la cara interna del plástico cubierta por una gran cantidad de gotas de agua producto de la condensación. Este proceso que forma una ligera película, actúa como una barrera para detener la radiación térmica emitida por el suelo durante la noche, protegiendo con ello a los cultivos de las bajas temperaturas. Sin embargo, cuando las temperaturas registran los 0 °C o están muy próximas, la condensación producida en el plástico puede llegar a congelarse, dando lugar a que la temperatura del túnel sea inferior a la del exterior, esto puede provocar una helada en el interior del túnel. Este fenómeno puede entenderse si se considera que al producirse la condensación sobre la cara interna del plástico se desprende calor que éste transmite hacia el exterior. Si la condensación se produce en forma continua por evaporación del suelo, al túnel se le priva del calor necesario para defender a las plantas de las bajas temperaturas.

Por otro lado, un exceso de condensación como ya se ha indicado anteriormente, evita que la planta reciba luz, en consecuencia, se tiene una elongación de la plántula, creciendo desmesuradamente y formándose tallos débiles que se trozan al menor contacto que se tenga con ellos. Es importante vigilar el exceso de condensación en días nublados y fríos, pues además de lo dicho anteriormente, impide que el suelo se caliente. Para evitar las altas condensaciones se deben ventilar los túneles o bien, adquirir plástico térmico con multicapa interior, ya que poseen aditivos antigoteo.

Para evitar las bajas temperaturas en el túnel es preciso ventilarlos durante la mañana, dejándolos cerrados herméticamente después del mediodía o primeras horas de la tarde, cuando aún hay sol y esté caliente el ambiente; con esto se mantiene calor suficiente en el suelo a lo largo de la noche.

Es muy importante que cuando se abra el túnel con objeto de facilitar su ventilación se haga por la parte más soleada del mismo, levantando un poco los laterales del plástico. Si la ventilación se realiza mediante perforaciones hechas en el plástico, convendrá tener en cuen-

ta lo anterior y realizar perforaciones cada dos o tres metros. En uno u otro caso las ventilaciones deberán ser más frecuentes según transcurran las etapas del cultivo, pero siempre de forma cuidadosa y paulatina.

Cuando se pretende disminuir la humedad en el interior del túnel o la condensación en el plástico es aconsejable implementar pequeños puntos de ventilación, con el fin de que el túnel no presente un repentino descenso de temperatura, pues la ventilación con pérdida de humedad ambiental da lugar a una disminución de la temperatura.

Los túneles pequeños, menores de 40-50 cm de altura, ofrecen problemas a la hora de la ventilación, dado que al ser reducida la superficie protegida se ocasionan daños a las plantas por producirse una pérdida rápida de calor y humedad. Para este caso, las recomendaciones anteriormente descritas deberán aplicarse a conciencia y muy oportunamente.

Como resumen de lo expuesto sobre ventilación de túneles, convenirá realizar ésta en los siguientes casos:

- a) Plantas recién transplantadas.
- b) Durante la formación de raíces en cultivos como zanahoria, rábano, betabel, etc., ya que una falta de ventilación producirá una abundante área foliar y disminuirá el tamaño de la raíz.
- c) Durante la etapa de floración será necesario realizar ventilación desde que aparecen las primeras flores, para favorecer la entrada de insectos polinizadores o introducirlos.
- d) En la formación de frutos en general, pero más concretamente en el caso del melón, sandía y calabacita.
- e) Durante la formación del cogollo de cultivos como lechuga, coliflor, col, etc.
- f) En días con pronósticos de helada nocturna, y para disminuir el exceso de condensación.
- g) En días nublados o cuando haya exceso de humedad del aire en el interior del túnel.

Labores culturales.

Cada cultivo requiere las mismas labores de campo, aunque adaptadas a las condiciones del túnel. Entre las labores culturales y cuidados que requieren los cultivos bajo túneles están los deshierbes, ya que las malas hierbas proliferan con excesiva facilidad en su interior; se deben efectuar éstas por los lados más soleados del túnel.

Otras de las operaciones culturales son los riegos. Si el suelo tiene alto contenido de humedad cuando se instala el túnel, la mantiene en cantidad suficiente hasta que aquel se abre por primera vez. Una vez que esto sucede se hace necesario regar, con mucho menos frecuencia que en los cultivos a la intemperie, ya que los túneles evitan que el suelo se seque mediante la reducción de la evaporación del agua. Para regar los túneles basta abrir por un extremo y seguir los procedimientos normales. Una vez que las temperaturas a pleno campo se mantienen elevadas permanentemente, el túnel deberá mantenerse siempre abierto hasta la finalización del ciclo de cultivo (Robledo y Martín, 1981).

Reglas generales para el semiforzado de cultivos bajo túneles

1. Debe colocarse el plástico sobre los arcos-soporte en días sin viento, con el fin de facilitar y agilizar su buena colocación.
2. Ventilación. Debe efectuarse por el lado opuesto a la dirección de los vientos dominantes. Durante los primeros días de ventilación, nunca se levantará de golpe la cubierta plástica del túnel, ya que la planta será la afectada por una descompensación de cambio brusco de temperatura y humedad relativa. Se deberá realizar la ventilación progresivamente hasta quitar totalmente la cubierta plástica del túnel. Deberán cerrarse nuevamente después del mediodía (entre las cuatro y cinco de la tarde) para aumentar radiación térmica que proteja a las plantas de las bajas temperaturas nocturnas.
3. Previo al retiro de los túneles, por ser las temperaturas exteriores altas y los días sin riesgo de heladas, deberán darse ventilaciones más intensas y más frecuentes con el fin de que el cultivo se adapte al medio exterior.

4. Una vez que los túneles son desarmados, deberá guardarse el plástico si está en buenas condiciones en un lugar protegido del sol para evitar que los rayos ultravioletas lo degraden (Robledo y Martín, 1981).

Microtúneles

Se manejan dos modalidades: con estructura y sin estructura.

Microtúnel con estructura.

Estos se integran con estructuras muy pequeñas, donde el armazón puede tener una altura de 0.15 a 0.30 m. Pueden ser de cualquier forma, sin embargo, las más usuales son semicirculares no necesitan estacas; la estructura puede ser de alambre o arcos de madera para darle espacio al desarrollo de los tres primeros pares de hojas verdaderas de la plántula. Esta modalidad protege al cultivo en las etapas de germinación y establecimiento. En la siguiente figura se muestra el micro-túnel con arcos.

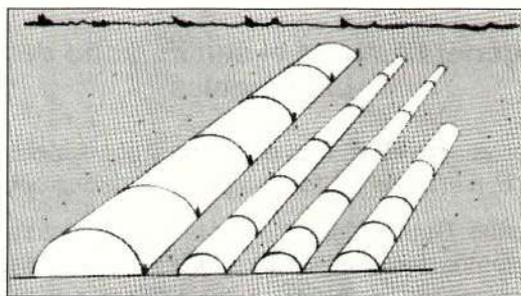


Figura 5.10. Microtúneles.

Túnel sin estructura en plano.

En el área de siembra se coloca un plástico transparente con una acolchadora mecánica, y se lleva a cabo en la misma forma que un acolchado en franja. Al igual que en el microtúnel con estructura, se hace con la finalidad de proteger al cultivo desde la germinación hasta la tercera o cuarta hoja verdadera; los colores del plástico pueden ser transparente, humo o café. El éxito de esta modalidad estriba en la estrategia de ventilación del cultivo. Cuando la plántula crece hasta rozar o topar con el plástico se hacen unos cortes al mismo para que salga el aire caliente y la plántula se vaya aclimatando al ambiente

exterior; después se hacen otros cortes al plástico por encima de cada plántula con la finalidad de que sobresalga del plástico, y subsecuentemente, éste sirve como acolchado para las siguientes etapas del propio cultivo.

Túnel invertido.

En el área donde se va a sembrar se forma una zanja de 50 cm de profundidad y de 40 a 50 cm de ancho, se siembra en la parte baja del surco a la distancia entre plantas que le corresponde al cultivo después de la siembra y fertilización y luego se coloca el plástico como si fuera un acolchado (Figura 5.11). Se debe tener precaución en la ventilación o aclimatación del cultivo. La ventilación se realiza cuando la planta toca el plástico, y éste se va perforando para aclimatar a la planta al ambiente externo.

Hay que evitar más que un enfriamiento rápido, una desecación violenta del ambiente interior del túnel, ya que las plantas adaptadas a su ambiente artificial, recibirían mucho daño con este cambio brusco. A medida que se hace necesario aumentar la ventilación para evitar altas temperaturas o humedad relativa, la vigilancia debe ser más cuidadosa, con el fin de que la operación sea paulatina y no rápida. Esta forma de túnel es para los cultivos que resisten altas temperaturas, como tomate rojo, melón y sandía.

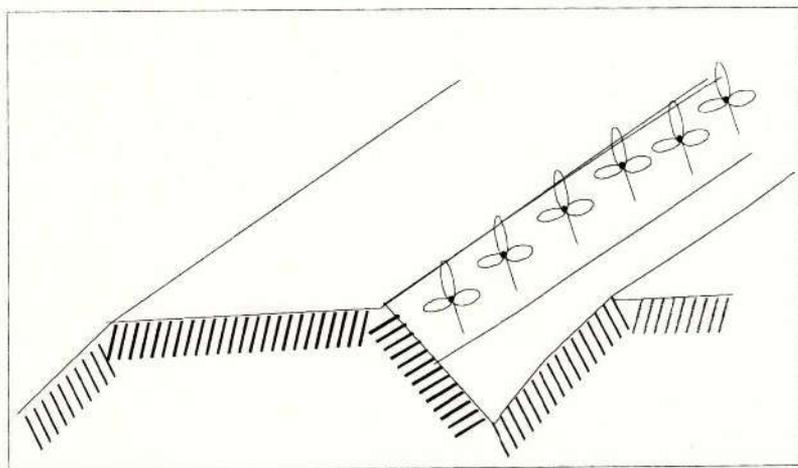


Figura 5.11. Túnel Invertido.

Microtúnel individual con plástico.

Esta modalidad se utiliza en cultivos hortícolas con baja densidad de siembra por hectárea, como es el caso de la sandía. Se coloca una estructura de alambre recocido o galvanizado de 10 ó 15 cm de altura y un ancho de 10 cm por mata, se coloca el plástico transparente sobre la propia estructura, como se ilustra en la siguiente figura:

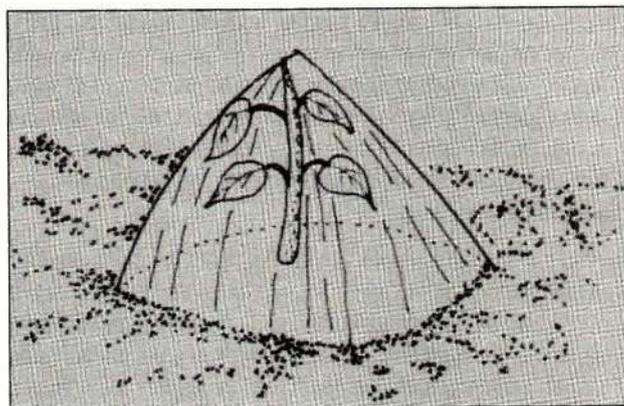


Figura 5.12. Microtúnel Individual.

Uso de vasos de plástico como túneles.

Cuando la siembra es directa y temprana y se tienen temperaturas bajas, se pueden utilizar vasos de plástico transparente en cada espacio puntual donde se sembró y se coloca una piedra en la parte superior para que el viento no lo mueva. Se debe ventilar haciendo orificios al vaso para aclimatar a la plántula cuando ésta tenga de dos a tres hojas verdaderas o bien, quitar la pequeña cubierta cuando la plántula rebasa el volumen del mismo. Se utiliza en cultivos como melón, sandía y calabacita.

Túnel con entutorado o postes de hortalizas.

Este tipo de túnel tiene mucha aceptación entre los horticultores, y consiste en el establecimiento previo a la siembra o trasplante de una franja de plástico acolchado a lo largo del lomo de la cama o surco y dos franjas laterales de plástico transparente, una a cada lado de la franja acolchada. Es factible establecer las tres franjas a la vez con una acolchadora mecánica. Después de la siembra o trasplante del cultivo hortícola, se establecen las varas o postes del entutorado a lo largo de la cama o surco, agregando su primer línea o tensor de alambre a una altura de 30 cm sobre el suelo, las líneas de plástico transparente que ya están establecidas se levantan y sujetan sobre la línea de alambre del entutorado y con ello se conforma un túnel, mismo que se puede conservar hasta que el cultivo inicie la floración (Samperio, 1997). Los cultivos que se pueden establecer son tomate rojo, tomate de cáscara, chile, melón y otros. En la Figura 5.13 se observa el túnel y los entutorados que soporta el plástico y la planta del cultivo.

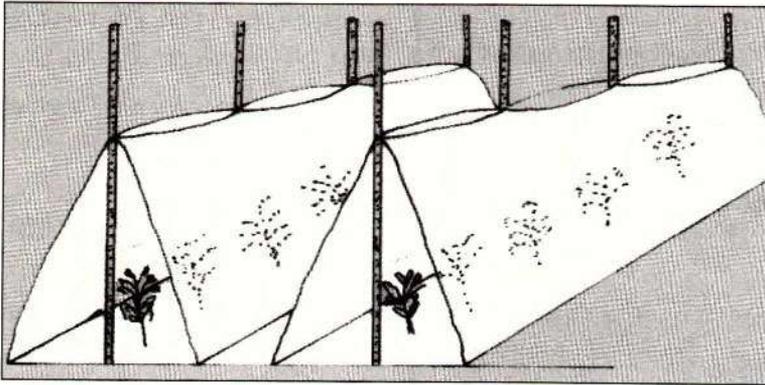


Figura 5.13. Túnel con entutorado o postes de hortalizas.

Para el retiro de la cubierta plástica de los túneles se debe tener mucha precaución en el ambiente climático dentro y fuera del túnel; el retiro debe ser cuando la temperatura sea muy semejante tanto en el interior como en el exterior, si estas condiciones no se dan y ya es necesario retirar la cubierta porque las probabilidades de helada son bajas o porque la planta roza o tiene fricción con el plástico, la cubierta debe quitarse paulatinamente para ir aclimatando a la planta. Generalmente estas prácticas se realizan por la mañana.

Referencias

- Agronegocios. 2001. Hortalizas Centro de Estudios Agropecuarios Grupo Editorial Iberoamericano, S. A. de C. V. 196 p.
- Biblioteca de la Agricultura. 1998. Idea Book España. Tomo III, pp. 650-675.
- Bosso, B. y C. Serafini. 1981. El Experto Horticultor. Agt. Editor. S. A. México. 172 p.
- Daza H., R., R. Trejo C. y J. Martínez S. 2001. Producción de melón (*Cucumis melo* L.) bajo acolchado y microtúneles en la Comarca Lagunera. Revista Chapingo Serie Zonas Aridas. 2 (1): 43-47.
- Díaz T., E. Espi, A. Fontecha, J. C. Jiménez, J. López, A. Salmerón. 2001. Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. 320 p.
- Gordon H., R. y J. A. Barden. 1984. Horticultura. Agt. Editro, S. A. 62 p.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 520 p.
- Guerrero M., A. 1984. Guía para cultivar chile ancho y pasilla en el centro y sur de Guanajuato. SAGAR-INIFAP. CIAB. 35 p.
- Ibarra, L. y A. Rodríguez. 1984. Manual de agroplásticos Vol. 1. Acolchados de cultivos. Centro de Investigación Química Aplicada. 82 p.
- Martín V., L. 1976. Guía para la aplicación de los plásticos en la agricultura. Ed. Sociedad de Ingenieros en Plásticos, A. C. 185 p.
- Martínez S., J. 1999. Evaluación de equipo para acolchado plástico en canaleta. VIII Congreso de Horticultura. Manzanillo, Col. México. 55 p.
- Martínez S., J. y M. M. Villa C. 1982. Plásticos en la agricultura acolchados y túneles. Informe CENAMAR-SARH. Gómez Palacio, Dgo. México.
- Mendoza M., S. F., J. Martínez S., G. García H. y H. Macías R. 1999. Melón con cintilla y acolchado plástico IX Congreso de Irrigación. Culiacán, Sin. México. pp.159-166.

- Quero, E. y J. Hernández D. 1984. Manual de agropásticos Vol. 11. Uso y construcción de túneles para la agricultura. Centro de Investigación Química Aplicada. Saltillo, Coah. México.
- Ramírez V., J. 1994. Cubiertas flotantes para desarrollar cultivos hortícolas y controlar virus. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Razo R., A. 1992. Comportamiento de dos variedades de chile (*Capsicum annum* L.) bajo micro túneles en Abasolo, Guanajuato, México. Tesis profesional. Dpto. de Fitotecnia UACH. Chapingo, México.
- Robledo de P., F. y L. Martín V. 1981. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Mundi-prensa. Madrid, España. 624 p.
- SAGARPA-INIFAP. 2000. Jitomate para riego. Folleto Técnico Campo Experimental Zacatepec, Mor.
- _____. 2001. Una forma de controlar la enfermedad del chino en el cultivo de jitomate en Morelos. INIFAP. Campo Experimental Zacatepec. JICA.
- Salisbury F., B. y C. Ross W. 1994. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamérica. México. 759 p.
- Samperio R., G. 1997. Hidroponía básica en el cultivo fácil y rentable de planta sin tierra. Ed. Diana. 153 p.
- Saray M., C. R. 1986. Almácigos de chile ancho en el norte de Guanajuato. Folleto Técnico SARH-INIFAP. CIAB.
- Serrano C., Z. 1977. Diez temas sobre la huerta. Vol. III, Ministerio de Agricultura, Madrid, España. 201 p.
- Terrones de la T., M. I. 1985. Uso de los túneles con y sin acolchado de plástico en la producción de melón, calabacita, tomate y chile. Tesis profesional ITA 10 Torreón, Coah. México. 87 p.
- Thoshio, H. C. 2000. The effect of mulching and row covers on vegetable production. www.agnet.org/library/article/eb332.html.
- Wells, O. S., and J. B. Loy. 1985. Intensive vegetable production with row covers. HortScience.

Capítulo

6

Invernaderos de Plástico

**Hilario Macías Rodríguez
Ernesto Romero Fierro
Josefina Martínez Saldaña**

Introducción

La tecnología actual de producción en la agricultura debe cumplir con las expectativas de los productores en cuanto a productividad y oportunidad de mercado. La producción intensiva de cultivos bajo condiciones de invernadero, no es la excepción, se puede tener control de factores ambientales como luz y temperatura y un uso óptimo de recursos humanos e insumos como agua, fertilizantes y agroquímicos. La tecnología en invernaderos es aplicable también para áreas marginadas desprovistas de agua y suelo; así, los invernaderos familiares ofrecen una opción para producir dieta anual de las familias en un afán de suplir los nutrimentos y energía para el óptimo desarrollo de las poblaciones de infantes de estas áreas. Este capítulo de invernaderos de plástico incluye aspectos elementales desde la estructuración y cimentación hasta el control y acondicionamiento del clima.

Definición, finalidad y ventajas de los invernaderos

Al invernadero se le define como una construcción cerrada o delimitada por una estructura metálica o de madera, recubierta por vidrio o plástico transparente (flexible o rígido), destinada a la producción de cultivos hortícolas, ornamentales y forrajes hidropónicos bajo condiciones de clima controlado o semi-controlado.

Al invernadero también se le considera un agente modificador del microclima, ya que permite manipular en mayor o menor proporción las condiciones del ambiente, relacionándose con cada una de ellas en función de múltiples factores como: ubicación, diseño, manejo, vientos y época del año. Su propósito fundamental es proteger los cultivos de los factores meteorológicos adversos como las fuertes lluvias, el viento, sequías, heladas, radiación excesiva y granizo.

El uso de invernaderos en la agricultura se basa en el fenómeno físico que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre, llamado "efecto de invernadero". Como se ha señalado en el Capítulo 2, al ser absorbida por la superficie terrestre, la radiación solar con longitud de onda corta (0.2 a 2.5 μm), se transforma en radiación con longitud de onda larga o radiación terrestre (2.5 a 50 μm). Debido al vapor de agua existente en la atmósfera, ésta absorbe el 85 por ciento de la radiación de longitud de onda larga y únicamente el 15 por ciento de dicha radiación se refleja al espacio exterior. Esto explica el funcionamiento de un invernadero, ya que la cubierta plástica es permeable a la radiación solar de onda corta e impermeable a la radiación terrestre de onda larga, la cual es responsable del calentamiento de su ambiente interior.

Bajo condiciones de invernadero, la radiación solar se aprovecha al máximo, ya que la misma es la fuente de energía para el proceso de fotosíntesis y el principal insumo de la bioproductividad vegetal neta. Esta última determinada por la cantidad de radiación incidente, la proporción de esa radiación que es interceptada por los órganos verdes de la planta, la eficiencia de conversión fotosintética de radiación interceptada en biomasa y las pérdidas de biomasa en respiración (Castilla y Hernández, 2001).

Las principales ventajas que proporcionan los invernaderos son las siguientes (Romero, 1979 y 1981):

- Precocidad en las cosechas de las especies vegetales cultivadas, dependiendo del propósito de producción se pueden lograr varias cosechas al año.
- Incremento en el rendimiento de las cosechas hasta en un 300 por ciento.
- Programación de cosechas (fuera de épocas tradicionales).
- Mayor calidad de frutos (uniformes, sanos, no contaminados).
- Ahorro de agua hasta de un 60 por ciento en comparación con las láminas de riego requeridas en los cultivos a campo abierto.
- Mayor prevención y control de plagas y enfermedades.
- Optimización de recursos humanos e insumos agroquímicos.

Estas ventajas adquieren su máxima potencialidad cuando se complementa el paquete de producción con los siguientes aspectos (Ellwood, 1977):

- Empleo de semillas mejoradas y variedades selectas.
- Control del medio ambiente (temperatura y humedad).
- Técnicas de cultivo adecuadas (riegos, fertilización, siembra, control de plagas, etc.).
- Suelo adecuado (orgánico o ligero).

Anteproyecto y proyecto.

Toda explotación en invernadero requiere la elaboración de un anteproyecto y un proyecto que vislumbren su propósito de uso, ya sea para autoconsumo, semicomercial o comercial, para lo cual es necesario considerar previamente los siguientes factores:

- Viabilidad del proyecto, considerando el tipo de mercado para las cosechas, recursos disponibles, suelo, agua y mano de obra.
- Factores ambientales, tales como temperaturas máxima y mínima, humedad relativa, horas luz, nieve, granizo y viento.
- Servicios (comunicación, agua y energía eléctrica).
- Topografía del terreno.
- Disponibilidad de mano de obra y materiales.

Los factores relativos a la localización del terreno deben considerar los siguientes puntos:

- Para explotaciones comerciales es conveniente que las características climatológicas (temperatura y humedad) sean lo más aproximado posible a las requeridas por los cultivos que se desean producir, ya que en la medida en que se desvíen las condiciones exteriores en relación con las requeridas en el interior del invernadero, se incrementarán los costos de la climatización (Martín, 1976).
- Que las vías de comunicación sean adecuadas tanto para un fácil aprovisionamiento de los materiales, como para trasladar los productos al mercado. Además, deberá contar con servicio continuo de energía eléctrica y agua potable o de riego.
- Que la superficie esté lo más nivelada posible, es decir, no accidentada y fácil de drenar, ya que cualquier movimiento del suelo se reflejará en los costos.

Proyecto.

El proyecto es aquel en el cual se localizan los conjuntos de plantas, alzados, costos, memorias de cálculo y cuanto sea necesario para preparar sobre el papel la construcción de un invernadero. Los diseños que forman parte del proyecto constituyen los planos.

En cualquier proyecto es necesario contar con un plano de localización que muestre las principales vías de acceso, la orientación de las instalaciones y que dé una idea de la disposición del conjunto.

Condiciones que deben reunir los invernaderos

Entre los múltiples factores que un productor debe contemplar al instalar un invernadero, destacan los siguientes:

- Dimensiones y forma.
- Orientación.
- Luminosidad y disposición del conjunto.
- Resistencia.
- Ventilación.
- Estanqueidad y ligereza.
- Riegos.
- Suelos.
- Disponibilidad de mano de obra capacitada.

Dimensiones y formas.

Las dimensiones de los invernaderos están fundamentalmente condicionadas a los factores climáticos de la zona, no existiendo una medida ideal que deba respetarse en su construcción. Tomando como base las características de los materiales empleados (tubos de 6 m de largo), los invernaderos se construyen con gran variabilidad en cuanto a sus dimensiones, pero en general se considera como ancho ideal la de múltiplos de tres metros. En cuanto a su longitud, se pueden construir hasta de 60 metros. Cuanto más largos y anchos son los invernaderos, mayor es la dificultad para controlar los factores climáticos como son temperatura y humedad relativa (Cano, 1977).

Con base en lo anterior, es conveniente diseñar el ancho de los invernaderos de acuerdo a la forma del mismo y al propósito de la explotación, ya que los invernaderos con paredes rectas permiten construirse continuos o seriados, y a diferencia de los de forma circular o semicircular, son más adecuados para el establecimiento de riego presurizado y cultivos de alto porte o crecimiento indeterminado (Clegg y Watkins, 1979).

La altura del invernadero deberá ser aquella que permita aprovechar al máximo el desarrollo de las plantas, tales como: tomate, pepino, calabacita y melón. Por ello, es conveniente una altura mínima en los laterales de 2.5 metros y de 3 a 4 metros en la parte más alta, también llamada cumbre o cenital (Brook, 1973).

Las dimensiones de la estructuración establecen en gran medida el índice de utilización de un invernadero (Cu), que se define por el cociente entre la superficie útil ocupada por el cultivo (Su) y la superficie total cubierta por el invernadero (St) de la siguiente manera:

$$Cu = \frac{Su}{St} \quad 6.1$$

Este índice proporciona valores en un rango de 0 a 1, y los valores que ordinariamente predominan en la actualidad varían entre 0.60 y 0.75. De introducción más reciente en este tipo de explotación son las banquetas móviles, cuya principal ventaja es el alto grado de utilización del invernadero (0.85 a 0.90). Su principal inconveniente es el costo elevado de su construcción y mecanización (Matallana Montero, 1995).

Cuanto más alto es el invernadero, mayor resistencia ofrece a la fuerza del viento. Por esta razón, en las regiones donde el viento es muy fuerte se deben construir invernaderos con techo de poca pendiente (5 %) y poca altura (no mayor de 3 m). Sin embargo, en las regiones con lluvia y nieve, los techos deberán ser más altos para desalojar convenientemente el agua, la nieve o el granizo.

Orientación.

Al instalar los invernaderos se debe considerar su orientación, ya sea para el aprovechamiento máximo de luminosidad y radiación solar o para protegerlos de los fuertes vientos que puedan presentarse en la región.

Con el propósito de aprovechar al máximo la energía y luz solar, se debe considerar la orientación del invernadero en función de la latitud en que se localice; para invernaderos sencillos y aislados que se ubican arriba de los 40° N, se recomienda la orientación de este-oeste en sus paredes más largas. Debajo de los 40° N, se recomienda la orientación de norte-sur. México se localiza entre los 14°30' 32°42' de latitud norte.

Cuando se pretenden instalar conjuntos de invernaderos seriados, construidos en forma independiente o unidos por sus paredes laterales, en cualquier latitud la orientación norte-sur será la indicada (Schwars, 1968).

Cuando los vientos dominantes llegan a ser muy fuertes o huracanados, y puedan llegar a afectar las instalaciones, la orientación del invernadero nunca deberá ser en dirección perpendicular a los vientos. Debe procurarse que la instalación frene al viento lo menos posible. Esto se consigue al situar los lados más largos en dirección paralela a los vientos dominantes.

En lo referente a la orientación de las siembras o plantaciones en el interior del invernadero, deberán realizarse de tal manera que las plantas no se den sombra unas a otras; para este propósito deberá considerarse la intención de producción: reproducción de plántula hortícola, obtención de cosechas o producción de forrajes.

En la Figura 6.1 se presentan las dos orientaciones que se deben dar a los diferentes tipos de invernaderos.

Luminosidad y disposición del conjunto.

La luminosidad interior que pueda tener un invernadero dependerá en mucho de su orientación y tipo de techo.

Generalmente los invernaderos con techos desiguales registran una iluminación interior superior a los construidos con techos simétricos o planos. Cuando se establecen invernaderos orientados de norte a sur y cuyo techo es asimétrico, se recomienda que la vertiente más grande del techo se establezca hacia el oriente, garantizando con ello el incremento de su iluminación interior en los periodos de otoño e invierno.

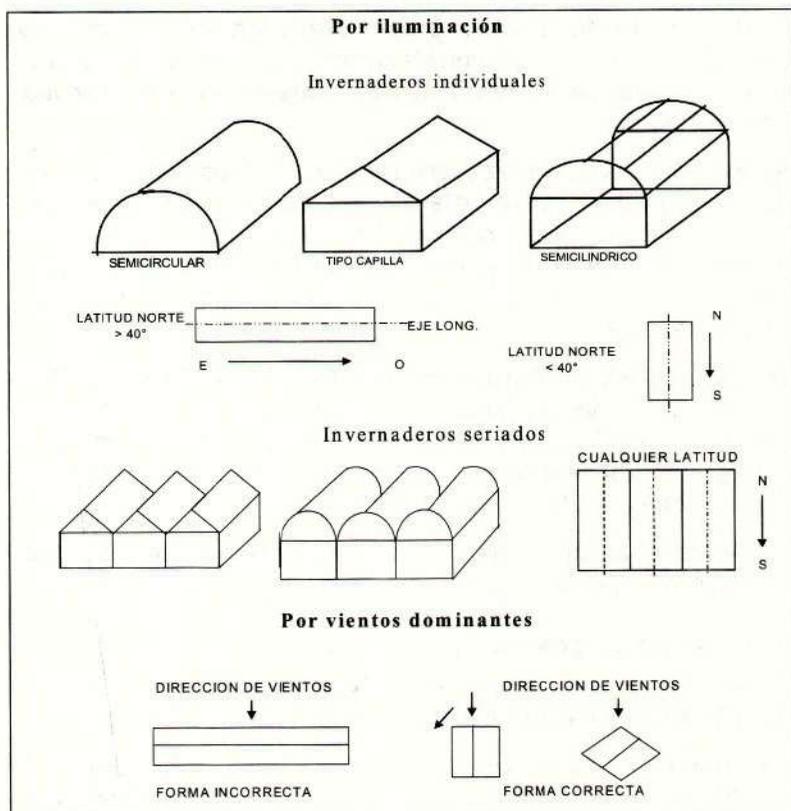


Figura 6.1. Orientación y disposición de invernaderos de acuerdo a iluminación y vientos dominantes.

Los invernaderos con techos curvos (circulars, semicirculares y elípticos) logran captar una mayor iluminación, además, permiten desalojar muy bien el agua de lluvia y ofrecen poca resistencia al viento (Vásquez, 1989).

Al establecer un conjunto de invernaderos no seriados, la separación mínima entre uno y otro deberá ser de cuatro metros para evitar se sombreen entre si, y se disponga de espacio suficiente para las maniobras operativas entre ellos.

A continuación se presentan los diseños de invernaderos más comunes a nivel mundial.

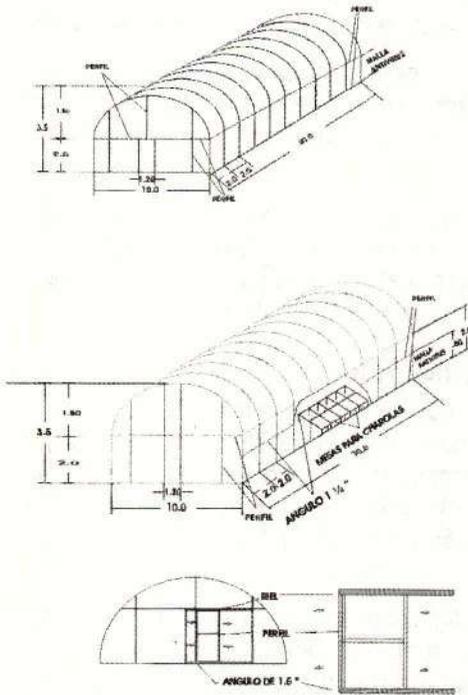


Figura 6.2. Diseño de invernaderos más comunes a nivel mundial: semicircular y semicilíndrico.

Resistencia.

El invernadero deberá ser hermético a la lluvia, resistente al viento, al peso de la nieve y a la acción destructora del granizo.

La resistencia del invernadero es uno de los factores más importantes que se deben considerar al proyectar su construcción. Es necesario se guarde un equilibrio entre la resistencia del invernadero y el costo de su construcción. Una manera de favorecer mayor resistencia a la instalación es seleccionando adecuadamente el emplazamiento de ésta sobre el terreno, orientándose respecto a los vientos dominantes o protegiéndola de ellos con barreras rompevientos.

Ventilación.

El invernadero deberá contar con un sistema de ventilación natural o forzada, que sea adecuada para ventilar los cultivos que se establezcan y evitar enfermedades fungosas por exceso de humedad relativa.

La ventilación se puede manejar tanto en los laterales como en la parte central del techo (ventilación cenital). Con ambas se logra una ventilación adecuada y se evita que el agua se condense en el plástico.

A los invernaderos de grandes dimensiones es indispensable dotarlos de ventilación cenital, además de la que se realice en los laterales. Con este sistema el aire se renueva hasta 20 veces por hora, 10 veces más que la sola ventilación lateral.

Estanqueidad y ligereza.

La estanqueidad, que define el aislamiento que presenta el invernadero a las condiciones externas del clima, al igual que su ligereza, son dos condiciones importantes que debe reunir todo invernadero. Cuanto mayor sea la estanqueidad, menores serán las pérdidas de calor y las plantas estarán más protegidas de las bajas temperaturas del exterior.

En relación a la ligereza de un invernadero, se puede decir que el almacén de su estructura deberá ser lo más esbelto posible para no restar luminosidad a las plantas que se desarrollan en su interior. Las estructuras pesadas o de madera proyectan sombras sobre el cultivo, repercutiendo en su precocidad y en los beneficios para el productor.

La construcción de invernaderos con estructuras ligeras y cubiertas plásticas flexibles disminuyen los costos de las instalaciones. Este aspecto debe tomarse muy en cuenta dado el alto costo que implican los materiales pesados como polines o canalones metálicos y las cubiertas rígidas de fibra de vidrio y polimetacrilato de metilo (plexiglass).

Riegos.

Los cultivos que se desarrollan bajo condiciones de invernadero requieren riegos frecuentes a lo largo de su ciclo vegetativo para satisfacer sus necesidades. En general, se puede afirmar que el invernadero es un sistema eficiente en el uso del agua, ya que las láminas totales de riego se reducen hasta en un 60 por ciento en comparación con los cultivos a cielo abierto (Reca y Martínez, 2001).

Los métodos de riego más utilizados son el de goteo y microaspersión. No obstante que dentro del invernadero los riegos son más frecuentes que los empleados por los cultivos a la intemperie, los volúmenes de agua son más reducidos por existir menor evaporación dentro del invernadero. Sin embargo, para satisfacer oportunamente las demandas hídricas de los cultivos, es necesario disponer de una fuente de abastecimiento de agua en forma permanente.

Suelo.

Es conveniente que la topografía del terreno permita una aplicación eficiente del riego y una temperatura uniforme del suelo. Es necesario que el mismo sea fértil con textura ligera, libre de piedras, malas hierbas, plagas y enfermedades. En caso de que el suelo no sea adecuado para cultivos que se establezcan en piso, conviene excavar y reponer con material de buena calidad.

Cuando el suelo es de mala calidad, drenaje deficiente y manto freático elevado, al realizar la excavación para reponer suelo adecuado, se recomienda de ser posible, impermeabilizar la excavación. Esto es con la finalidad de evitar las aportaciones de humedad excesiva por manto freático elevado y a la vez contar con un buen sistema de drenaje.

Disponibilidad de mano de obra capacitada.

Los cultivos bajo invernadero requieren de 6 a 8 jornales fijos por hectárea. Las labores a realizar en un invernadero son propias para obreros capacitados, con conocimientos teórico-prácticos sobre operativa de invernaderos y manejo de cultivos intensivos.

Estructura y cimentación.

En la actualidad se dispone de múltiples y versátiles opciones de cubiertas para invernadero, como es el caso de las cubiertas plásticas, que permiten a los productores construir estructuras ligeras y

resistentes de diferentes formas con bajos costos de inversión. Los materiales a seleccionar para la construcción de invernaderos dependen de los siguientes factores:

- Recursos económicos del productor.
- Requerimientos del cultivo.
- Factores climáticos de la zona.
- Disponibilidad en el mercado regional o nacional.

Una vez establecidos los factores que intervienen en la elección de los materiales que van a conformar los invernaderos, estos pueden separarse en dos tipos: los elementos estructurales y materiales empleados, y la cimentación de los invernaderos.

Elementos estructurales y materiales empleados

En relación con la constitución de una estructura para invernaderos, ésta se conforma por el siguiente conjunto de elementos:

- Elementos sujetos a tensión. Tensores o contravientos.
- Elementos sujetos a compresión. Columnas.
- Elementos sujetos a flexión. Vigas o largueros.
- Armaduras.
- Cimentación.

Los elementos estructurales anteriores establecerán las pautas de diseño del invernadero, considerando las cargas o acciones que actuarán sobre él durante su vida útil, como son:

- Acciones permanentes o cargas muertas. Aquí se incluyen los pesos de la propia estructura, cubierta, equipos de calefacción, ventilación y humidificación.
- Acciones variables o cargas vivas. Es el peso que ejerce el entutorado de algunos cultivos.
- Acciones accidentales. Se incluyen aquí las cargas por viento y nieve.

Los materiales que se utilicen para construir las estructuras deberán ser de sección delgada para evitar la proyección de sombras amplias. Los materiales comúnmente utilizados son: madera y fierro, además se pueden usar el aluminio y el hormigón, o una combinación de todos ellos.

a) Madera.

Al considerar esta opción, deberán elegirse maderas resinosas; además de darles tratamiento a base de impregnación con aceite o diesel en la parte que habrá de enterrarse. En las partes que van al aire libre pueden protegerse con pinturas plásticas para exteriores con resultados satisfactorios. De acuerdo a su resistencia, se pueden seleccionar maderas blandas que provienen de coníferas o especies de hoja angosta como pino, abeto y cedro, que son las de mayor uso para este tipo de construcción o bien, se puede recurrir al uso de maderas duras y resistentes provenientes de especies de hoja ancha como el roble, nogal, arce y ceiba.

b) Fierro.

En la actualidad, el fierro es el material más empleado en la construcción de invernaderos por la diversidad de elementos y secciones que se pueden encontrar en el mercado, tales como: tubería negra o galvanizada, monten, PTR, perfil, etc. Además, estos materiales tienen la ventaja de ser de sección esbelta y de alta resistencia.

Cimentación.

La cimentación en la construcción de todo tipo de invernaderos es muy sencilla, ya que se requiere únicamente de zapatas aisladas para cada uno de los postes. Se utiliza concreto simple o ciclópeo y sólo en caso de contar con terrenos de capacidad de carga muy baja o fangoso, se analiza la posibilidad de emplear zapatas con mayor base de sustentación, reforzándose la cimentación al construir una cadena de las mismas en todo el perímetro del invernadero. Los diversos tipos de zapatas que se pueden utilizar tanto para madera como para hierro, se presentan a continuación:

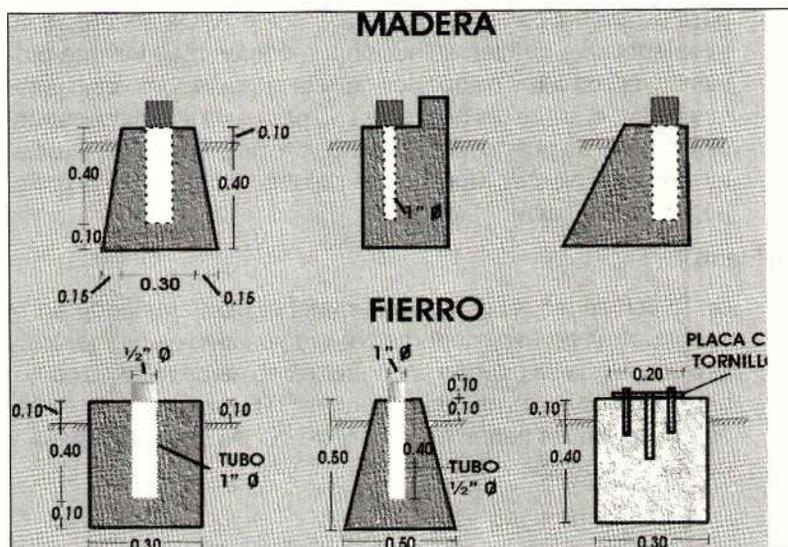


Figura 6.3. Tipo de zapatas para cimentación en invernaderos.

Cubiertas plásticas utilizadas en invernaderos

En todo proyecto de construcción de invernaderos es muy importante tomar en consideración los factores climáticos de la zona así como las especificaciones del material de cubierta seleccionado, ya que estos factores en algunos casos condicionan la modulación de la estructura y la elección del material de cubierta.

La cubierta de un invernadero es la parte exterior que cubre las paredes y techos del mismo, y cuyo objetivo es inducir en el interior del invernadero las condiciones climáticas ideales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

De acuerdo al tipo de cubierta utilizado dependerán los resultados que se logren en los cultivos en cuanto a rendimiento y precocidad, así como el costo de la estructura del invernadero. Entre menor sea el peso del material de cubierta, la ligereza y en consecuencia el costo de la estructura será menor, lográndose un montaje de la cubierta con mayor facilidad.

Se puede decir que el material ideal para cubrir invernaderos es aquel cuya transparencia o transmisibilidad permita durante el día calentarlo al máximo posible, permitiendo la entrada de radiaciones de onda corta ($<2.5 \mu\text{m}$) y que por la noche, su permeabilidad minimice la pérdida de las radiaciones de onda larga ($>2.5 \mu\text{m}$), que son las encargadas de mantener caliente el invernadero (Yun *et al.*, 1998).

La transmisibilidad es la fracción de radiación solar global transmitida dentro de un invernadero (Zabelitz, 1998). Dicha transmisibilidad depende, entre otros factores, de las condiciones climáticas (nubosidad principalmente, que determina la radiación solar directa y difusa), de la posición del sol en el firmamento (que dependerá de la fecha y hora del día y de la latitud del lugar), de la orientación, del material de cubierta y de los elementos estructurales del invernadero (Bot, 1983).

En relación a su transparencia o transmisibilidad, los materiales de cubierta tienen un rango de aceptación del 80 al 90 por ciento, y la permeabilidad que es la capacidad de termoaislancia de las cubiertas no debe ser mayor del 20 por ciento. Estos rangos dejan en claro que a mayor transparencia hay mayor captación de radiación solar en el interior y a menor permeabilidad es mayor la conservación del calor durante la noche (Adrados, 1983).

Considerando lo anterior, se puede decir que el material de cubierta ideal en cuanto a su capacidad de termoaislancia sería el vidrio, ya que el mismo tiene un 86 por ciento de transparencia o transmisibilidad y 0.0 por ciento de permeabilidad; su inconveniente es que requiere de estructuras metálicas pesadas y costosas (Robledo, 1987). En general, los materiales plásticos pueden considerarse como buenos sustitutos del vidrio en lo que se refiere a usos en invernadero.

De la múltiple familia que forman los plásticos, sólo algunos se utilizan en la actualidad como cubiertas para invernaderos. Los más utilizados hasta ahora son los que se señalan en la Figura 6.4.

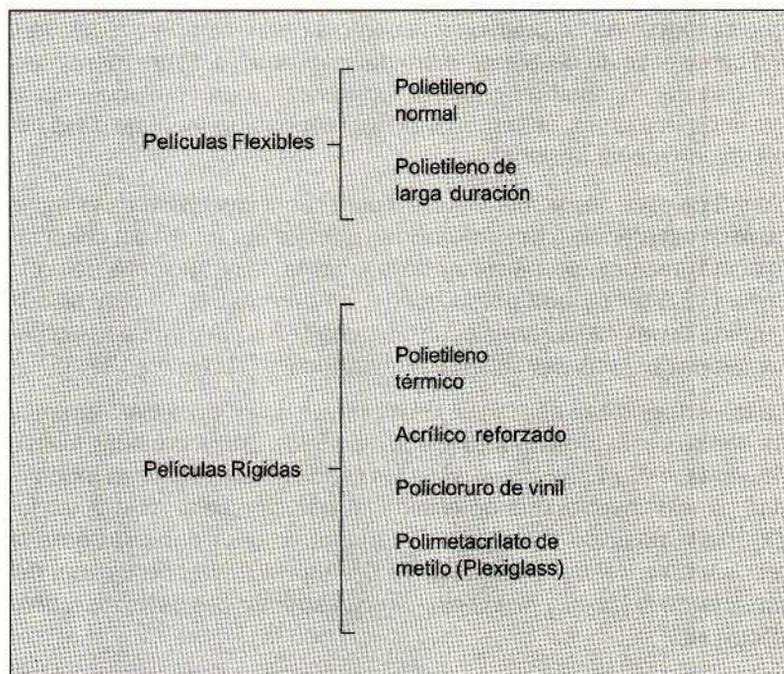


Figura 6.4. Cubiertas para invernaderos de uso común.

Poliétileno (PE).

El polietileno es el material plástico más utilizado a nivel mundial para la construcción de invernaderos. Los principales tipos de polietileno para la cobertura de invernaderos son:

- Polietileno normal.
- Polietileno de larga duración.
- Polietileno térmico de larga duración.

El polietileno normal o polietileno sin tratar es el material de cubierta más económico, pero también con un período de vida más corto (4 a 8 meses), pues aunque difunden los rayos infrarrojos es degradado rápidamente por la radiación ultravioleta. También se afecta rápidamente por las elevadas temperaturas que se originan en las zonas de contacto del plástico con las estructuras metálicas.

En la actualidad, durante el proceso de plastificación se incorporan inhibidores que evitan la degradación por la radiación ultravioleta, permitiendo prolongar la vida útil de este material (1.5 a 2.5 años). Por el procedimiento antes citado, se ha logrado producir el polietileno de larga duración que en el mercado nacional se conoce como plástico PF-602. En el mercado internacional se tiene el plástico Monsanto en dos variantes: calibre 602 y 603, con un período de duración de dos a tres años.

El polietileno normal y el de larga duración tienen una buena transparencia a los rayos visibles e infrarrojos cortos, por lo que el invernadero se calienta rápidamente durante el día. Sin embargo, ambos materiales no cumplen los requerimientos de termoaislancia anteriormente descritos, ya que durante la noche dejan escapar la radiación de onda larga del suelo, lo que origina un enfriamiento rápido en el interior del invernadero. Esto es un inconveniente, ya que puede llegar a ocurrir una inversión térmica, fenómeno que tiene lugar cuando en el exterior la temperatura está bajando a límites comprendidos entre +/- 3 °C, aproximadamente, y dentro de ese rango y bajo circunstancias de poca humedad ambiental (cielo despejado y vientos), la temperatura dentro del invernadero será menor que en el exterior.

La industria química elabora un polietileno con propiedades "térmicas y de larga duración", que cumple los requerimientos de termoaislancia con una transparencia del 88 por ciento y una permeabilidad de 18 por ciento. En el mercado nacional se conoce este material con el nombre técnico de *plastermic*, calibre 720. En climas fríos, con el fin de obtener la termoaislancia adecuada, se recomienda el uso de *plastermic* calibre 800.

En el mercado europeo han aparecido nuevos plásticos flexibles que mejoran las cualidades de transmisibilidad por su capacidad antigoteo, evitan la opacidad de las cubiertas al no permitir la condensación del agua en el interior del invernadero cuando la humedad relativa es elevada. Tal es el caso de los polietilenos con multicapa en su cara interior, calibre 700 y 800 (Montero *et al.*, 2000). También se reportan avances en materiales de polietilenos flexibles con plastificaciones fotoselectivas, que condensan las radiaciones que más interesan para el cultivo. Los hay de polietileno térmico de larga duración de color azul, recomendados para cultivos de crecimiento horizontal, con poco desarrollo del tallo y mayor peso de hojas, raíces y tubérculos; igualmente los hay de color rojo, recomendados para el cultivo de tomate, fresa, sandía y flores de corte (McMahon y Kelly, 1990; Rajapakse y Young, 1998).

Policloruro de vinilo plastificado (PVC).

El Policloruro de vinilo, más conocido en el mercado por PVC, puede ser rígido o flexible. Al contrario del polietileno, que por naturaleza es flexible, el PVC requiere asociarlo con plastificantes para obtener láminas flexibles. La duración del PVC depende fundamentalmente de su plastificación, de tal manera que si ésta no es adecuada se degrada muy fácilmente por la acción destructora de los rayos ultravioleta y por la extracción del plastificante por el agua. El envejecimiento de PVC se manifiesta por la pérdida de transparencia, decoloración y fragilidad mecánica. Las láminas de PVC tienen una transparencia del 88 por ciento y una permeabilidad del 20 al 28 por ciento. Una de las ventajas de las láminas flexibles, ya sea polietileno o PVC, es la versatilidad con que se pueden moldear a los diferentes tipos y formas de estructuras.

Acrílico reforzado con fibra de vidrio.

La propiedad principal del acrílico con refuerzo de fibra de vidrio es la de tener un gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme. Es el material de cubierta más costoso, aunque con un período de vida útil mayor que cualquier otro material (10 a 15 años). En México se fabrica lámina acrílica con refuerzo de fibra de vidrio de muy buena calidad, ya que no se altera su transparencia ni su color por la acción de la luz solar.

Se utilizan dos colores para cubierta de invernadero: el color 200 cristal y el 202 blanco lechoso. Para regiones con muy alta luminosidad como son las zonas áridas y semiáridas, se recomienda el color 202 blanco lechoso, y el color 200 cristal para las de menor luminosidad. La capacidad de termoaislancia de este material está dentro de los rangos requeridos.

Polimetacrilato de metilo.

El polimetacrilato de metilo, conocido comúnmente por plexiglass, adopta el nombre de vidrio acrílico debido a la elevada pureza óptica y a su gran capacidad de termoaislancia, ya que tiene una transparencia del 89 por ciento y una permeabilidad de 0.0 por ciento. Aunado a lo anterior, este material es tan ligero como el polietileno.

Cuando se conocen los aspectos técnicos de los materiales plásticos para cubiertas y los requisitos que deben cumplir los mismos en relación a las exigencias de los cultivos y a las condiciones climáticas de la zona, al productor sólo le queda elegir el tipo de cubierta que más convenga a sus necesidades, conjugando aspectos técnicos y económicos.

Tipos de Invernadero

En lo que se refiere a invernaderos, es complicado establecer una clasificación definitiva de los mismos. Sin embargo, estos se pueden agrupar por las características de las instalaciones de acuerdo a su uso, forma o climatización.

Por su uso pueden ser: para multiplicación de plantas, almácigos, esquejes, ornamentales de follaje y forrajes o para producción de cosechas y flores.

Por la forma de su sección transversal pueden ser: rectangulares, trapezoidales, pentagonales, poligonales, circulares, semicirculares y semielípticos.

Por su climatización pueden ser: con clima controlado o semicontrolado.

Como se puede observar, con las tres agrupaciones anteriores no se logra establecer una clasificación congruente, de ahí que se haya considerado el tomar en cuenta los materiales que conforman la estructura y cubierta, su forma y el acondicionamiento del clima, de esta forma se pueden agrupar como lo señala la Figura 6.5.

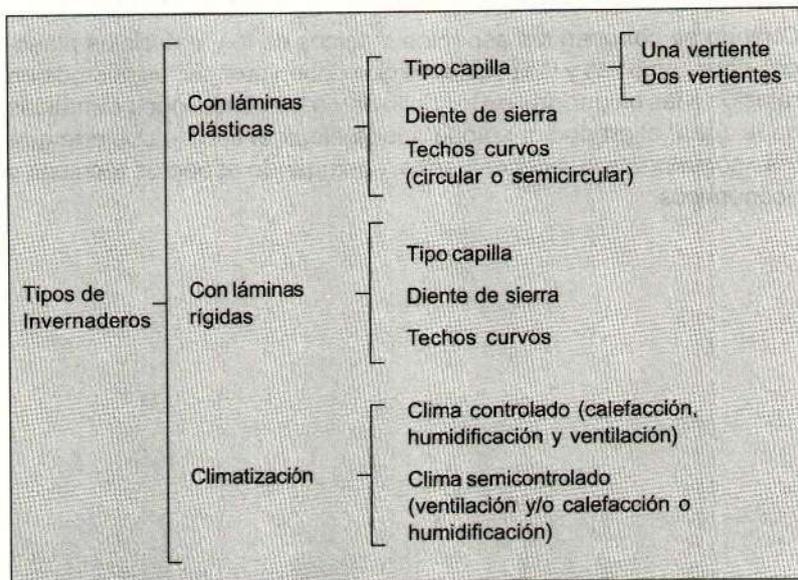


Figura 6.5. Clasificación general de los invernaderos.

Invernaderos tipo capilla.

Los invernaderos tipo capilla, cuya forma exterior se asemeja a una caseta, es uno de los tipos de construcciones más empleado. Para la construcción de la estructura se puede utilizar madera, aunque en la actualidad se prefieren las construcciones con tubos y perfiles de fierro galvanizado. Los techos en este tipo de invernaderos están formados por dos vertientes, cuyo plano de inclinación depende de los factores climáticos de la región (lluvia, viento, granizo y nieve).

Invernadero en diente de sierra.

La agrupación de varios invernaderos con techo a una vertiente, constituyen los invernaderos llamados diente de sierra. La inclinación de las cubiertas de estos invernaderos deben orientarse de manera que penetre a través de ellas la mayor cantidad de radiación solar.

Son invernaderos de gran iluminación en cuyo interior se registran temperaturas elevadas, por lo que los cultivos quedan ampliamente protegidos en la época en que las mismas son bajas. En la fachada norte de los techos se disponen grandes ventanales por donde se efectúa la ventilación del módulo.

Invernaderos con techos curvos.

Los invernaderos con techos curvos más conocidos son: el circular, semicircular o quonset, el semielíptico y el asa de cesta.

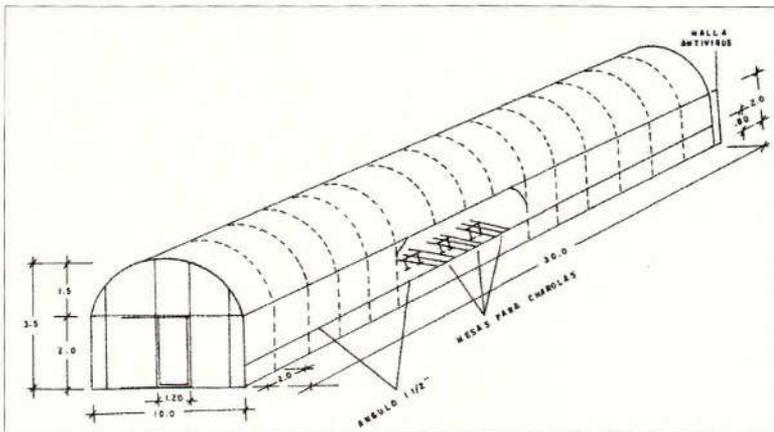


Figura 6.6. Producción de plántula de hortalizas en invernadero con techo curvo.

Los invernaderos con techos curvos son especialmente adecuados para captar una mayor cantidad de luz solar y ofrecen poca resistencia al viento.

En la figura anterior se observa un invernadero de este tipo para la producción de plántula de hortalizas.

Construcción de invernaderos

En la construcción de invernaderos de madera o fierro con cubierta de plástico es necesario apegarse a una secuencia de construcción para facilitar la misma y desarrollarla en el menor tiempo posible. Los pasos básicos de construcción son los siguientes:

Trazo de la construcción.

Si como medio de cultivo se utiliza el propio suelo del terreno para explotaciones implementadas a nivel de piso, entonces se señalan las dimensiones largo y ancho que tendrá el invernadero, trazándose los puntos cada 2 ó 3 m entre sí, sobre los mismos quedarán los pilares laterales que conformarán la estructura del invernadero. Para realizar lo anterior se hacen excavaciones en los puntos previamente marcados, tomando como base el tipo de cimentación que se vaya a utilizar.

Armado de estructura.

Los materiales que se utilizan en la construcción de invernaderos con cubierta de plástico son la madera y el fierro o tubo galvanizado. En el armado de la estructura conviene que ésta quede sujeta de tal manera que no tenga movimiento, pero de tal forma que pueda desarmarse cuando se requiera. Esto es más fácilmente realizable en las estructuras que son de fierro, ya sean tubulares o de perfiles (PTR, polines, fierro monten o tubo galvanizado).

En las Figuras 6.7 y 6.8 se pueden observar algunos detalles de construcción para invernaderos seriados con estructura de fierro monten y de forma semicilíndrica.

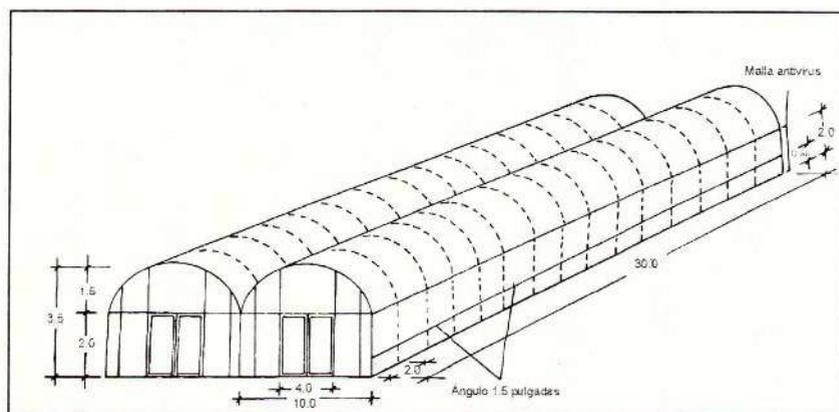


Figura 6.7. Construcción de invernaderos metálicos en forma seriada.

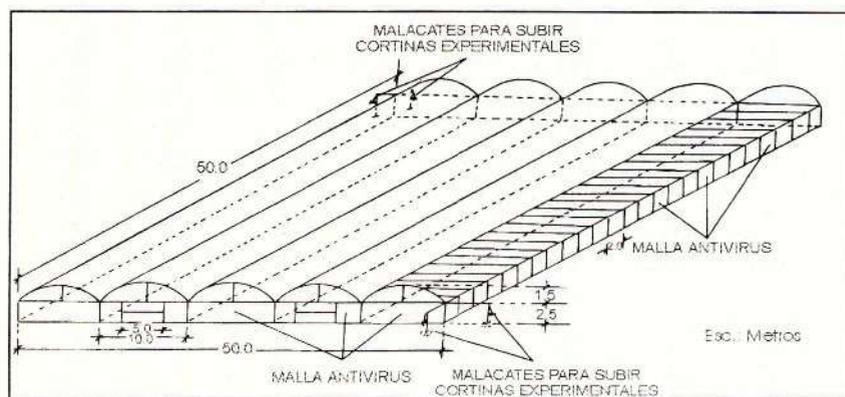


Figura 6.8. Detalles de construcción de invernaderos semicilíndricos seriados.

Colocación de cubierta.

Una vez armada la estructura del invernadero se puede cubrir ésta con el material seleccionado (PE, PVC o acrílico reforzado). Para la colocación del plástico se deben tomar en cuenta las dimensiones de las áreas a cubrir y no realizar cortes innecesarios que ocasionen desperdicios de material. Los plásticos flexibles (PE y PVC) se pueden cortar estando aún enrollados en la bobina, lo que facilita el corte recto de los mismos. En general, para toda construcción de invernadero, la colocación de la cubierta se inicia del techo hacia abajo, tratando de aprovechar al máximo el material. Enseguida se continúa

con los laterales y los frontales. Para fijar la cubierta se utilizan diversos materiales: bastidores, alambre resorte, poliducto y tornillos. Esto depende del material de la estructura y de la cubierta que se utilice.

Los equipos de climatización (extractores, calefactores, etc.) se colocan después de haber sido instalada la cubierta. Esto se realiza haciendo los cortes específicos a la cubierta en el lugar donde quedarán instalados (Romero, 1982).

Con láminas de plástico flexible se pueden considerar dos maneras de fijación:

En estructuras de madera o metálicas planas y tubulares pueden fijarse con bastidores y alambre resorte especiales para invernadero. Estos materiales se consiguen con facilidad en el mercado nacional.

Otra alternativa para fijar la cubierta en estructuras metálicas tubulares es por medio de anillos de poliducto negro, los cuales se insertan en los tubos presionando el plástico entre los anillos y el tubo. Previamente, a los tubos se les aplica una capa de pegamento de contacto, pegando el polietileno para después insertar el poliducto. Para implementar lo antes mencionado se cortan trozos de poliducto de 20 cm, los cuales se abren longitudinalmente por su parte media, redondeándoles las esquinas para evitar áreas de corte que vayan a romper la película de plástico flexible que se utilice.

Control y acondicionamiento del clima

La humedad y la temperatura son dos de los factores primordiales en el desarrollo de los cultivos bajo condiciones de invernadero. Cada cultivo exige un nivel de humedad y una temperatura óptima fuera de las cuales no desarrolla bien o sufre daños y enfermedades. De ahí la necesidad de controlar y acondicionar el clima en los invernaderos. Para lograr esto es necesario calcular los requerimientos de ventilación, humidificación y calefacción. Todo esto se determina considerando las dimensiones del invernadero, las características del material de cubierta y los factores climáticos del lugar (Valera y Molina, 2001).

Ventilación.

Por medio de la ventilación y el riego se pueden controlar las altas temperaturas y la humedad relativa, ya que el riego (sobre todo por aspersión) tiende a aumentar la humedad relativa del ambiente y la ventilación hace descender la humedad y la temperatura. La ventilación requerida depende del volumen de aire por desalojar, el cual corresponderá al volumen en m³ que contenga la instalación. Por ejemplo, para invernaderos semicirculares se aplica la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi R^2 L}{2} \quad 6.2$$

donde :

V = volumen de aire en el invernadero en m³

R = radio del semicírculo en m

L = longitud del invernadero en m

Considerando el largo y el ancho de los invernaderos se puede determinar el número de extractores requeridos para efectuar la ventilación.

Humedad relativa (humidificación).

La tendencia de la humedad relativa es que a mayores temperaturas ésta se reduce hasta el punto en que se pueden afectar los cultivos. Durante la noche la humedad relativa del aire llega a un nivel muy alto hasta alcanzar la saturación, condensándose bajo la cubierta y llegando a gotear sobre el cultivo. Esto puede provocar problemas fitosanitarios por fungosis. La única ventaja de la condensación es que disminuye las pérdidas de calor. Con el fin de mantener condiciones de temperatura y humedad relativa adecuadas para el cultivo se utilizan humidificadores de pared humedad-extracción, que pueden ser equipos de aire acondicionado o de pared húmeda vertical u horizontal. Otra de las maneras de aumentar el contenido de humedad relativa es utilizando pulverizaciones frecuentes con nebulizadores distribuidos a lo largo y ancho del invernadero.

Calefacción.

Los invernaderos se construyen principalmente para proteger los cultivos durante las estaciones frías y poco luminosas, procurando aprovechar al máximo la radiación solar para elevar la temperatura interior del invernadero. Cuando este propósito no se cumple se recurre a la instalación de equipos de calefacción, que ordinariamente constan de un generador de calor y un sistema de distribución uniforme integrado por ductos, tuberías o abanicos. Algunos autores como Molina (1997), Smith (2000) y Valera y Molina (2001), mencionan que una alternativa que se debe analizar al proyectar la instalación de un invernadero en regiones con inviernos muy fríos y prolongados, es el establecimiento de una doble capa de cubierta flexible, ya que representan una alternativa a los sistemas de calefacción, permitiendo mejores condiciones ambientales que en los invernaderos de pared simple. Este tipo de invernaderos se construyen incorporando una segunda lámina de polietileno, y mediante la instalación de un ventilador se bombea aire en forma intermitente entre las dos paredes, logrando separarlas unos centímetros. Este invernadero puede reducir las pérdidas de calor en un 40-50 por ciento y hasta en un 57 por ciento en el consumo de combustibles. Como consecuencia, se consiguen aumentos de la temperatura del invernadero de hasta 8 °C. Sus principales inconvenientes son la reducción de la infiltración del CO₂ y la pérdida de transmisibilidad de la luz solar, que puede llegar a ser de un 10-15 por ciento. Para el primer caso, puede llegar a ser necesario el enriquecimiento carbónico en forma complementaria.

Los sistemas de calefacción más utilizados en la actualidad para elevar las temperaturas en los invernaderos son los que a continuación se describen:

Calefacción por agua caliente.

Es el sistema más tradicional utilizado para este propósito, consta de una caldera para calentar agua y la misma se distribuye a través de una serie de tubos ramificados en el invernadero. Estos pueden ser enterrados y/o aéreos, dependiendo del propósito pretendido: calentar el suelo, el ambiente o ambos de acuerdo al sistema de producción que puede ser al piso, en bancales o en contenedores.

Calefacción por aire caliente.

Este sistema podría considerarse como el más simple y económico de los utilizados. Se opera con generadores de calor alimentados por combustibles derivados del petróleo (diesel o gas) o energía eléctrica. Su costo de instalación es menor que el caso anterior. El aire que toma el generador de calor proviene del interior del invernadero y se recircula y distribuye por medio de ventiladores y ductos perforados a lo largo del invernadero.

Rangos de calefacción.

En relación a la temperatura que se desea mantener en el interior del invernadero (T_i), ésta se puede clasificar en tres categorías de calefacción: calefacción para mantener temperaturas ligeramente superiores a las mínimas letales (antiheladas), $T_i = 3$ a 6 °C; calefacción para mantener mínimas biológicas, $T_i = 10$ a 14 °C; calefacción para temperaturas óptimas, $T_i = 20$ °C o mayor.

Requerimientos de calefacción.

La literatura reporta varias metodologías para el cálculo de la carga de calefacción; en este caso se considera la más sencilla, y que de acuerdo a su comparación con otras, no se han encontrado diferencias significativas en los resultados obtenidos.

Esta metodología se relaciona con la superficie expuesta, el diferencial de temperatura ($D. T. = T$ interior - T exterior) y un factor de aislamiento (IF) según el tipo de cubierta. Dicho factor se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 6.1. Factor de aislamiento para diferentes tipos de cubiertas.

Cubierta	Factor de aislamiento ($BTU h^{-1} \cdot ^\circ F^{-1} pie^2$)
Fibra de vidrio	1.12
Vidrio	2.00
Polietileno	1.00
Polietileno doble capa	0.70

Con base en lo anterior, la carga de calefacción se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = (S)(DT)(IF) \quad 6.3$$

Donde:

S = Superficie expuesta (pies²)

DT = Diferencial de temperatura (°F)

IF = Factor de aislamiento (BTU h⁻¹ °F⁻¹ pie⁻²)

Considerando que ordinariamente se tiene un 30 por ciento de pérdida de calor por infiltración de aire en los invernaderos, la carga total de calefacción será:

$$Q_T = 1.3(Q) \left(\frac{BTU}{h} \right) \quad 6.4$$

Ejemplo de cálculo de los requerimientos de ventilación, humidificación y calefacción.

Tipo de invernadero: semicircular con cubierta sencilla de PE.

Largo = 45 m

Ancho = 8 m

Altura = 4 m

Ventilación.

Para determinar la ventilación necesaria en el invernadero se considera el cambio del volumen total del aire una vez por minuto. Utilizando la ecuación 6.2 el volumen del invernadero será igual al de un medio cilindro, de ahí que:

$$V = \frac{L\pi r^2}{2} = \frac{(45\text{ m})(3.1416)(4\text{ m})^2}{2}$$

$$V = 1,130.97\text{ m}^3 \approx 40,000\text{ pies}^3$$

Con base en el volumen calculado y a la longitud del invernadero se determina el número de extractores. Requiriéndose en este caso ocho equipos con una capacidad individual de 5,000 pies cúbicos por minuto (pcm). Estos deberán colocarse a todo lo largo del invernadero con separaciones proporcionales. En este ejemplo, cinco metros separados uno del otro.

Humidificación.

La humidificación se puede realizar de dos maneras: la primera de ellas consiste en construir el humidificador con base en el área calculada. Se puede construir en forma horizontal o vertical. La segunda manera es aprovechar los equipos de aire lavado que ya existen en el mercado. Para ello se pueden presentar dos casos que se describen a continuación.

a) Para construir el humidificador se parte de la base para determinar el área de humidificación, para lo cual se requiere encontrar el volumen total de aire del invernadero, además se considera una relación de humidificación previamente establecida, la cual consiste en que por cada 150 pies cúbicos de aire a humidificar, se requiere un pie² de superficie de humidificación.

Con base en lo anterior, se tiene que:

$$\text{Área de humidificación} = \frac{\text{Volumen total pies}^3}{\text{Relación } 150 \text{ pie}^3 \text{ pie}^{-2}} \quad 6.5$$

por lo que:

$$\text{Área de humidificación} = \frac{40\,000 \text{ pies}^3}{150 \text{ pies}^3 \text{ pies}^{-2}}$$

Así se obtiene que el área de humidificación es $266.6 \text{ pies}^2 \approx 25 \text{ m}^2$. Esta área distribuida a todo lo largo de un lateral del invernadero corresponde a una franja de 45 m de longitud por 0.56 m de ancho. El espesor del colchón de fibra a humedecer es de 5 a 6 cm; éste se humedece por medio de un sistema de recirculación continua de agua, la cual se proporciona al sistema por medio de una bomba y un distribuidor.

b) En lugar de construir el humidificador se pueden instalar ocho equipos de aire lavado de 5,000 pcm con descarga vertical, los cuales cuentan con cuatro colchones de humidificación, mismos que en conjunto proporcionarán un área aproximada de 3.2 m² por equipo. Con esto se tiene una superficie total de humidificación de 25.6 m² que es un poco mayor que la requerida. Con este tipo de equipos se logra obtener hasta un 30 por ciento más de eficiencia, además de que ya no sería necesario instalar los equipos de extracción, requiriéndose únicamente la instalación complementaria de ventilas laterales o cenitales.

Calefacción.

Para determinar el requerimiento de calefacción es necesario considerar tres factores:

1. La superficie expuesta del invernadero (S en pies²) que se estima mediante la siguiente ecuación:

$$S = \pi r(r+L) \quad 6.6$$

De acuerdo con los datos de altura (r) y largo del invernadero toma un valor de 6,657.43 pies²

2. Diferencia de la temperatura del aire en el interior y exterior del invernadero en °F (TD); en este caso $TD=50\text{ °F}-30\text{ °F}=20\text{ °F}$

3. Factor de aislamiento de material de la cubierta (IF , en BTU (h °F pies²)⁻¹); para el PE, $IF=1$.

Con estos factores se usa la Ecuación 6.3 para obtener la carga de calefacción, de esta forma se tiene:

$$Q=(6,657.43 \text{ pies}^2)(20 \text{ °F})(1 \text{ BTU}(\text{h °F pies}^2)^{-1})$$

$$Q=133,149 \text{ BTU h}^{-1}$$

Esta es la carga de calefacción si no se tienen pérdidas por infiltración. Sin embargo, dado que estas existen, se considera un 30 por ciento más del valor calculado, de ahí que:

$$QT = 173,094 \text{ BTU h}^{-1}$$

La carga de calefacción calculada se puede satisfacer con uno o dos generadores de calor, dependiendo de las capacidades que se localicen en el mercado.

La inyección y recirculación del aire caliente se realiza con un ventilador de 13,000 pcm, a través de ductos de polietileno perforado.

En este ejemplo se utilizan unidades de potencia en BTU para el equipamiento de calefacción debido a que son las unidades de uso común en el mercado. Si se requieren algunas conversiones de acuerdo al sistema internacional de unidades, deben considerarse las siguientes equivalencias:

1 BTU = 1,050 joules

1 Caloría = 4.19 joules

Exigencias climáticas de los cultivos bajo invernadero.

Los cultivos como el tomate, pepino, chile, calabacita, melón, crisantemo, clavel, rosas, vid, durazno, etc., que en mayor medida son cultivados bajo condiciones de invernadero por su mayor demanda y precio en el mercado, son los que justifican inversiones en infraestructuras de este tipo (Resh, 1978).

Para cada uno de los cultivos variarán las condiciones climáticas en las cuales logran desarrollarse al máximo y en la medida en que estas sean controladas, se obtendrán mayores rendimientos y una mejor calidad. En el Cuadro 6.2 se presentan las exigencias climáticas para algunos de los cultivos antes mencionados.

Cuadro 6.2. Exigencias climáticas para cultivos en invernadero (° C).

Cultivo	Temp. min letal	Temp. min biológica	Temp. noche	Óptima día	Temp. máx biológica	Temp. mínima	Germin. óptima
Tomate	2	8	13-16	22-26	26-30	9-10	20-30
Pepino	4	10	18-20	24-28	28-32	10-12	20-30
Melón	2	12	18-21	24-30	30-34	10-13	20-30
Chile	4	10	16-18	22-28	28-32	12-15	20-30
Lechuga	-2	4	10-15	15-20	25-30	-	20
Fresa	-2	6	10-13	18-22	-	-	-
Clavel	-4	4	10-12	18-21	26-32	-	-
Rosal	-6	8	12-16	20-25	30-32	-	-

Referencias

- Adrados, C., 1983. Estudio de la transmisión a distintas longitudes de onda de films plásticos utilizados en el forzado y protección de cultivos, I Congreso Nacional Sociedad Española de Ciencia Hortícola. Valencia, España.
- Bot, G. P. A., 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model, Ph.D thesis. Univ. Wagenigen, Holanda.
- Brook, W. 1973. Growing Greenhouse Tomatoes in Ohio, Ed. Cooperative Extensions Service the Ohio State University.
- Cano, B. 1977. Diez temas sobre la huerta, Vols. III, IV y V. Ministerio de Agricultura, Madrid, España.
- Castilla, N. y J. Hernández. 2001. Mejora del nivel tecnológico de los Invernaderos Mediterráneos en España. Departamento de Ingeniería Rural. p. 21-26.
- Clegg, P. y D. Watkins. 1979. The complete Greenhouse Book. Ed. Garden Way Publishing. U. S. A.
- Ellwood, Ch. 1977. How to build and Operate your Greenhouse. Ed. HP. Books. U. S. A.
- Martin V., L. 1976. Guía para la aplicación de los plásticos en la agricultura. Sociedad de Ingenieros en Plásticos, A. C. México.
- Matallana G., A., J. I. Montero C. 1995. Invernaderos: diseño, construcción y climatización. Ed. Mundi-prensa. México.
- McMahon, M. J. y J. W. Kelly. 1990. Influence of spectral filters on height, leaf chlorophyll, and flowering of rosa x hibrida "Meirutral", J. Environ. Hort.
- Molina F., D. 1997. Identificación y valoración de los distintos tipos de invernaderos de la provincia de Almería para el análisis y control de sus condiciones ambientales. Trabajo profesional fin de carrera Universidad de Córdoba.

- Montero, J. I., A. Antón, J. Hernández, N. Castilla. 2000. Direct and diffuse light transmission of insect Prot. Screens and Plastic Films Cladding Greenhouse. ISHS international symposium on protected cultivation in mild winter climates. Act Horticulture.
- Rajapakse, N. C., R. E. Young Oi. 1998. Plant growth regulation by photoselective greenhouse covers. *In*: 27th National Agricultural Plastics Congress. American Society Plasticulture, Tucson, Arizona. p 23-30.
- Reca, C. y J. Martínez. 2001. Influencia del microclima de un invernadero en el balance hídrico y en las necesidades de agua del cultivo. *In*: control climático en invernaderos, mecanización construcción y manejo agronómico. Departamento de ingeniería rural. Universidad de Almería, España. p. 11-18.
- Resh, H. M. 1978. Hydroponic Food Production, A definitive guidebook for the advanced homo gardener and the commercial hydroponic Grower, Woodbringe Press publishing Co., Calif.
- Robledo De P., F. 1987. Plásticos termoaislantes para la protección de cultivos y nuevas tecnologías en cultivo bajo invernadero. ETSIA. Córdoba.
- Romero F., E. 1979. Avances de investigación en el cuánto, cuándo y cómo regar el cultivo de tomate en condiciones hidropónicas bajo invernadero. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México.
- _____. 1981. Producción de tomate bajo invernadero con riego por goteo. Folleto CENAMAR-SARH. México.
- _____. 1982. Manual de construcción y operación de invernaderos familiares para la producción de hortalizas con riego por goteo. CENAMAR-SARH. México.
- Schwars, M. 1968. Guide to comercial hydroponics. Israel Univ. Press. Jerusalem.
- Smith, S. 2000. Greenhouse gardner's companion: Growing Food and Flowers in Greenhouse or Sunspace. Fulcrum Publishing. Golden, Colorado.

- Valera M., D. L. y F. Molina A. 2001. Mecanización Construcción y Manejo Agronómico, p 1-9. *In: Control Climático en Invernaderos, Mecanización, Construcción y Manejo Agronómico.* Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería, España.
- Vásquez M., S. 1989. Manual de diseño, operación, mantenimiento y evaluación de invernaderos. Tesis de licenciatura. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Dgo., Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Yun Z., B. Dansereau, L. Gauthier, D. De Halleux, A. Goselin. 1998. Effect of covering materials on greenhouse energy consumption, microclimate and yields of greenhouse flower crops. 27th National Agricultural Plastic Congress. Americana society for plasticulture. Tucson, Arizona, p.15.
- Zabelitz, C. V. 1988. Greenhouse structures. *In: Greenhouse Ecosystems.* Stanhill G., Enoch H. Z. (Eds). Elsevier, Amsterdam, p.17-69.

Capítulo

7

Tecnología de Producción en Cultivos Hidropónicos

**Hilario Macías Rodríguez
Celina Maeda Martínez
Graciela E. Díaz Ávila
Ernesto Romero Fierro**

Introducción

La hidroponía es un sistema de producción con mucho futuro para el sector agropecuario de cualquier país, ya que potencializa los rendimientos de los cultivos y permite el uso racional de recursos naturales como agua y suelo, y es además una alternativa para la producción intensiva de alimentos ricos en proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales con mínima inversión para las regiones con extrema pobreza.

La traducción literal del término "hidroponía" del griego (hidro y ponía), significa "manejo del agua" e involucra fundamentalmente "el cultivo de plantas en sustratos inorgánicos en sustitución del suelo". La idea de producir plantas sin suelo no es nueva, ya que los estudios sobre nutrición vegetal datan desde tiempos de Aristóteles, y fue a principios del siglo XVIII cuando los cultivos en soluciones nutritivas se convirtieron en una herramienta muy valiosa para la investigación sobre fisiología vegetal (Turner, 1960). En este capítulo se presentan generalidades de los cultivos hidropónicos así como los diversos aspectos que se deben tomar en cuenta en la producción de cultivos con este sistema.

Generalidades

Con respecto a las funciones fisiológicas del cultivo hidropónico en relación con las raíces de las plantas, éstas son parecidas a las que tienen lugar en el cultivo en suelo. Aun cuando la solución nutritiva se asemeja a la solución del suelo de donde las raíces toman sus nutrimentos minerales, ambas difieren por lo general en su concentración de iones minerales y en su grado de uniformidad como medio nutritivo. Por lo general, la solución del suelo es mucho más diluida y heterogénea en su disponibilidad de nutrimentos que la solución nutritiva.

El suelo es una unidad físico-química compleja que contiene diversos agentes biológicos y una estructura definida, que en los suelos agrícolas está más o menos perturbada, pues cada capa u horizonte del mismo posee propiedades químicas y físicas diferentes, que además tiene incluida materia orgánica en descomposición y materia mineral en mayor o en menor grado solubilizadas, siendo necesaria la presencia de sustancias orgánicas y microorganismos para hacerlas disponibles para la planta, de ahí que el cultivo de plantas en forma artificial presenta considerables ventajas sobre el cultivo en suelo.

En la Figura 7.1 se muestran los diferentes procesos que se desarrollan en el suelo hasta que los elementos nutrimentales estén presentes en soluciones disponibles y asimilables para la planta; en contraposición, la forma sencilla y directa como obtienen estos mismos elementos de la solución nutrimental formada de sales solubles y agua.

En general, si se quiere reemplazar el suelo natural por un medio artificial para las raíces se deben conocer dos aspectos:

- Las condiciones ideales que deben prevalecer en el ambiente de las raíces.
- La manera en que se pueden lograr esas condiciones.

Condiciones requeridas en el ambiente radicular.

Para que las raíces de los cultivos se desarrollen sin restricciones en sistemas hidropónicos es necesario garantizar la presencia de los siguientes factores:

- Suficiente suministro de agua, oxígeno y nutrimentos.
- Suficiente descomposición de las secreciones de las raíces muertas por bacterias y saprófitas.
- Rangos adecuados de temperatura en la raíz.
- Suficiente dispersión del bióxido de carbono producido por la respiración en el medio radicular.
- Suficiente apoyo o soporte en el área radicular para mantener las plantas en pie, a menos que las plantas estén entutoradas.
- Que se encuentre libre de influencias dañinas como insectos, virus, bacterias y hongos.

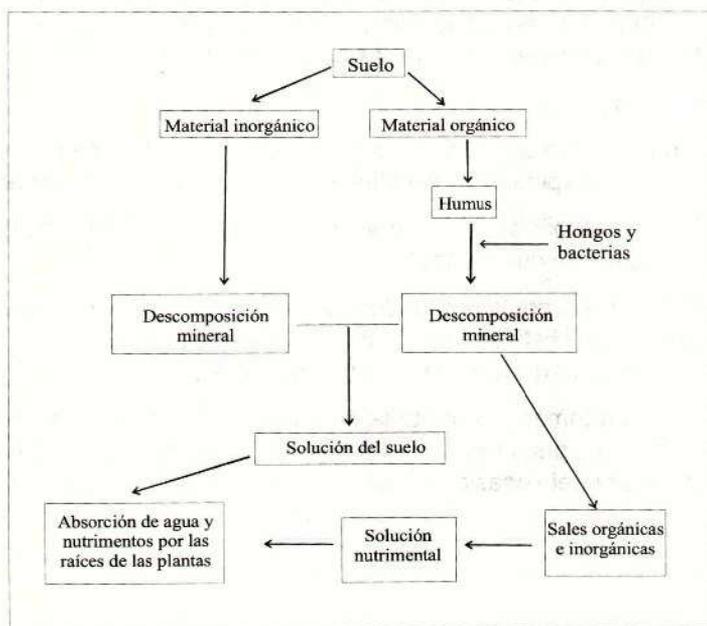


Figura 7.1. Procesos que se desarrollan en el suelo para la disponibilidad de nutrimentos para la planta y obtención de nutrimentos de la solución nutricional.

Medios de cultivo

Características del sustrato a utilizar como medio de cultivo.

El término sustrato en hidroponía se aplica a todo material sólido distinto del suelo. Puede ser natural o de síntesis, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular. El sustrato puede o no intervenir (material químicamente activo o inerte) en el proceso de la nutrición vegetal (Sánchez, 1989; Abad, 1997). Partiendo de esto, la caracterización de los mismos como medio de cultivo se hace desde dos puntos de vista:

- Físico.
- Económico.

a) Desde el punto de vista físico:

- Sólido (para que sirva como soporte o sostén mecánico de la planta) o líquido (agua con solución nutrimental, siempre que las plantas estén entutoradas por encima del medio).
- Compacto o poroso.
- Orgánico (cortezas de pino y cocotero, turba y compostas) o inorgánico (perlita, vermiculita, lana de roca, gravas y arenas).
- Buena estabilidad física y química (con buena consistencia para alcanzar alta durabilidad).
- Adecuada granulometría (debe tener buena retención de humedad, la cual está en función del tamaño de las partículas, de su superficie externa y su estructura química).
- Se debe tomar en cuenta la naturaleza de la superficie de las partículas, pues algún medio con partículas de bordes duros y afilados suele ocasionar lesiones mecánicas en las plantas.

b) Desde el punto de vista económico:

- Bajo costo de obtención, es decir, que su fuente o yacimiento se encuentre cerca del lugar donde se vaya a instalar el cultivo.
- Facilidad de manejo, tanto en su traslado como en su utilización, es decir, que no requiera tratamientos especiales.
- Que facilite un desarrollo adecuado del cultivo para obtener los máximos rendimientos y la óptima utilización de la explotación.

Tomando en cuenta las características anteriores y con base en las propiedades físicas y químicas que presentan los medios de cultivo, se puede determinar cuáles son los más adecuados para usarse cuando se piense iniciar una explotación con cultivos bajo invernadero.

Propiedades físicas de los sustratos

El conocimiento de la densidad aparente y densidad real, de fácil determinación en laboratorio, son necesarios para establecer las cantidades de sustratos requeridas para la puesta en marcha de una explotación hidropónica. La relación entre estos dos valores permite determinar la porosidad total y el volumen de agua y solución nutritiva necesarios para regar los lechos o camas de cultivo; a su vez, esto permite conocer el volumen mínimo requerido del depósito de la solución nutritiva.

La porosidad total (Φ) se estima a partir de la siguiente relación:

$$\Phi = 1 - D_a/D_r * 100 \quad 7.1$$

Donde D_r es la densidad real y D_a es la densidad aparente, ambas expresadas en $g\ cm^{-3}$.

Por otra parte, el volumen real (V_r) que ocupa la solución nutrimental en los espacios vacíos del medio de cultivo se determina de la siguiente manera:

$$V_r = (V_{cc}) (\Phi) \quad 7.2$$

Donde V_{cc} es el volumen de la cama de cultivo, en litros (L), [Largo (m) x ancho (m) x Prof. (m) x 1,000].

Ejemplo: Una arena de río que se utiliza comúnmente como sustrato en cultivos hidropónicos, con densidades real y aparente de 2.62 g cm^{-3} y 1.60 g cm^{-3} , respectivamente, tiene una porosidad total (Φ) de 38.93 por ciento de acuerdo a la Ecuación 7.1.

Si las dimensiones de la cama de cultivo son: ancho 1.20 m, largo 30 m y profundidad 0.30 m, entonces se tiene un V_{cc} de 10.8 m^3 ó 10,800 L. Al aplicar la Ecuación 7.2, el V_r de la solución nutrimental requerida será de 4,204.44 L. Con base en este volumen calculado se puede determinar la capacidad del depósito de la solución nutrimental en el invernadero. Por lo general, se construye con una capacidad un tercio mayor que el volumen real que ocupa la solución nutrimental.

Estabilidad.

Se le llama así a la resistencia física del medio de cultivo frente a la alteración producida en él por la solución nutrimental, considerando esta última como agente erosivo. El uso de sustratos poco estables da lugar a que sea necesario el cambio periódico de los mismos, ya que si se produce una disgregación traerá como consecuencia la acumulación de los materiales finos en el fondo de las camas de cultivo, ya sea concreto o polietileno, impidiendo el drenaje adecuado de la solución nutrimental, lo que producirá una asfixia radical más o menos acentuada. El mismo fenómeno ocurre en el caso de que el sustrato esté sometido a procesos de compactación o hinchamiento.

Granulometría.

La granulometría es la distribución del tamaño de partículas del sustrato, es un factor que si varía dentro de unos límites normales de cinco a 10 mm de diámetro para los medios de cultivo porosos y de 0.25 a 5 mm de diámetro para los compactos, no se presentará ningún problema. Lo que sí puede resultar peligroso es el uso de sustratos no homogéneos, en especial, cuando existen cantidades considerables de materiales finos. Abad *et al.* (1996) señalan que el mejor sustrato es aquel material de textura media a gruesa, equivalente a una distribución de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, que retienen suficiente agua fácilmente disponible y poseen, además un contenido adecuado de aire.

En el CENID-RASPA (antes CENAMAR) se han obtenido excelentes resultados con el uso de arena como sustrato en los cultivos de tomate, chile y pepino regados con goteo, (Díaz, 1978 y 1981). El diámetro de la arena ha variado desde 0.1 hasta 0.3 mm.

Propiedades químicas de los sustratos

Las propiedades químicas de un sustrato o medio de cultivo se derivan de su naturaleza y composición. De acuerdo a la actividad química que pueda tener un medio de cultivo sobre la solución nutrimental, se deben tomar en cuenta dos aspectos fundamentales:

- Cesión de iones a la solución nutrimental.
- Retención de iones de la solución nutrimental.

Cesión de iones a la solución nutrimental.

Se puede considerar que prácticamente todos los medios de cultivo o sustratos, principalmente los orgánicos, ceden iones a la solución nutrimental, ya sea por tratarse de materiales con gran actividad de intercambio iónico, como por disolución o alteración de los minerales componentes del sustrato al entrar en contacto con la solución nutrimental.

Normalmente la cesión de iones que tiene un mayor efecto sobre la rentabilidad de los cultivos se refiere principalmente a la de micronutrientes, pues son los que presentan límites estrechos entre toxicidades y deficiencias. Cuando la capacidad de cesión de iones de un medio de cultivo supere el valor óptimo para un micronutriente específico se puede considerar que se está en un punto peligroso, y que a esta cesión hay que agregarle las impurezas de los fertilizantes empleados en la preparación de la solución nutrimental. Aunque el valor puede no ser lo suficientemente alto para presentar síntomas visibles de toxicidad, sí puede estar causando un efecto negativo en el desarrollo de los cultivos.

Con respecto a los elementos mayores o macronutrientes, los límites de toxicidad son considerablemente amplios y normalmente puede lograrse un balance de la solución nutrimental de acuerdo con la cesión de un determinado ión. Por ejemplo, el tezontle que es un tipo de roca volcánica, tiene una cesión muy intensa de magnesio, el cual forma parte de su misma composición mineral.

Retención de iones de la solución nutrimental.

Al igual que el suelo, todos los materiales usados como sustratos en hidroponía presentan alguna retención de iones. En primer lugar, se hace referencia a los micronutrientes. En este caso, el problema es menos acentuado que en el caso de la cesión de iones, ya que además de poder aumentar el contenido de los mismos en la solución nutrimental, es posible la aplicación periódica de pulverizaciones foliares. La deficiencia más frecuente es la de hierro, debido a que en el medio de cultivo tiende a precipitarse con los fosfatos, formando fosfatos de hierro insolubles al elevarse el pH de la solución.

Para evitar la deficiencia de hierro en la planta, lo conveniente es utilizar quelatos de hierro en la preparación de la solución nutrimental, ya que admiten valores elevados de pH, alrededor de 8.5, sin pérdida de la disponibilidad de este elemento. Díaz (1981), observó buena estabilidad del quelato o sequestrene 138 Fe- EDDHA, ácido etilen-diamino di-orto-hidroxi-fenil-acético, en soluciones con pH neutros o alcalinos, 7 a 8.5, y el sequestrene Fe 330 EDTA, ácido etilen-diamino-tetraacético, para soluciones nutritivas con pH ácido, 5.5 a 6.5. Cadahia (2000), señala que una mezcla proporcional de ambos quelatos tiene una estabilidad aceptable en soluciones nutritivas con pH de 5.5 a 7.5. Por su parte, Arano (1998) menciona que dichos quelatos se pueden elaborar por los productores, y para tal propósito establece la siguiente formulación:

EDTA (sequestrene AA, Novartis): 229 g + hidróxido de potasio: 224 g + sulfato ferroso: 278 g + agua en cantidad suficiente para la disolución de los productos.

Arano (1998) también indica que la elaboración de los quelatos empieza con la disolución del hidróxido de potasio en agua, luego se agrega el EDTA hasta su disolución total y por último, siempre agitando, se agrega el sulfato ferroso. Esta mezcla proporciona una concentración de Fe del 13.2 por ciento.

En materiales volcánicos como el tezontle, no es frecuente la deficiencia de hierro porque lo tienen en cantidades elevadas en su misma composición, pero por la interacción entre iones, sí aparece con frecuencia la deficiencia de manganeso, que puede controlarse mediante aplicaciones foliares con sulfato de manganeso.

En segundo lugar, la retención de iones macronutrientes es causada por diferentes factores, entre los que destaca la capacidad de intercambio catiónico. Esta es de especial impacto en materiales de naturaleza arcillosa y afecta principalmente a los cationes K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y NH_4^+ en las primeras etapas del cultivo hasta llegar al equilibrio entre la solución y el complejo de intercambio. Aún si los cationes quedan retenidos o adsorbidos, pueden ser utilizados poco a poco por la planta (Bennet, 1993).

La vermiculita es uno de los sustratos que presenta fijación de K^+ y en su caso de NH_4^+ , ya que el radio iónico de estos dos iones se adapta perfectamente al tamaño de las intercapas de la arcilla cuando se encuentra hidratada, y al bajar el contenido de humedad, las capas de las arcillas se contraen quedando retenidos dichos cationes.

Contenido de materia orgánica.

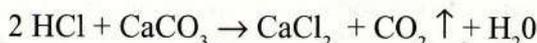
A medida que se utiliza un medio o sustrato se va produciendo una acumulación de materia orgánica resultado de los restos de raíces. Los efectos de esta acumulación se manifiestan sobre la solución nutritiva con la formación de complejos órgano-minerales insolubles con los iones Fe^{++} , Al^{+++} y fosfato (PO_4^{--}) principalmente. Por la falta de disponibilidad de estos elementos, pueden presentarse estados deficitarios de los mismos en las plantas; posteriormente al disociarse estos complejos por descomposición de la materia orgánica de los iones, vuelven a quedar en libertad, pudiendo producir efectos tóxicos a la planta.

El efecto anterior se presenta en forma gradual en los medios hidropónicos de cultivo, y para cultivos en suelo común, el efecto es inmediato. De ahí que la aplicación del fertilizante se dé con base en los análisis químicos de suelo y planta, y a medida que se vaya obteniendo experiencia, el desarrollo del cultivo indica las pautas a seguir respecto a su nutrición.

Contenido de calcio.

El contenido de calcio del sustrato o medio de cultivo afecta directamente a la concentración de fosfatos de la solución nutrimental, pues se produce una precipitación en forma de sulfatos y fosfatos de calcio muy insolubles, y que en algunos casos van evolucionando a la formación de fosfatos tricálcicos que se sitúan en forma de costras alrededor de las plantas. A este fenómeno se le conoce como "fijación del fósforo", de ahí que en suelos con alto porcentaje de carbonatos o hidróxidos de calcio se presenten deficiencias de fósforo aun cuando se apliquen dosis suficientes de este elemento.

No obstante que algunos autores recomiendan no utilizar aquellos medios de cultivo que contengan alrededor de un 20 por ciento de carbonato de calcio (CaCO_3), en el CENID-RASPA se han probado durante varios años gravas y arenas de origen calcáreo representativas de la Comarca Lagunera Coahuila y Durango (Díaz, 1978 y 1981). Inicialmente, las gravas se lavan para utilizarse en cultivos regados por subirrigación, con HCl (ácido clorhídrico al 5 %) para neutralizar los carbonatos, produciéndose la siguiente reacción:



Posteriormente, se aplica el ácido en el medio de cultivo hasta que deja de reaccionar y después se lava abundantemente con agua.

Para la utilización de arenas, que son medios de cultivo finos y que dificultan la neutralización con ácido, se ha considerado como un criterio muy importante para su uso, el porcentaje de carbonatos totales ($\text{CO}_3^{=}$) insolubles, debiendo tener un máximo de dos por ciento (Martínez, 1993). Respetando este criterio, se asegura una buena respuesta del cultivo, sobre todo, si antes del trasplante el medio se lava con agua ligeramente acidulada con el propósito de disminuir el pH (alrededor de 6.5 a 7.0). Con lo anterior queda claro que en cada caso particular es necesario conocer las propiedades físicas y químicas del sustrato y su actividad sobre la solución nutrimental para implementar las correcciones necesarias en cuanto a concentración de sales y pH.

Clasificación de los medios de cultivo utilizados en hidroponía

Existe una gran cantidad de literatura sobre sustratos considerados hidropónicos, que actualmente se están utilizando en diferentes países a nivel comercial en condiciones de invernadero. Enseguida se presenta una clasificación de acuerdo a su origen y propiedades físicas y químicas.

a) Según su origen:

- Naturales. Son los que se utilizan tal y como se encuentran en la naturaleza, y que no son resultado de un proceso de fabricación.
- Artificiales. Son los resultantes de un proceso de fabricación y presentan una composición básica diferente a la materia prima empleada. Dentro de estos se encuentran los diferentes tipos de espumas plásticas y resinas intercambiadoras.

b) Según sus propiedades físicas:

- Material poroso. Es aquel material cuya capacidad de retención de humedad es causada por la microporosidad entre partículas.

c) Según sus propiedades químicas:

- Sin capacidad de intercambio iónico. Cuando su actividad sobre la solución nutritiva es nula o actúa únicamente sobre un ión determinado.
- Con capacidad de intercambio iónico. Cuando tienen actividad sobre la solución nutritiva adsorbiendo, intercambiando o cediendo iones, tanto cationes como aniones.

En la Figura 7.2 se presenta la clasificación de los materiales utilizados en mayor o menor nivel con fines hidropónicos.

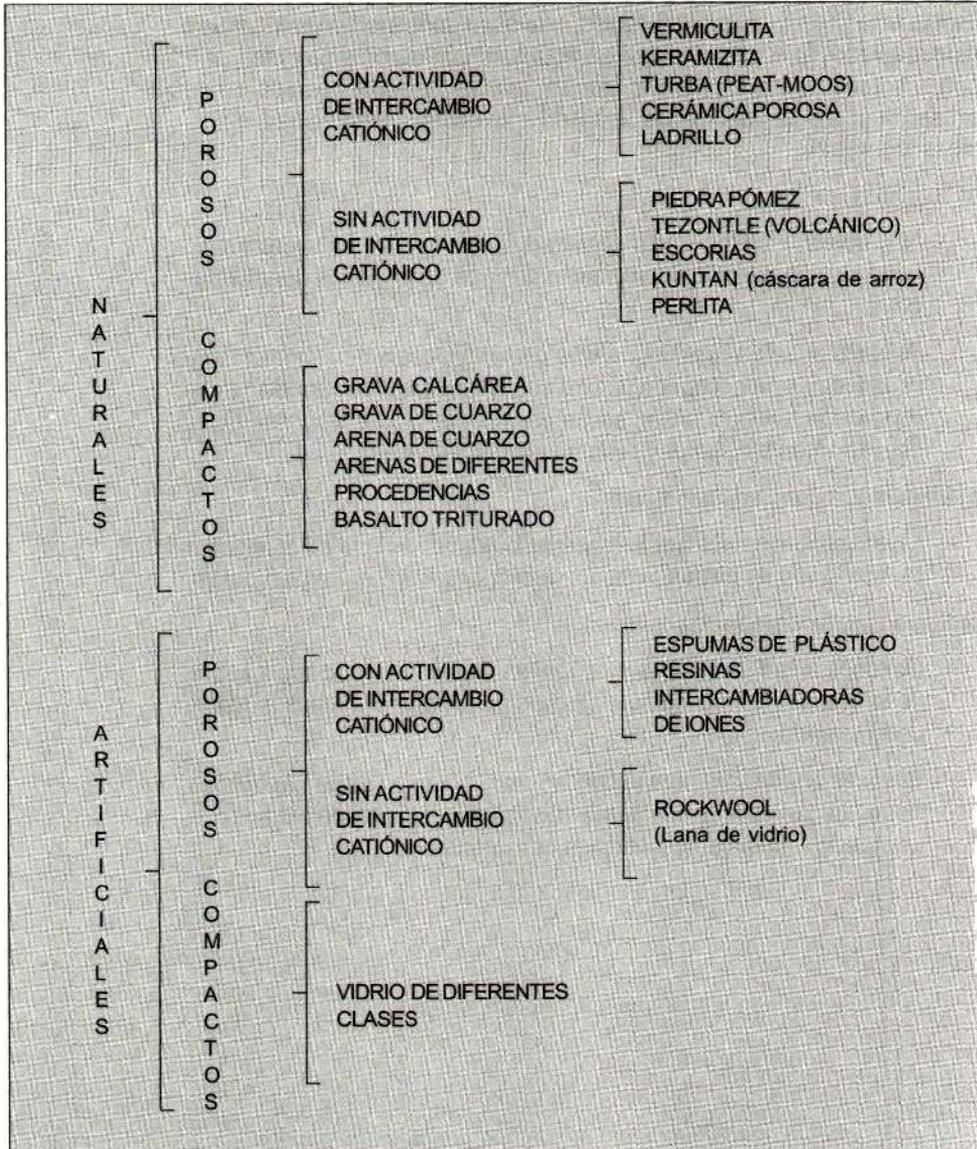


Figura 7.2. Clasificación de los sustratos usados en hidroponia.

En el CENID-RASPA se han probado la mayor parte de los materiales descritos en la figura anterior, y se evaluó su respuesta a diferentes metodologías de aplicación de la solución nutrimental y métodos de riego (Díaz, 1977). Dentro de los materiales sólidos en los que se ha trabajado y comprobado su eficiencia como sustratos se mencionan los siguientes:

- Gravas de origen calcáreo (4-10 mm Ø)
- Arenas de origen calcáreo (0.05-0.3 mm Ø)
- Arenas de duna (0.1-0.5 mm Ø)
- Vermiculita (exfoliada)
- Perlita
- Tezontle o piedra volcánica (5.20 mm Ø)
- Mezcla de vermiculita y arena (1:1)
- Mezcla de vermiculita y suelo (1:1)
- Mezcla de vermiculita y arena (1:1)

En las comparaciones de tratamientos con los diferentes sustratos o medios de cultivo para tomate, pepino y otros cultivos hortícolas, no se ha encontrado diferencia estadística en cuanto a rendimiento. Por economía, eficiencia de utilización y calidad del producto se ha llegado a la conclusión de que la arena de río es la mejor opción, por lo menos por su utilización práctica. Por ejemplo, en la Comarca Lagunera se recomienda su uso para los cultivos en invernaderos familiares y comerciales. En los Cuadros 7.1 y 7.2 se presentan las propiedades físicas y químicas de algunos de los sustratos orgánicos e inorgánicos utilizados como medio de cultivo para invernadero (Díaz, 1978 y 1981).

Cuadro 7.1. Propiedades físicas de algunos medios de cultivo (Díaz, 1981).

Medio de cultivo	CC (%)	PMP (%)	Da	Dr	Porosidad (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
			g cm ⁻³					
Grava (4-10 mm \AA)	-	-	1.46	2.83	50.0	-	-	-
Arena fina de río	3.21	1.50	1.43	2.50	42.8	97.1	1.0	1.8
Arena gruesa de río	3.42	1.70	1.51	2.49	39.3	95.2	2.0	5.8
Arena desierto	12.01	4.14	1.287	2.69	-	90.2	4.0	5.8
Vermiculita	270.0	140.0	0.13	0.34	61.0	0.0	25.3	74.7
Tezontle (5-20 mm \AA)	-	-	0.08	1.67	1.67	88.0	88.1	4.8
Suelo migajón arcilloso	32.4	19.1	1.292	2.76	53.1	38.2	32.0	29.8
Suelo (franco)	28.4	15.4	1.35	2.31	41.5	57.3	20.0	22.6
Suelo (humificado)	25.4	14.5	1.27	2.66	52.0	66.3	24.0	9.6

Por lo general los rendimientos por unidad de superficie han resultado mayores hasta en un 300 y 400 por ciento con los cultivos desarrollados en medios hidropónicos, o también denominados sin suelo, en los que el propio sustrato es el agua con la correspondiente solución nutritiva. Esto es por las ventajas que representan los nutrientes al estar disponibles para la planta en forma totalmente soluble, con el equilibrio iónico adecuado para la absorción y asimilación que permite el desarrollo óptimo de la planta y la posibilidad de llegar al rendimiento potencial fisiológico de la misma. González (1997) señala que de las 68,500 ha que se establecen en los países europeos con cultivos hidropónicos, 11,000 ha se manejan sin suelo. Países que destacan en esta tecnología son Holanda, Francia y España.

Cuadro 7.2. Propiedades químicas de algunos medios de cultivo (Díaz, 1981).

Medio de Cultivo	CE (%)	pH	M.O. (%)	C.I.C *	PSI (%)	HCO ₃ *	CO ₃ insolubles (%)
Grava	0.25	7.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.3
Arena fina de río	0.30	7.4	0.0	1.5	0.8	0.5	0.2
Arena gruesa de río Ø	0.50	8.0	0.0	4.5	0.5	0.5	0.8
Arena desierto	1.40	7.7	0.0	11.0	10.3	2.0	6.2
Vermiculita	0.80	7.2	0.0	22.0	0.8	1.0	0.4
Tezontle	0.38	7.7	0.2	10.0	0.9	1.0	1.2
Suelo migajón arcilloso	2.2	7.6	0.8	32.0	3.6	2.0	7.2
Suelo (franco)	3.8	7.9	1.0	18.5	6.3	1.5	5.6
Suelo (humidificado)	4.2	7.2	5.8	28.5	0.0	3.0	4.1
Paja de trigo	4.1	7.8	0.0	44.0	8.5	0.08	0.4

* Miliequivalentes por cien gramos de suelo.

En suelo, con el manejo de soluciones nutritivas y métodos de riego presurizados, los cultivos hortícolas han llegado a producir bajo invernadero rendimientos semejantes a los hidropónicos típicos, de 300 a 400 por ciento mayores a los obtenidos en campo abierto con los métodos tradicionales de cultivo (Díaz, 1977). A continuación se detallan algunas características de los sustratos que más se utilizan en los cultivos hidropónicos con el propósito de apoyar la decisión sobre su elección:

Gravas.

De acuerdo a su origen, se pueden utilizar tres tipos de gravas: gravas de cuarzo, de piedra pómez y de río. Las gravas de cuarzo provienen de rocas silíceas o ácidas. Se recomienda que sus aristas no sean muy agudas. Tienen retención de agua deficiente, requiriendo riegos frecuentes. Presentan buen comportamiento químico por ser muy inertes y por ello ni aportan ni adsorben ningún elemento nutrimental. Las gravas de piedra pómez provienen de rocas basálticas o básicas, con poco contenido de silicio, presentan muy buenas propiedades físicas, ya que para una granulometría de 2 a 15 mm, el volumen de poros es del 85 por ciento sobre el total. Las gravas de río también se utilizan como sustrato, pero presentan el mismo problema que las gravas de cuarzo en relación con la poca capacidad de retención de agua.

Arenas.

No obstante haber descrito las características de las arenas en la sección de Propiedades Físicas, se requiere señalar que este sustrato con el tiempo de uso se intertemperiza y pierde su propiedad de aireación, aunque suele durar varios años. En el CENID-RASPA se ha utilizado arena de río hasta por periodos de diez años en forma continua sin que se alteren sus propiedades físicas (Díaz, 1981; Romero, 1982).

Lana de roca.

La lana de roca es considerada como un material inorgánico y se obtiene industrialmente a partir de la mezcla de dolerita (60 %), roca calcárea (20 %) y carbón (20 %), todo disuelto a 1,600 °C. Se le considera un sustrato no del todo inerte químicamente, ya que aporta pequeñas cantidades de fierro, magnesio, manganeso y calcio. Su pH es ligeramente alcalino, en un rango de 7 a 9, aunque con el tiempo tiende a la neutralidad. Su densidad aparente es baja, lo que le da una gran capacidad de retención de agua, suele mezclarse con otros sustratos para asociar distintas propiedades.

Vermiculita.

Es un material secundario que pertenece a la familia de las micas, generalmente asociado con rocas básicas, pues químicamente es un silicato hidratado de magnesio, su estructura es de capas superpuestas con escamas gruesas y se expande logrando las ventajas de un material poroso, con alta retención de humedad, aislante térmico y muy ligero.

Puede presentar carácter alcalino debido a las posibles aportaciones de magnesio y con el tiempo se compacta y pierde la capacidad de retención hídrica. A menudo se formula mezclándola con otros sustratos para incrementar la retención de agua.

Perlita.

Es una roca de origen silíceo definido como cristal volcánico; cuando se calienta a una temperatura de 1,000 °C esta roca se infla creando pequeños globos o celdillas las cuales pueden retener gran cantidad de agua, que constituye una reserva importante de humedad para las plantas, al mismo tiempo que el material se expande de 4 a 20 veces su volumen original. Las celdillas de cristal cerradas hacen que el

material sea muy ligero y un excelente aislante térmico. Químicamente es inerte a un rango de pH entre 7-7.5, ya que a pH ácido tiende a liberar aluminio, que es uno de sus componentes originales. Comúnmente se realizan mezclas de turba y perlita con la finalidad de aumentar la permeabilidad y la aireación de la primera. Un inconveniente muy marcado es que se deforma con facilidad cuando se ejerce una pequeña presión con los dedos, con lo que su duración puede reducirse a un ciclo de cultivo, ya que las raíces la degradan con su acción mecánica.

Turba.

Consiste en musgo de pantanos o ciénegas, parcialmente descompuestos. La composición de los depósitos de turba varía mucho, dependiendo de la vegetación de la cual son originados, su grado de descomposición, el contenido de minerales y acidez.

De todas las turbas, la conocida como "*peat-moss*" es la más mineralizada, y está constituida principalmente por *sphagnum spp*, tiene un alto poder de retención de agua, hasta diez veces su peso, presentan un pH prominentemente ácido, con un rango de 3.8-4.5, su capacidad de intercambio catiónico suele ser muy alto y su potencial para retener aire también. A este material en la actualidad se le utiliza principalmente para la producción de plántula de hortalizas en charolas de poliestireno para trasplante en campo o en invernadero, ya sea al piso o a sistemas hidropónicos. Igualmente, su uso se ha extendido en la reproducción de plantas de ornato y jardinería (Abad y Noguera, 1985).

Se prevé que en el futuro se utilizarán algunos sustitutos de arena gruesa que deriven principalmente de minerales y de la industria. Potencialmente, uno de ellos consiste en trozos de plástico, el cual es sobrante de la industria del cableado eléctrico, otro producto puede ser el poliestrol, que es la combinación de varios plásticos de desecho industrial (Figueroa y Macías, 2002).

Lavado y esterilización del medio de cultivo

Después de haber seleccionado el sustrato o medio de cultivo, un factor muy importante que se debe tomar en cuenta para asegurar el éxito del cultivo es la esterilización de éste. Una vez que se encuentre distribuido el material en la instalación definitiva e instalado el sistema de riego, se recomienda un lavado del medio hidropónico con agua acidulada a pH 5.0-5.5, que tiene por objeto quitar el suelo adherido para evitar una concentración de carbonatos de calcio y otros elementos que puedan modificar la composición de la solución nutritiva.

Se procede después a la desinfección del sustrato mediante un producto químico. El formaldehído grado comercial, diluido del uno al cuatro por ciento ha dado buenos resultados ya que al evaporarse permite la esterilización tanto del medio como del ambiente. El tiempo de exposición mínimo es de 24 a 26 horas; si se requiere detectar residuos tóxicos de este producto después del periodo de seguridad ya descrito, se hace a través del reactivo de Nessler, que produce una coloración amarilla.

Otro producto que se recomienda por su acción efectiva como fungicida e insecticida y moderada en cuanto a nematocida y herbicida, es el metam-sodi, con un margen de seguridad para la utilización del sustrato después de su aplicación de tres semanas. También el sustrato se puede desinfectar con una solución que contenga un 10 por ciento de hidróxido de sodio (lejía), las camas o contenedores con sustrato deberán ser inundadas con esta solución varias veces, por lo menos 20 minutos. Posteriormente se enjuagan con agua corriente y se dejan ventilar por un mínimo de cinco días. Otro método de desinfección o esterilización (no químico), es la utilización de vapor de agua a 82 °C, inyectado al sustrato por un periodo de 30 a 60 minutos.

Solución nutrimental

La solución nutrimental es una mezcla de varios compuestos fertilizantes solubles, que contienen todos los elementos químicos esenciales para el crecimiento de las plantas y tienen la ventaja de que los elementos están en cantidades necesarias y disponibles para la planta todo el tiempo. De ahí se considera que el conocimiento y control de las mismas es uno de los factores importantes para el buen resultado de las operaciones en una unidad de cultivo hidropónico. En reportes a nivel mundial se mencionan grandes cantidades de soluciones nutrimentales, las cuales varían en sus características químicas para poder satisfacer las exigencias de la planta, siendo éstas distintas de una especie a otra.

Cualquier solución nutrimental bien equilibrada puede propiciar el desarrollo satisfactorio en la planta, y la respuesta óptima varía según los requerimientos nutricionales del cultivo con base en:

- Especies de plantas y variedades.
- Estado de desarrollo de la planta.
- Órgano de la planta a desarrollar (hojas, fruto, tubérculos).
- Estación del año, duración del día.
- Clima (temperatura, intensidad solar y humedad relativa).

Con respecto a la nutrición, se considera que se deben utilizar diferentes concentraciones de sales nutritivas en cultivos hidropónicos en relación con los períodos estacionales del año. La proporción de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K) variará de acuerdo al tipo de planta en general; las que son cultivadas por sus hojas pueden tolerar niveles altos de nitrógeno ya que promueve el crecimiento vegetal. Mientras que las plantas que se cultivan por su fruto deberán tener bajo nivel de nitrógeno y alto en fósforo, potasio y calcio.

Bajo condiciones de luminosidad alta que se dan en los períodos de primavera-verano, las plantas consumen más nitrógeno que potasio. En el período de otoño-invierno sucede lo contrario, las plantas consumen más potasio que nitrógeno, y en este caso la fuente de nitrógeno proveniente de nitrato y amonio deberá tener una proporción de 80 y 20 por ciento, respectivamente. Las cantidades que sobrepasen esta proporción de amonio, ocasionarán efectos tóxicos para las plantas (Benton, 2000).

La solución nutrimental moderna data desde 1800 y a medida que pasa el tiempo y han avanzado las investigaciones en el campo de la Fisiología Vegetal se han implementado y ajustado nuevas formulaciones en todos los países que desarrollan esta tecnología de producción. Dentro de las conocidas por su utilización a nivel internacional son las de Hoagland y Arnon, Gauch, Connors y Tiedjens, Yamaguchi, Bentley, Knop y Sachs, Steinberg, Steitner, así como las implementadas y adaptadas en el CENID-RASPA desde el año de 1974, y que siguen vigentes (Díaz, 1981; Romero, 1982). En general, la solución nutrimental está conformada por dos partes principales: agua y nutrimentos.

Agua.

Es el factor importante y esencial para cualquier sistema hidropónico, es el disolvente universal y proveedor de algunos elementos importantes que se toman en cuenta para preparar la solución nutrimental. Es fundamental conocer las características químicas del agua, como son:

- pH.
- Conductividad eléctrica (CE en dS m^{-1}).
- Contenido de elementos (Ca, Mg, K, Cl, Fe, etc.).

El calcio y el magnesio son de los elementos que generalmente se toman en cuenta al momento de estructurar la solución nutrimental. Sin embargo, en algunas regiones del país se encuentran aguas con otros elementos como cloro y boro en cantidades que deben tomarse en cuenta en la planeación y diseño del sistema de producción. Tomando en cuenta lo anterior, se puede utilizar agua de diferentes procedencias, agua de lluvia, de río y potable.

Nutrimentos.

La mayor parte de la estructura vegetal se compone de tres elementos: carbono, hidrógeno y oxígeno. El primero de ellos procede del anhídrido carbónico atmosférico; el hidrógeno tiene su origen en el agua absorbida por las raíces, mientras que el oxígeno procede en parte de esta agua y de los gases atmosféricos CO_2 y O_2 (Mengel y Kirkby, 1987). Las plantas sin embargo, no pueden vivir ni desarrollarse basándose en aire y agua solamente, sino que necesitan cierto número de elementos químicos, que por lo general le son proporcio-

nados de las sustancias minerales del suelo o medios de cultivo a través del sistema radical. Estos elementos esenciales se encuentran divididos en macro y microelementos. Los macroelementos incluyen: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); mientras que los microelementos comprenden al hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni). Cada uno de estos elementos tiene un papel importante y característico dentro de las diferentes y múltiples actividades que se llevan a cabo en el desarrollo de la planta.

La solución nutrimental no sólo debe contener los elementos esenciales, sino que estos deben estar presentes en una forma iónica determinada para que la planta pueda absorberlos. Por ejemplo, el nitrógeno es absorbido como ion nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) pero si este último excede los límites de tolerancia ya descritos, ocasionará problemas de toxicidad en la planta, por tal motivo, se recomienda su aplicación como fuente de nitrógeno complementaria, sobre todo si se trabaja con cultivos hidropónicos con riego por subirrigación o con sistemas de circulación continua o cerrados (Wilcox, 1991). En el CENID-RASPA se utiliza satisfactoriamente el nitrato de amonio como fuente de nitrógeno en cultivos al piso y como sustrato arena de río, y aunque dicha fuente tiene un porcentaje alto de nitrógeno amoniacal no se tienen problemas en los cultivos, ya que se inhibe su efecto y disponibilidad por las diversas reacciones químicas de los elementos e impurezas presentes en este medio de cultivo.

Las plantas absorben el potasio, calcio, magnesio, manganeso y cloro en forma iónica, es decir como K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Mn^{++} y Cl^- . El azufre y el fósforo sólo son absorbidos en forma oxidada, como sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), fosfatos ($\text{HPO}_4^{=}$) y ortofosfatos (H_2PO_4^-). Mientras que el hierro es tomado como Fe^{++} y Fe^{+++} , en tanto que el cobre, zinc y níquel son absorbidos como Cu^{++} , Zn^{++} y Ni^{++} principalmente. El boro se absorbe en forma de ácido bórico no disociado y como borato BO_4^- y el molibdeno como molibdato, MoO_4^- .

Todos los elementos nutritivos mencionados anteriormente se pueden aplicar a través de sales o fertilizantes inorgánicos o mediante quelatos. Un quelato (del griego *quelo*, que significa pinza de cangrejo) es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ion metálico, de manera que le protege de cualquier acción desde el exterior, evitando su hidrólisis y precipitación. Los quelatos se usan principalmente para la adición de

microelementos como fierro, cobre y zinc (Schwars, 1975). En la actualidad, los fertilizantes comerciales que se consiguen fácilmente en el mercado nacional, ofrecen múltiples opciones para los cultivos hidropónicos, de los cuales se deben considerar las siguientes características para su elección:

- Solubilidad.
- Porcentaje del elemento de interés.
- Costo.

Los fertilizantes comerciales y la concentración de cada uno de los elementos que los integran, se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 7.3. Fertilizantes comerciales a utilizar en la preparación de soluciones nutritivas.

Fertilizantes	Concentración de elementos %		Fórmula química
Nitrato de potasio	13.3 N	39 K	KNO_3
Nitrato de calcio	15.0 N	19 Ca	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$
Nitrato de amonio	33.5 N		NH_4NO_3
Sulfato de amonio	20.5 N	23 S	$(NH_4)_2SO_4$
Ácido fosfórico	34.0 P		H_3PO_4
*Superfosfato simple de calcio	18.0 P	28 Ca	$Ca(H_2PO_4)_2$
*Sulfato de potasio	44.0 K	18 S	K_2SO_4
Sulfato de magnesio (sal de epton)	11.0 Mg	23 S	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Quelato de fierro (sequestrene 330)	10.5 Fe		Fe - EDTA
Sulfato ferroso	20.0 Fe	11 S	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
Quelato de fierro (sequestrene 138)	6.0 Fe		Fe - EDDHA
Sulfato de manganeso	24.0 Mn	14 S	$MnSO_4 \cdot H_2O$
Quelato de manganeso	12.5 Mn		Mn - EDTA
Sulfato de cobre	25.0 Cu	13 S	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Quelato de cobre	14.0 Cu		Cu - EDTA
Sulfato de zinc	22.0 Zn	11 S	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$
Quelato de zinc	8.0 Zn		Zn - EDTA
Triple 17	17.0 N		N
"	17.0 P		P_2O_5
"	17.0 K		K_2O

* Debido a su baja solubilidad, no se recomienda utilizarlos en sistemas de riego presurizados.

Efectos del pH de la solución nutritiva sobre las plantas.

El pH de la solución nutrimental es un factor importante para el desarrollo de la planta, ya sea para cultivos en suelo o en medio hidropónico.

Las raíces absorben agua y nutrientes a tasas óptimas dentro de determinados intervalos de pH de la solución nutrimental. Esta velocidad varía según el tipo de planta. La absorción diferencial por las raíces de iones nutrimentales, alcalinos y ácidos, ejercen una influencia considerable sobre el pH de la solución. La mayor parte de las plantas toleran intervalos de pH entre 5.0 y 6.5, los valores fuera de este rango no son convenientes, pues se presentan problemas de toxicidad o falta de disponibilidad de algunos nutrientes (Bennet, 1993).

Cálculo y preparación de una solución nutrimental

Como ejemplo para preparar una solución nutrimental, se tomará la que se utiliza en los invernaderos del CENID-RASPA (Cuadro 7.4), para lo cual se da seguimiento al orden que se describe:

- Formulación a preparar.
- Fertilizantes a utilizar.
- Concentración del elemento en cada fuente fertilizante.
- Concentración de los elementos aportados por el agua y el medio de cultivo.

Cuadro 7.4. Soluciones nutrimentales probadas para diversos cultivos en el CENID-RASPA INIFAP.

CULTIVO	ELEMENTO (mg L ⁻¹)								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn
Diversos cultivos	350	100	300	180	50	5	2	-	-
Tomate P-V	300	90	200	180	50	5	2	1	0.5
O-I	170	96	313	300	48	5	2	1	0.4
Pepino P-V	300	80	150	300	50	4	2	-	-
O-I	93.1	41.3	156	80	24	2.5	0.35	0.25	0.04
Lechuga	200	90	200	160	50	5	1	0.5	0.05
Chile	350	100	300	300	50	5	2	-	0.5
Rábano	250	90	250	140	50	4	0.5	0.5	0.05
Fresa	200	100	140	280	50	5	0.4	0.5	0.05
Clavel	300	140	200	300	50	5	2	0.5	0.05

La relación fundamental para la preparación de soluciones nutrimentales se describe de la siguiente manera:

g de fertilizante por l de agua =

$$\frac{\text{mgL}^{-1} \text{ del elemento.}}{\text{Concentración del elemento en el fertilizante (\%)*10}$$

7.3

Para un ejemplo, la formulación de la solución nutricional requerida en mg L^{-1} es como se señala en el Cuadro 7.5.

Cuadro 7.5. Solución nutricional requerida para el cultivo ejemplo.

Elemento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
(mg L^{-1})	350	100	300	180	50	5	2

En el análisis del agua que se utiliza para la preparación de la solución nutritiva se detectó el contenido de los siguientes elementos con sus respectivas concentraciones, mismas que se consideran en los cálculos:

$$\text{Calcio (Ca)} = 180 \text{ mg L}^{-1}$$

$$\text{Magnesio (Mg)} = 25 \text{ mg L}^{-1}$$

Desarrollo de los cálculos.

Se requieren 350 mg L^{-1} de nitrógeno, cuya fuente es el fertilizante comercial nitrato de amonio, con una concentración de 33.5 por ciento de nitrógeno. En este caso específico, se necesitan 1.04 gramos de nitrato de amonio por cada litro de agua para aportar los 350 mg L^{-1} de nitrógeno; los cálculos subsecuentes tienen la misma interpretación.

Se observa en la formulación que la cantidad requerida de calcio es de 180 mg L^{-1} , justamente las proporcionadas por el agua utilizada, por lo que no es necesario agregar fertilizante como fuente de calcio. En el caso del magnesio, la mitad es aportada por el agua, de ahí que en el cálculo sólo se consideran 25 mg L^{-1} complementarios.

$$[(\text{NH}_4\text{NO}_3)] = \frac{350 \text{ (N)}}{33.5(10)} = 1.04$$

$$[(\text{H}_3\text{PO}_4)] = \frac{100 \text{ (P)}}{35(10)} = 0.28$$

$$[(\text{K}_2\text{SO}_4)] = \frac{300 \text{ (K)}}{44 (10)} = 0.68$$

$$[\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}] = \frac{25 \text{ (Mg)}}{11.0(10)} = 0.23$$

$$[\text{Fe - EDTA}] = \frac{5 \text{ (Fe)}}{10.5(10)} = 0.05$$

$$[\text{Mn - EDTA}] = \frac{2 \text{ (Mn)}}{12.5(10)} = 0.02$$

En caso de los elementos menores, las cantidades son muy pequeñas, por lo que se recomienda elaborar soluciones madre o concentradas de 100 a 5,000 mg L⁻¹ del elemento de interés.

Los pasos para la preparación de una solución nutrimental son los siguientes:

- Pesar los fertilizantes.
- Llenar al 10 por ciento de su volumen el depósito o cisterna que abastecerá de solución nutrimental a la unidad de producción.
- Disolver individualmente cada fertilizante antes de añadir al depósito o cisterna.
- Añadir los fertilizantes que se utilicen de acuerdo al siguiente criterio; primero los más solubles, después los menos solubles hasta terminar con los elementos menores como a continuación se describe: nitrato de amonio, nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de magnesio, superfosfato triple de calcio, sulfato de potasio, quelatos de hierro, cobre, manganeso y zinc.
- Llenar con agua el volumen total.
- Agitar bien hasta disolución completa.

Equilibrio iónico de la solución nutrimental

Un aspecto fundamental en el manejo de las soluciones nutrimentales utilizadas en los cultivos hidropónicos es la necesidad de que dichas soluciones posean una cantidad proporcional de cationes y aniones, esto se hace con el propósito de evitar un desequilibrio en la concentración total de la solución, que pueda influir en forma negativa sobre el desarrollo y rendimiento de la planta.

Una cantidad elevada o una baja concentración de tan sólo un ion en la solución, además de afectar la presión osmótica, puede retrasar y hasta inhibir por completo el desarrollo de la planta, ya que a nivel celular el transporte iónico es afectado y se produce un desajuste en los mecanismos de absorción. Por ejemplo, una baja concentración de calcio puede alterar las propiedades de la membrana celular de las raíces y afectar la selectividad de la membrana ocasionando una absorción excesiva de ciertos iones que pueden dañar el buen funcio-

namiento de la planta. Por otro lado, una alta concentración de calcio en la solución, generalmente no produce efectos tóxicos directos en la planta, pero puede causar una disminución en la disponibilidad de hierro, magnesio, potasio, boro y zinc, generalmente en ese orden. Pudiéndose presentar también una acumulación de cloruro de calcio que ocasione toxicidad (Ansorena, 1994).

Para determinar la importancia de utilizar una solución iónicamente equilibrada se debe conocer la velocidad de absorción de los diferentes iones, de ahí que se hable de iones de absorción rápida, lenta y muy lenta.

Iones de absorción rápida: K^+ , NO_3^- , NH_4^+ y Cl^-

Iones de absorción lenta: HPO_4^- , $H_2PO_4^-$, Mg^{++} y Cu^{++}

Iones de absorción muy lenta: SO_4^{--} y Ca^{++}

Lo anterior deja en claro que si se agrega una alta concentración de potasio en forma de sulfato de potasio a una solución nutrimental, se absorbe rápidamente el potasio y queda la mayor parte del sulfato, de ahí que en el sustrato o medio de cultivo por lo general se acumulen grandes cantidades del ion sulfato con el respectivo ensalitramiento y acidificación del medio.

Si se agrega nitrato de calcio a la solución nutrimental se efectuará una absorción muy rápida de nitrato con la consiguiente acumulación de calcio en el sustrato.

Lo descrito anteriormente indica que el equilibrio que se mantenga en la solución está influenciado por el tipo de sales que la formen, calidad de agua, condiciones climatológicas, edad de la planta y las características individuales de la especie en producción. La mayoría de estos factores se han analizado detenidamente en capítulos anteriores.

De acuerdo a la velocidad de crecimiento y a las especies cultivadas, éstas absorben en forma diferente los distintos iones existentes en la solución. Las plantas de crecimiento rápido pueden absorber del 25 al 50 por ciento del nitrato contenido en una solución dada en el plazo de una semana, y la absorción de potasio alcanza proporciones similares. Si la solución contiene el ion amonio, el índice de absorción de éste es aún superior al nitrato, y el nivel de absorción del fósforo es de un 15 a 20 por ciento en el plazo de una semana.

Con objeto de normar criterios en el desarrollo e implementación de una formulación nutrimental en cultivos hidropónicos, en el Cuadro 7.6 se muestran los rangos óptimos y límites máximos permisibles en una solución nutrimental para cultivos hidropónicos, según Durany (1973) y Schwars (1975), y complementariamente en el Cuadro 7.7, se presentan las interacciones y antagonismos entre los diferentes elementos, considerando excesos y deficiencias de cada uno de ellos.

El conocimiento de los límites máximos de concentración y los antagonismos de los diferentes nutrientes para los cultivos hidropónicos es de suma importancia para tomar decisiones desde la instalación de infraestructura original, como puede ser el número de depósitos para preparar la solución nutritiva, ya que las sales cálcicas son incompatibles con los fosfatos y sulfatos, por tal motivo, investigadores con experiencia y actualizados en este tópico, como Cadahia (2000), recomiendan que se disponga de un cabezal básico con tres depósitos para la preparación de la solución nutritiva, con la siguiente estrategia operativa:

Tanque A con mezclas de macronutrientes, excepto calcio, con pH ácido.

Tanque B con fertilizantes cálcicos, con medio ácido o neutro.

Tanque C con micronutrientes en un medio neutro.

Cuadro 7.6. Rangos de concentración de elementos y iones en la solución nutritiva según Durany (1973) y Shwars (1975).

Concentración en mg L ⁻¹				
Elemento	Deficiente	Óptima	Máxima	Observaciones:
Nitrógeno (N)	40	60-200	1000	La concentración total óptima para una solución nutritiva es de 1,500 a 2,000 mg L ⁻¹
Nitrato (NO ₃)	200	300-900	1000	
Amonio (NH ₄ ⁺)	-	0-40	100	
Fósforo (P)	15	30-90	100	
Potasio (K ⁺)	100	200-400	600	
Calcio (Ca ⁺⁺)	75	150-400	600	
Magnesio (Mg ⁺⁺)	25	25-75	150	
Sulfato (SO ₄ ⁻)	150	200-1000	1000	
Azufre (S)	50	75-300	600	
Cloruro (Cl)	30	350	600	
Sodio (Na ⁺)	-	-	400	
Hierro (Fe ⁺⁺⁺)	-	0.2-4	10	
Boro (B ⁺⁺⁺)	-	0.2-1	5	
Zinc (Zn ⁺⁺)	0.01	0.2-2	20	
Manganeso (Mn ⁺⁺)	0.2	1-5	15	
Molibdeno (Mo ⁺⁺)	-	0.03-0.1	-	
Cobre (Cu ⁺⁺)	0.01	0.1-2	5	
Fluor (F)	-	0.05-1	-	

Cuadro 7.7. Interacción de los diferentes componentes de una solución nutritiva. (Díaz, 1981; Romero, 1982).

Exceso de:	Deficiencia de:											
	N	P	K	Fe	B	Mn	Cu	Zn	Mo	Ca	Mg	Na
Nitrógeno		x	x		x	x	xx	x	x			
Fósforo	x		x	x			xx	xx				
Potasio	x	x			xx	x		x		x	xx	x
Calcio	x	x	x	x	x	xx	x	x			x	
Magnesio			x							x		
Hierro	x	x			x	x	x	x				
Boro			x							x	x	
Manganeso				x						x	x	
Cobre				x		x		x				
Zinc					x		x		x			
Sodio			x			x				x	x	

x- Medianamente severa.

xx- Muy severa.

Otros investigadores como Samperio (1999), establecen la alternativa de utilizar fórmulas estáticas o dinámicas de solución nutritiva, indicando que éstas han sido usadas y experimentadas en todo el mundo. Las fórmulas estáticas son las que no cambian su composición y concentración durante todo el ciclo de cultivo y se utilizan en la explotación de crisantemo, frijol, girasol, rosas, fresas, tomate y jitomate. En cambio, las fórmulas dinámicas son las que cambian la proporción de varios nutrientes a lo largo de las etapas del cultivo y se recomiendan para la germinación prematura, fortalecimiento de la planta en su período de crecimiento, aumento de floración y consistencia de frutos, sin especificar especie.

En el CENID-RASPA desde 1974 (Díaz, 1981; Romero, 1982) se han estado depurando estrategias de aplicación con varias mezclas de fertilizantes comerciales a nivel de invernadero con clima semicontrolado, aplicando por separado los fertilizantes cálcicos, y si la aplicación de micronutrientes se hace a través de quelatos, estos pueden ir invariablemente con la mezcla general de nutrimentos o con los fertilizantes cálcicos, sin que se presenten problemas de incompatibilidades, precipitaciones o deficiencias inducidas (Figueroa y Macías, 2002).

Método de riego

Otro de los factores básicos para el buen funcionamiento y óptimos resultados de los cultivos desarrollados bajo condiciones de hidroponía es la forma de aplicación del agua y los nutrimentos, y este aspecto está definido por el método de riego que se utilice.

Está demostrado que las plantas de una misma especie pueden tener respuesta diferente sobre los mismos componentes morfofisiológicos del rendimiento según la forma como se aplique el riego, por lo que es muy importante que al proyectar una instalación, se debe definir el método de riego idóneo para que se cumplan los objetivos propuestos.

Los principales métodos de riego que se utilizan en invernaderos son:

Riego por subirrigación.

Riego por microaspersión.

Riego por goteo.

Método de riego por subirrigación.

Actualmente existen dos modalidades básicas de aplicación de agua y nutrimentos para el cultivo desarrollado en medios netamente hidropónicos por subirrigación.

Método de subirrigación con recirculación intermitente.

Este método se ha utilizado desde la hidroponía tradicional para el cultivo de plantas en sustratos sólidos compactos como grava (3-10 mm Ø) y porosos como el tezontle o roca volcánica (5-20 mm Ø), y consiste en bombear la solución nutricional a los lechos de cultivo por su parte inferior, con el fin de que ésta penetre de abajo hacia arriba, de manera que a medida que la solución penetra en los espacios vacíos del sustrato expulsa el aire que contiene bajo contenido de oxígeno y elevado CO₂, después durante el drenado se introduce aire nuevo con un alto contenido de oxígeno (20 %) en el medio de cultivo.

La frecuencia de aplicación de la solución nutricional dependerá de su propia naturaleza, del tamaño de las partículas del sustrato y la profundidad del lecho. También estará supeditada la frecuencia de

aplicación a las diferentes etapas de desarrollo de la planta, variando desde uno hasta cuatro riegos diarios; no es conveniente que entre riego y riego transcurran más de tres horas (Romero, 1979).

En relación al tiempo de bombeo y drenado, ambas operaciones no deben tardar más de 45 minutos, pues a mayor velocidad de circulación de la solución, mayor será la velocidad de desplazamiento del aire. El programa de bombeo para cualquier cultivo se debe iniciar de seis a ocho de la mañana y terminarse de cuatro a seis de la tarde, de acuerdo al número de horas luz.

Este sistema de riego se caracteriza por no tener pérdidas por lixiviación, ya que el agua y la solución nutrimental se recirculan y sólo se reponen las cantidades que se hayan perdido por evapotranspiración y consumo natural de la planta. Lo anterior representa una gran ventaja respecto a los sistemas de riego que aplican la solución nutrimental al piso, tanto en sustratos compactos en invernadero, como en el cultivo tradicional en suelo a nivel de campo. La diferencia conceptual es notoria, como se puede observar en la Figura 7.3.

Método de subirrigación con circulación continua.

Esta técnica conocida como "nutrient film technique" (NFT), que en español significa "técnica de la película nutritiva", se inició en 1946, teniendo a Darjeeling, Douglas y Cooper como sus principales precursores. Howard (1997) señala que esta técnica se basa en el principio de mantener una película o capa delgada de solución nutritiva que continuamente esté en recirculación, pasando por las raíces de las plantas, abasteciéndolas de nutrientes y oxígeno. Actualmente, en muchas explotaciones comerciales la solución de retorno es oxigenada a su regreso al tanque de distribución mediante una bomba de aire.

Recirculación

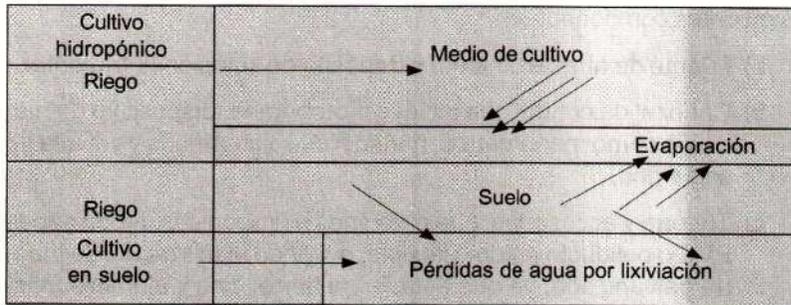


Figura 7.3. Economía del agua de riego en hidroponía.

La técnica de película nutritiva se caracteriza porque no requiere de ningún sustrato sólido para su operación y por tal motivo no utiliza tinas, bancales ni contenedores; estos son sustituidos por tubos, canales y láminas de polietileno rígido en los que la recirculación de la solución es continua. La temperatura del medio de la raíz puede ser controlada, se evita el problema de acumulación de sales y se puede mantener en todo momento un pH adecuado y buen equilibrio de nutrimentos en la solución (Verwer, 1976).

Dicho sistema actualmente tiene gran aplicación a nivel mundial, encabezando la lista Inglaterra, Estados Unidos y Bélgica, siendo la última la precursora de la operación de esta técnica en estructuras elevadas, y con el cultivo de lechuga han establecido un estándar de producción por postura, con un ciclo de cultivo de 60 días y un peso unitario de 400 gramos.

Método de riego por microaspersión.

Este sistema de riego permite la aplicación de la solución nutritiva a través de microaspersores, que están conformados por una boquilla de estructura regulable en su modelo de distribución desde 20 a 360 grados, por lo que su patrón de humedecimiento varía desde un círculo completo a un sector del mismo. Operan a presiones de 0.7 a 3.0 kg cm⁻² y su descarga varía de uno a 25 litros por minuto, se colocan con espaciamientos de 0.5 a 1.5 m.

Un sistema completo de microaspersión para utilizarse en cultivos hidropónicos ya sea en invernadero o campo abierto, requiere de los siguientes componentes:

- a) Fuente de abastecimiento o depósito de solución nutrimental.
- b) Cabezal de control que incluye motobomba, dispositivo de medición como manómetros, medidores volumétricos y válvula de seguridad.
- c) Tubería y accesorios, que para fines hidropónicos deben ser de PVC o poliducto rígido o flexible, evitando la utilización de tubería galvanizada, ya que ésta libera fierro, zinc y aluminio, mismos que pueden reaccionar con la solución nutritiva y provocar toxicidad en los cultivos.

En el CENID-RASPA, el método de riego por micro-aspersión se ha probado con éxito con microaspersores de plástico de 2.5 L min^{-1} . Estos trabajaron a presiones de 0.8 kg cm^{-2} , con diámetro de mojado de 1 a 1.20 m, en invernaderos de clima controlado con cultivos de tomate y pepino; en los dos cultivos se presentaron problemas de quemadura al inicio del cultivo provocados por el contacto de sales nutritivas en las hojas de las plántulas, originando con esto un retraso en su desarrollo, que es compensado con un mayor rendimiento por planta al final del ciclo. En cultivos subsecuentes, el problema de quemaduras se minimizó rediseñando la altura de los microaspersores y utilizando concentraciones medias de solución nutrimental en las etapas iniciales de crecimiento de los cultivos.

Este sistema es ideal para cultivos hidropónicos establecidos al piso bajo condiciones de invernadero, con especies de crecimiento indeterminado como tomate, pepino, frijol ejotero y melón.

Método de riego por goteo.

Al igual que en el método de riego por microaspersión, en el de goteo se cuenta también con una gran diversidad de emisores. Pueden ser de régimen turbulento o laminar, de orificio, tipo vortex, de largo conducto, microtubos, autocompensantes y autolimpiantes, y proporcionan entre cuatro y cinco litros por hora, con una presión de 1 kg cm^{-2} . Se han probado con éxito en diferentes cultivos hortícolas y bajo condiciones de invernadero, microtubos y goteros con régimen turbulento y laminar, sobresaliendo el microtubo por su fácil manejo (Díaz, 1978; Romero, 1981).

Diseño e instalación del sistema de riego.

El diseño e instalación del sistema de riego dependerá siempre del cultivo que se vaya a producir, el tipo de emisor, las dimensiones del invernadero, la fuente de abastecimiento y la pendiente del terreno. Para invernaderos familiares pequeños de 6x3.25x2.5 m se utilizan como emisores microtubos de 1.5 mm de diámetro y un metro de longitud, los cuales se insertan sobre líneas regantes por medio de un ojillo o conector de 1.5 mm de diámetro, el cual puede ser de latón o plástico rígido (Romero, 1982).

En este tipo de instalaciones, en las que se pueden producir gran cantidad de cultivos, los emisores se colocan de la siguiente manera: para cultivos como el tomate, chile o calabacita, pepino, melón, fresa, repollo y acelga, se coloca un gotero por planta. Cuando el cultivo es rábano, zanahoria, betabel, perejil, cilantro o cebolla, se colocan 10 goteros para humedecer un m² de la superficie ocupada por el cultivo. Como fuente de abastecimiento de la solución nutritiva, es suficiente con disponer de un tanque o depósito de 200 litros, colocado a una altura de un metro, suficiente para dar la carga necesaria para el riego, ya que los microtubos no requieren de mayor presión para satisfacer la demanda del sistema; no es necesario la utilización de equipo eléctrico de bombeo.

En las Figuras 7.4 y 7.5 se muestra la instalación y operación de sistemas de riego presurizado en el cultivo de rosas en invernadero de clima controlado.

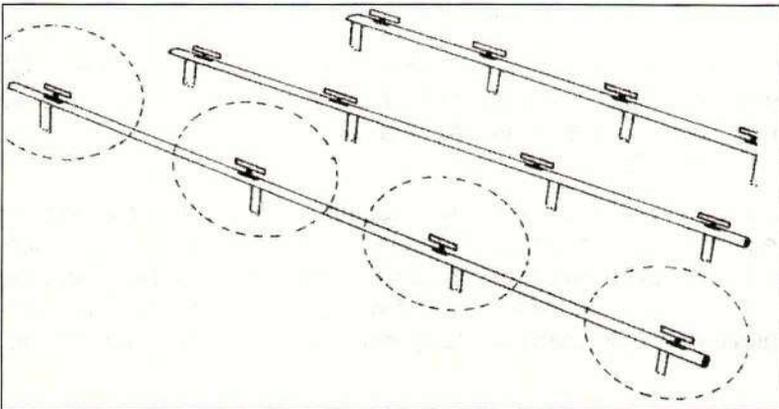


Figura 7.4. Sistema de riego presurizado para la aplicación de solución nutritiva.

Riegos.

Los riegos se pueden aplicar por dotación volumétrica instalando un medidor que indique el volumen aplicado. Dependiendo del medio de cultivo que se utilice como sustrato, el volumen por aplicar se puede fraccionar hasta en cuatro riegos, considerando que la lámina de riego se determinará con base en los requerimientos de agua por el cultivo. Para invernaderos familiares, en el ciclo de primavera-verano se deben aplicar diariamente cinco litros por metro cuadrado de superficie de invernadero, y en otoño-invierno tres litros por metro cuadrado; esto equivale a una lámina de 5 y 3 mm por día, respectivamente

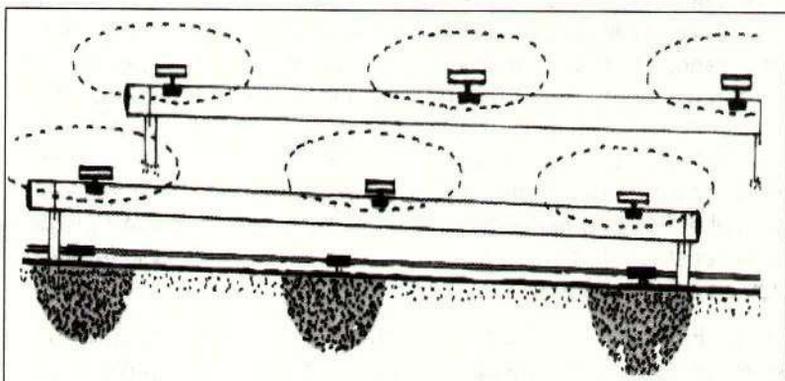


Figura 7.5. Sistema de riego presurizado mixto: goteo y microaspersión.

Para cualquier cultivo se debe establecer su programa de riego, tal como se indica en el Cuadro 7.8 para el caso del tomate, que se obtuvo en investigaciones realizadas con este cultivo en invernadero (Romero, 1979).

Cuando se utilice arena de río o tezontle como medio de cultivo, el riego con solución nutritiva se realiza cada tercer día, no siendo así para suelo puro o mezclas que lo contengan, ya que en estos la aplicación se hace cada 10 días. En ambos casos se riega sólo con agua durante los intervalos de aplicación de la solución nutritiva.

Cuadro 7.8. Programa de riego para el cultivo de tomate.

Etapas	Intervalo días	Volumen l m²	Número de riegos por día
Almácigo	20-30	1.5	2
Transplante a inicio de fructificación	25-35	1.50	4
Inicio de fructificación a Inicio de cosecha	35-45	3.25	4
Inicio y final de cosecha	40-60	3.50	4

Mantenimiento del sistema de riego.

El mantenimiento del sistema de riego consiste en revisar cuando menos cada tercer día el funcionamiento de los goteros, detectando los que estén tapados para ser cambiados o lavados y así obtener una mayor uniformidad en el riego. El tanque que contiene la solución nutricional se debe lavar cada 15 días para eliminar los sedimentos de los fertilizantes y posibles algas que se acumulen en el fondo. El método de riego por goteo es de los generalizados a nivel mundial para cultivos hidropónicos al piso, con la utilización de suelo o sustratos hidropónicos. Los países vanguardistas de este sistema son: Israel, España, Holanda, Francia, Japón, Arabia Saudita, Estados Unidos y algunos otros en Sudamérica.

Manejo de cultivos

De las principales especies hortícolas que se cultivan en hidroponía bajo condiciones de invernadero, la mayoría requiere manejo especial con el fin de aprovechar al máximo la superficie de cultivo y tener una producción intensiva con alto margen de rentabilidad.

Entre las prácticas de manejo que es necesario hacer en cultivos de crecimiento indeterminado como tomate, pepino, calabacita, melón o sandía en invernadero, se tienen las siguientes:

1. Poda o destallado.
2. Entutorado o guía.
3. Deshojado o defoliación.
4. Despunte o pinzamiento del tallo.

Poda.

Con la poda o desbrote se intenta encauzar el desarrollo del cultivo de acuerdo a las conveniencias del productor. Con esta operación se limita el número de tallos y frutos en la planta y, por tanto, su cantidad, compensándose esto con mayor calidad y precocidad.

La poda consiste en dejar una o varias guías del tallo, cortando todos los brotes que se forman de las axilas de las hojas cuando tienen entre 4 y 6 cm de largo; también se eliminan todos los brotes que emergen al nivel del suelo.

En los cultivos de tomate, calabacita y pepino se practica la poda a un solo tallo para incrementar densidad de plantas por unidad de superficie (Díaz, 1981). En las Figuras 7.6 y 7.7 se presentan las formas de podar el tomate y el pepino para obtener un solo tallo con dos modalidades.

La modalidad utilizada en Europa para obtener mejor aireación, manejo y rendimiento por planta, consiste en que en los primeros 50 cm se eliminan todos los hijuelos del tallo principal, y a partir de esta altura y hasta los 75 cm las guías axilares se podan a un fruto además del que se desarrolle en el tallo principal, dejando una hoja delante del fruto de la guía al momento del despunte. A partir de esa altura y hasta el despunte o capado del tallo principal, las guías se dejan a dos frutos además del fruto del tallo principal.

En el otro caso, la planta se poda dejando sólo los frutos del tallo principal, y no se permite el desarrollo de las guías axilares.

Entutorado.

El entutorado consiste en colocar guías sobre las cuales se conduzca el cultivo; éstas pueden ser de diversos materiales como hilo de nailon, rafia o ixtle, colocándose un tutor por cada planta. Los hilos se atan en alambres tensados a todo lo largo del invernadero y distribuidos de acuerdo a las distancias entre plantas e hileras del cultivo.

Para el cultivo del tomate y calabacita los tutores se colocan en forma vertical, y para el pepino o el melón se acondicionan de manera que queden inclinados, esto con el fin de que los frutos cuelguen libremente y sea fácil su cosecha. La manera en que inicialmente se coloca el tutor para guiar se presenta en las mismas Figuras 7.6 y 7.7.

Defoliación.

Cuando el follaje es muy intenso conviene hacer una poda de hojas, con ello se aumenta la luminosidad y se mejora la ventilación. Esta puede hacerse a partir de cuando se presenta la tercera floración, podándose las hojas que están por debajo del primer racimo de frutos.

A partir de este momento, las podas sucesivas se realizan en las hojas que estén por debajo del racimo sin recolectar, además deben eliminarse aquellas hojas envejecidas o enfermas que dificulten la ventilación e iluminación. En las mismas figuras se presenta la defoliación de tomate y pepino.

Despunte.

Cuando se pretende adelantar la cosecha o sacar un cultivo en un determinado número de días, como el tomate, con ciclos de 120 días sin considerar el almácigo, se realiza un despunte, pinzamiento o capado, el cual consiste en cortar la yema terminal del tallo guía, y su implementación depende de lo que se predetermine de acuerdo a una altura de manejo; por ejemplo, el tomate de guía alcanza su altura máxima en un periodo de 85 días después del trasplante, y en el caso del pepino el despunte o pinzamiento común se da cuando la planta llega a una altura de 2.30 m aproximadamente.

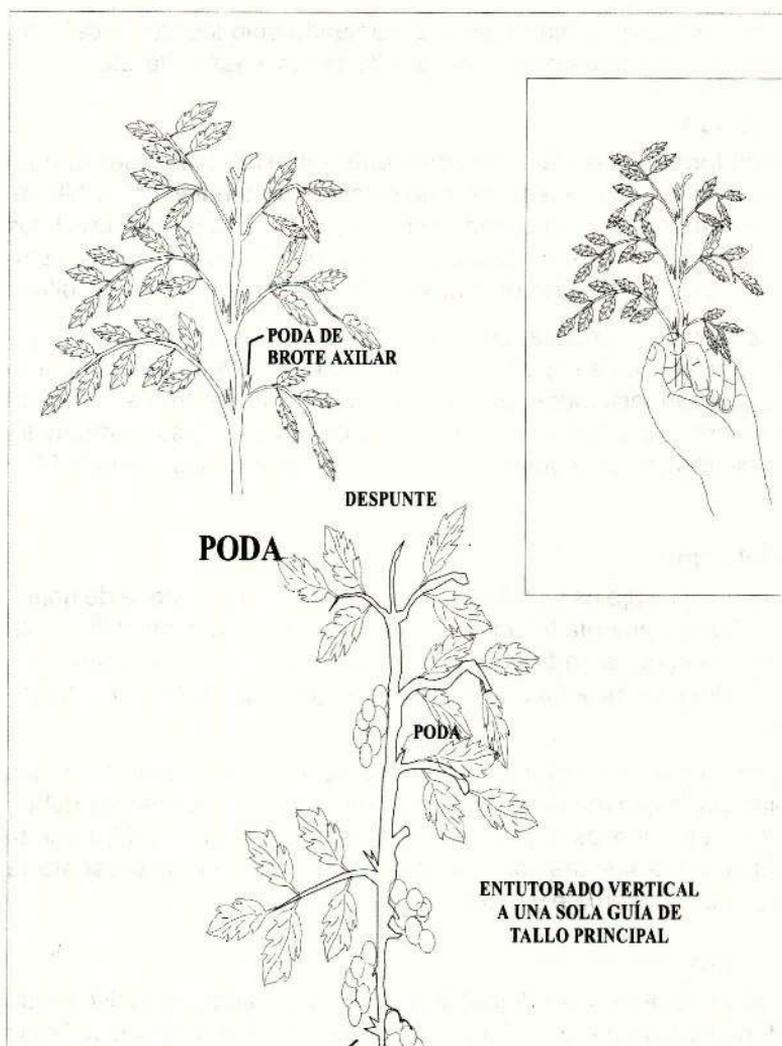


Figura 7.6. Prácticas de poda, despunte y entutorado del cultivo de tomate.

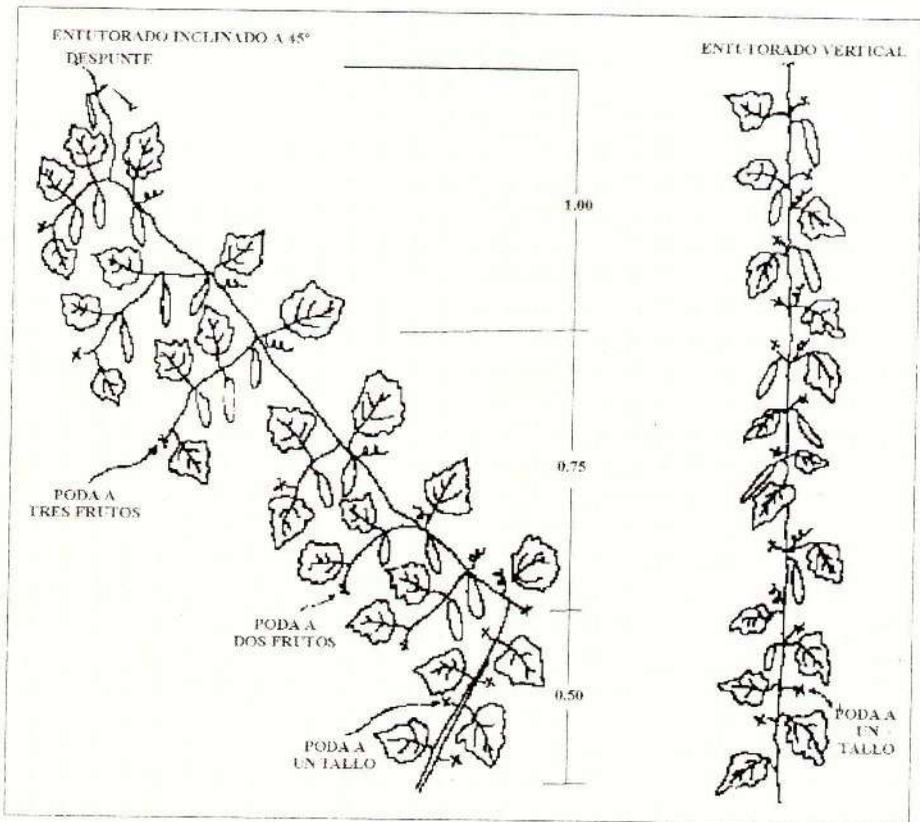


Figura 7.7. Prácticas de poda, despunte y entutorado del cultivo de pepino.

Con esta operación y una poda sistemática se limita la cantidad de fruto que se desea recolectar, pero al mismo tiempo el ciclo de cultivo se acorta además de lograrse un aumento y uniformidad en el tamaño de los frutos.

Los cultivos hidropónicos son en la actualidad la mejor alternativa para la agricultura a nivel mundial por las múltiples variantes que ofrece en cuanto a sus sistemas operativos de producción, tanto para explotaciones de traspatio, invernaderos familiares y comerciales; no obstante, es conveniente que antes de implementar una explotación de este tipo se tenga bien definido, cuando así sea el propósito, el mercado de la producción, ya que la inversión inicial es considerable, requiriéndose a su vez cierto grado de capacitación y destreza para su manejo.

Referencias

- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Eds. Mundi-prensa, Madrid. 172 pp.
- Abad B., M. 1997. Sustratos: Propiedades y manejo de materiales orgánicos, minerales y sintéticos inertes y activos. *In*: Hidroponia, una esperanza para Latinoamérica. Curso-taller internacional de hidroponia, auspiciado por la FAO, IDRS y FDA. Lima, Perú. pp 59-65.
- Abad, M., P. Noguera V. 1985. Las turbas como material primario de los sustratos hortícolas. Origen, propiedades y composición de las turbas naturales. *Agricultura*, 638, pp.716-722.
- Abad, M., P. Noguera y V. Noguera. 1996. Turbas para semilleros. *In*; II Jornadas sobre Semillas y Semilleros Hortícolas. Congresos y Jornadas, 35/96. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, pp. 79-101.
- Arano, C. R. 1998. Forraje Verde Hidropónico. Ed. Chivicoy, Buenos Aires, Argentina. pp. 81-88.
- Bennet, W. F. 1993. Nutrient Deficiencies and Toxities in Crop Plants. APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Benton, J. J. Jr. 2000. Hydroponics: A practical guide for hydroponics. Ed. St Lucie press. Florida. U. S. A.
- Cadahia, C. 2000. Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales. 2ª Edición. Ed. Mundi-Prensa, España. pp. 95-114.
- Díaz A., G. 1977. Estudio comparativo de diferentes medios de cultivo en tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) utilizando tres métodos de riego bajo condiciones de invernadero. Ponencia CENAMAR-SARH y Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, México.
- _____. 1978. Comparación de medios de cultivo en plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) con uso del método de riego por

goteo. Ponencia CENAMAR-SARH. II Seminario Nacional de Riego por Goteo. Región Lagunera, Dgo. y Coah. Boletín No. 2 CENAMAR (Julio, 1979).

_____. 1981. Influencia del método de riego y el medio de cultivo en el desarrollo y rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de invernadero. Informe de trabajo de investigación Div. de Investigación CENAMAR-SARH.

Durany, U. 1973. Hidroponia, cultivo de plantas sin tierra. Editorial Sintesis, S. A., Barcelona, España. pp. 56-89.

Figueroa V., R. y H. Macías R. 2002. Manejo de sustratos en invernaderos, p 25-31 *In*: curso de capacitación para asesores técnicos de diseños de proyectos para empresas rurales y manejo de invernaderos. UJED. Dgo. México.

González M., G. R. 1997. Evolución de los cultivos sin suelo en Francia, análisis de la situación, p 35-47 *In*: Hidroponia, una esperanza para Latinoamérica. Curso-taller internacional de hidroponia, auspiciado por la FAO, IDRS y FDA. Lima, Perú.

Howard M., R. 1997. NFT y cultivos en agua, p 139-154 *In*: Hidroponia, una esperanza para Latinoamérica. Curso-taller internacional de hidroponia, auspiciado por la FAO, IDRS y FDA. Lima, Perú.

Martinez, C., M. García L. 1993. Cultivos sin suelo: hortalizas en climas mediterráneos. Ed. Horticultura S.L. España. pp. 37-56.

Mengel, K. y E. A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition 4th Edition. International Potash Institute Bern, Switzerland. 687 p.

Romero F., E. 1979. Avances de Investigación en el cómo, cuándo y cuánto regar el cultivo de tomate en condiciones hidropónicas bajo invernadero. Ponencia CENAMAR-SARH. XII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México.

_____. 1981. Producción de tomate bajo invernadero con riego por goteo. Folleto. Ed. CENAMAR-SARH. México.

_____. 1982. *Manual de construcción y operación de invernaderos familiares para la producción de hortalizas con riego por goteo*. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego-SARH. Gómez Palacio, Dgo. México. pp. 2-19.

- Samperio R., G. 1999. Hidroponia básica. 7ª Edición. Editorial Diana, M. pp. 55-78.
- Sánchez D., C. F. y E. R. Escalante R. 1989. Hidroponia. 3ª Edición. Patronato Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo, México. 194 p.
- Schwars, M. 1975. Guide to comercial hydroponics. Israel Univ. press. Jerusalem. pp. 95-137.
- Turner, W., I. Henry.1960. Hidroponia (Horticultura y floricultura sin tierra). John Wiley & Sons, Inc. N.Y. pp. 75-98.
- Verwer, F. L. 1976. Growing horticultural crops in rockwool and nutrient film. Imag. Wageningen, Publication, Netherlands.137 p.
- Wilcox, G. 1991. Nutrient control in hydroponic system, pp. 50-53. *In*: S. Knight (Ed.), Preceedings of the 12th Annual Conference on Hydroponics. Hydroponics Society of America, Concord, CA.

CONCLUSIONES

En términos de estudio para la generación de conocimiento relativo al uso de invernaderos, túneles de plástico y acolchados, aún existen algunas incógnitas que deben ser resueltas mediante investigación. La cuantificación de los procesos fisiológicos en las plantas así como del balance de la energía dentro de los invernaderos pudiera llegar a optimizar el diseño de mecanismos de control para un incremento en la eficiencia fotosintética de los cultivos. Estos mismos procesos se deben evaluar en los túneles de plástico y los acolchados con plástico con el fin de optimizar el uso de agua y fertilizantes. También es necesario hacer más estudios acerca de la constitución química de los plásticos en virtud de que siguen fabricando materiales que al terminar el ciclo del cultivo necesitan su remoción del campo, lo que incrementa los costos de producción.

Ahora bien, la tecnología de invernaderos con clima controlado presupone cierto nivel de inversión, sin embargo, los invernaderos familiares (de baja inversión) son una alternativa viable para aquellos lugares con poca disponibilidad de agua y suelo. En este contexto, es necesario estudiar las capacidades de producción en términos de kilocalorías por metro cuadrado al combinar varias especies acordes a las necesidades nutricionales del humano. Esta tecnología pudiera ser el eslabón entre la agricultura de autoconsumo y la de mercado.

Es claro entonces que el uso de plásticos en la agricultura no es necesariamente costoso; las diferentes modalidades de plasticultura e invernaderos se ajustan a las posibilidades del productor. Diversos estudios han mostrado las bondades de esta tecnología, el impacto directo en calidad y oportunidad de los productos en el mercado, lo que define en gran medida el ingreso por concepto de esta actividad productiva.

Comité Editorial

Presidente: Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Secretario: Ing. Raquel Anguiano Gallegos
Editor Técnico: Dr. Rodolfo Jasso Ibarra

Colaboración:

Lic. Laura Verónica Macías García.
CENID-RASPA

Lic. Edmundo Martínez Castillo,
Difusión Científica y Tecnológica del **INIFAP**

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de
agosto del 2003 en los Talleres Tipográficos
Lazalde de Torreón, Coah.
Su tiraje consta de 500 ejemplares.

inifap
CENID-RASPA



SECRETARÍA DE
AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN | SAGARPA