

Ministerio de Relaciones Exteriores de Israel  
Centro de Cooperación Internacional

Seminario sobre:  
**Producción de hortalizas en condiciones Tecnificadas**  
13 de agosto del año 2004

Ing.Agr. Meir Shany



Edición: Ing.Agr. Evelyn Rosenthal, Israel 2003

Managua, 2004

## Contenido

• <b>Introducción</b>	<b>3</b>
A. El concepto	3
B. La problemática del cultivo bajo cobertura	5
• <b>Tipos de construcciones</b>	<b>6</b>
• <b>Ubicación, diseño y medidas</b>	<b>8</b>
• <b>Materiales</b>	<b>12</b>
• <b>El polietileno-El manejo de la radiación solar</b>	<b>14</b>
A. El espectro de la radiación solar	14
B. Calidades y propiedades del polietileno	15
C. Determinación de la calidad	19
D. Mantenimiento del plástico	19
• <b>El control climático</b>	<b>21</b>
A. Aireación y ventilación	21
B. Enfriamiento	23
C. Calefacción	24
• <b>La agrotécnica del cultivo en invernadero</b>	<b>28</b>
A. Preparación del suelo	28
B. Desinfección del suelo y de la construcción	28
C. La fertilización orgánica	31
D. La cobertura (mulch) de las camas	32
E. Sustratos desconectados	33
F. Variedades	38
G. Preparación de plántulas de bloque	40
H. Distanciamiento de trasplante	44
I. Poda y tutorado	45
J. Influencia de las condiciones climáticas sobre el cultivo y su control	47
K. La polinización	50
L. Riego y fertilización	52
M. Enriquecimiento con CO <sub>2</sub>	60
N. El control fitosanitario	61
O. Automatización en invernaderos	62
• <b>Epílogo</b>	<b>64</b>
• <b>Términos</b>	<b>65</b>
• <b>Bibliografía</b>	<b>65</b>

# Introducción

## A. El Concepto

El concepto de proteger un cultivo mediante una cobertura puede definirse como: **Cerrar un volumen de espacio, para aislar el cultivo que se desarrolla en dicho espacio de las condiciones naturales adversas y suministrarle las condiciones agrotécnicas ideales.**

Las condiciones naturales adversas pueden ser:

- Lluvias (y otras precipitaciones)
- Vientos
- Temperaturas extremas (generalmente bajas)
- Intensa radiación solar
- Plagas

### **Consideración frente a la decisión de proteger el cultivo**

La única justificación para cultivar bajo cobertura es, cuando el beneficio económico obtenido es significativamente mayor comparándolo con un cultivo a campo abierto.

Es fundamental llevar a cabo un estudio de factibilidad antes de establecer el proyecto a fin de justificar la inversión requerida.

Los factores que definen la necesidad de cultivar bajo cobertura son:

#### **• Tipo del cultivo**

Cuando un cultivo no está adaptado a las condiciones naturales locales y debe cultivarse fuera de la estación o fuera de su área natural.

#### **• Mejoramiento de la calidad de los frutos**

Cuando se pretende comercializar el producto en mercados exigentes– locales ó de exportación.

La calidad de la producción en un cultivo protegido siempre será mejor comparándolo con un cultivo a campo abierto pues la cobertura facilita el control del microclima como así también la protección contra polvo, viento y la intensa radiación solar.

#### **• Necesidad de reemplazar el suelo**

Cultivo en un sustrato artificial (Sistemas Desconectados)

Un suelo enfermo, con alta presencia de hongos (*Fusarium*, *Sclerotium*), bacterias, nemátodos, etc., puede alcanzar un estado en el cuál ningún tratamiento asegure su desinfección. En tal situación, surge la necesidad de reemplazarlo por un sustrato artificial.

También un suelo muy agotado o muy pobre por su origen natural, o de una mala estructura física (muy arcilloso o pedregoso), justifica su reemplazo por un sustrato artificial.

Cuando surge la necesidad de reemplazar el suelo, en general deberá considerarse que la inversión requerida sólo se justificará si se implementará un sistema de cultivo protegido.

Debe tenerse en cuenta un “paquete tecnológico completo”.

- **Protección contra plagas**

Cuando existe en la región una alta incidencia de plagas, que no permite llevar a cabo el cultivo de manera económica en las condiciones de campo abierto.

- **Elevación de rendimientos**

Optimización del aprovechamiento del área de la finca.

Los rendimientos que se logran en invernaderos (considerando variedades indeterminadas) en general duplican o triplican los rendimientos obtenidos en un cultivo a campo. Por ejemplo: En tomate, considerando un híbrido de alta calidad, se alcanza hoy en día un rendimiento mínimo de 200 TM por hectárea (En Israel y en Holanda, un rendimiento de 300 – 400 TM / ha es normal).

En pimiento, 120 – 180 TM / ha y un rendimiento parecido en pepino.

Indudablemente, todo depende de la buena y de la adecuada agrotécnica que se aplique al cultivo y no únicamente de la variedad.

El agricultor mediano o pequeño debe considerar la posibilidad de producir en condiciones protegidas, pues tiene que lograr el mejor rendimiento de su terreno.

Consideremos que se ha tomado la decisión de proteger el cultivo, surge entonces la pregunta: ¿Qué tipo de construcción queremos? ¿Qué tipo de cobertura? ¿Será necesario construir un invernadero completo con un sistema de calefacción, ventilación, etc., ó será suficiente una construcción liviana o tal vez solo túneles?

Las respuestas a todas estas preguntas dependerán por supuesto de las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las condiciones naturales adversas en el campo? Y, ¿Qué nivel de protección requiere el cultivo?

La etapa de planificación del proyecto tiene como objetivo encontrar las respuestas a dichos interrogantes.

Por ejemplo: Para obtener una buena viabilidad de la floración y un buen cuaje de frutos en un cultivo de pimiento, es necesario mantener dentro del invernadero una temperatura mínima de 18°C durante la época de polinización del cultivo.

En tomate, 16°C. Si obtenemos una temperatura menor, se afectaría la producción del cultivo! (De igual manera en el caso de una temperatura mayor a 32 °C).

Así es que cuando se planifica la construcción de un invernadero, deben considerarse los requerimientos del cultivo en relación al clima de la región.

(En el Capítulo sobre la Planificación de los sistemas de calefacción y de aireación se ampliará más este tema).

## **B. La problemática del cultivo bajo cobertura**

Un cultivo bajo cobertura, desde el momento de su establecimiento, puede sufrir una serie de problemas, que provienen del microclima especial, que existe dentro de la construcción cerrada.

Debe considerarse que:

- Las temperaturas durante el día son definitivamente mayores que las de afuera (es el efecto del invernadero).
- Las temperaturas durante la noche pueden ser menores que las de afuera debido a la falta de movimiento de aire. (Efecto de la inversión térmica)
- La humedad relativa es muy alta dentro de la construcción debido a falta de aireación. La construcción ejerce una barrera física que impide el movimiento natural del aire. Ello, no solamente afecta el cuaje de los frutos al reducirse la liberación del polen de las flores sino que también es el principal causante de aparición de enfermedades en los cultivos dentro de los invernaderos.

La construcción produce sombreado eliminando una parte esencial de la radiación solar, que es vital para el proceso de la fotosíntesis y el buen desarrollo y producción de las plantas. El sombreado se incrementa por la acumulación de polvo o gotas de agua sobre el techo, dependiendo de la calidad del material que se usa para la cobertura del techo.

- La condensación de la humedad en el techo provoca el goteo de agua sobre el cultivo, generalmente en las horas de la mañana, generando condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades.
- El suelo en el invernadero puede sufrir un rápido agotamiento debido a la intensidad de su uso.

Para evitar dichos problemas, obtener un cultivo productivo, y aprovechar el potencial que ofrece el invernadero, es sumamente importante el diseño correcto de la construcción.

Sin olvidar que un cultivo protegido, tiene una serie de requerimientos, que son parte integral de su manejo

### **Requerimientos básicos para el establecimiento de un cultivo protegido:**

1. Alta inversión primaria (construcción) y secundaria (manejo)
2. Conocimiento profundo del cultivo (a nivel botánico y fisiológico)
3. Uso de avanzadas agrotécnicas las cuales incluyen:
  - Adaptación de variedades y de cultivares
  - Preparación y desinfección adecuada del suelo
  - Cobertura de las camas
  - Uso de semillas y plántulas de alta calidad
  - Distanciamiento adecuado entre las plantas
  - Manejo fitosanitario preciso durante todo el cultivo
  - Sistemas de riego "localizado" (goteo)
  - Manejo preciso de la fertigración (especialmente en sustratos desconectados)
  - Tutorado y poda del cultivo

En el Capítulo sobre Agrotécnicas se describirán detalladamente cada uno de estos puntos.

## Tipos de construcciones

El tipo de la construcción se determina teniendo en cuenta el cultivo, sus necesidades y las condiciones climáticas regionales.

Vamos a detallar los diferentes tipos, sus características y sus posibles adaptaciones:

- **Túneles bajos:** En general son utilizados para proteger cultivos en sus primeras etapas contra la lluvia y elevar las temperaturas durante el día. Se utilizan en zonas de clima templado ó en cultivos de primavera. No son aptos para zonas muy frías ó muy cálidas.

La estructura del túnel está conformada por una hilera de doble arco (generalmente de alambre grueso) entre los cuales se extiende un polietileno transparente de tal forma que permita su apertura durante las horas del día.

El túnel bajo es apto únicamente para cultivos de bajo porte y no para variedades indeterminadas.

- **Túneles altos:** Permiten el uso de variedades indeterminadas (lo cuál no es posible en el caso de túneles bajos) y cultivar en temporadas más frías del año. Los arcos pueden ser de algún material local (bambú), pero se prefiere el hierro galvanizado o el PVC.

En zonas de cuatro estaciones, es posible perforar la cobertura de polietileno para liberar el calor acumulado cuando comienzan a subir las temperaturas. Estas perforaciones se hacen cada tres o cuatro metros, de 30 – 40cm de diámetro, y apenas se termina la estación de la lluvia. En este caso, se utiliza para la cobertura un plástico de tipo “un solo uso” es decir más delgado (100 – 120 micrones). Los túneles altos, en general, no permiten una buena regulación de la temperatura interior, pues no tienen la suficiente altura ni los artefactos adicionales como el invernadero. La ventaja que tienen es que son más baratos y que pueden construirse como unidades móviles lo cuál permite manejar la rotación de cultivos en el campo.

- **Túneles altos con cortinas:** Estas son construcciones más altas (3.0 – 3.5m de altura), que permiten generar condiciones microclimáticas más parecidas a las de los invernaderos. En caso de existir problemas con plagas, es necesario incluir cortinas de una malla mosquitera. (En este caso, el costo de construcción del túnel no presentará diferencias significativas con el de los invernaderos).

- **Construcciones livianas de zarán (casas de sombra):** Se usan para proteger cultivos de una intensa radiación solar, generalmente cultivos de pimiento. Son construcciones móviles, que se cubren con un tipo de malla negra (zarán), que provoca un sombreado de 30 – 50 % . También se puede colocar por encima una malla mosquitera de 50mesh (cerrado herméticamente), para proteger cultivos de verano únicamente contra plagas.

- **Construcciones altas (tropicales):** Sirven para proteger cultivos en zonas cálidas y lluviosas. Estos son los "invernaderos de las zonas tropicales". Tienen que ser altos (mínimo de 4m de altura) y con aberturas en el techo. Además, tienen que poseer cortinas en las paredes laterales. Si la construcción está diseñada para llevar un cultivo tutorado y pesado (tomate, por ejemplo) tiene que ser más reforzada.

- **Invernaderos:** Se refiere a construcciones altas (4.0 – 4.5m), herméticamente cerradas mediante el material de cobertura, plástico o vidrio, que poseen cortinas frontales y laterales, pudiendo incluir aberturas en el techo. Además, permiten incorporar ventiladores y otros sistemas para el control climático según las necesidades de las plantas.

## Ubicación, diseño y medidas

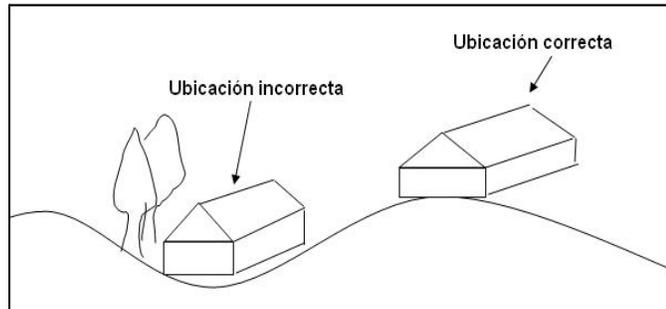
### La ubicación del invernadero

Los invernaderos deben ubicarse siempre en un lugar alto. Este principio asegura la buena aireación. Según la topografía del terreno, se escoge un sitio localizado a una cota mayor que sus alrededores (aunque sea algunos metros) y expuesto al viento natural.).

No se recomienda situar el invernadero cercano a hileras de árboles o edificios.

La distancia mínima necesaria desde un obstáculo, es de 2 m, dependiendo de su altura. En zonas con peligro de heladas, deben evitarse los lugares más bajos pues allí se registrarán las temperaturas más bajas.

(Ver Dibujo N° 1)



Dibujo N° 1

### La orientación de las naves

Las naves deben orientarse según la dirección de los vientos permanentes en el área. El diseño de una nave es aerodinámico siempre y cuando esté ubicada de la manera correcta. En caso contrario, si la nave está orientada perpendicular al viento, éste golpeará contra la misma y fácilmente puede llevarla. Además, esta orientación permite que el viento pase a lo largo de las hileras del cultivo y llegue de un lado al otro de la nave. Hay que recordar, que las hileras se siembran también en la dirección de la nave.

En segundo lugar y únicamente en los países del hemisferio norte o sur, se considera también la orientación norte – sur, para asegurar una mayor penetración de luz solar en la época del invierno.

### Preparación del terreno

Para evitar acumulación de las aguas del riego o las de la lluvia y prevenir el desarrollo de enfermedades de suelo y del follaje, es indispensable mantener en el invernadero una pendiente mínima de 1,5 % (máxima 5%). Esta inclinación se consigue durante la etapa de nivelación del terreno, antes del establecimiento del invernadero.

La dirección de la pendiente debe ser paralela a la dirección de las naves.

Es importante también rodear el invernadero desde afuera con zanjas profundas que dirijan las aguas de la lluvia fuera del sitio.

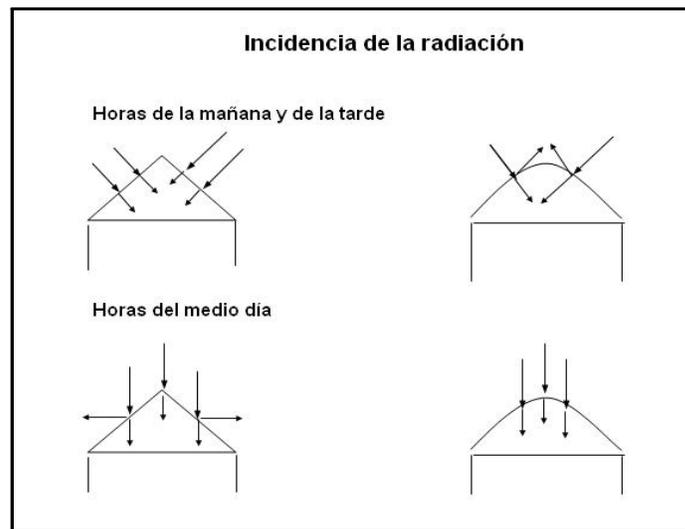
Si el cultivo está diseñado como hidropónico es recomendable construir el invernadero sobre una capa de tierra caliza impermeable, aislándolo del suelo.

El agua que cae de los techos puede ser recolectado en un reservorio pudiendo ser usado luego para el riego.

## Formas del techo

**1. Triángulo:** Históricamente viene de los invernaderos europeos que tenían techo de vidrio. Es menos adecuado cuando se usan coberturas de polietileno, pues es más difícil su estiramiento, y con vientos o lluvias intensas, éste puede rasgarse. Tiene mejor penetración de luz en horas de la mañana y de la tarde pues la radiación solar incide en forma perpendicular sobre el techo. En horas del mediodía una parte de la radiación se refleja, por el ángulo que forman los rayos al incidir sobre el techo. (Ver Dibujo N° 2)

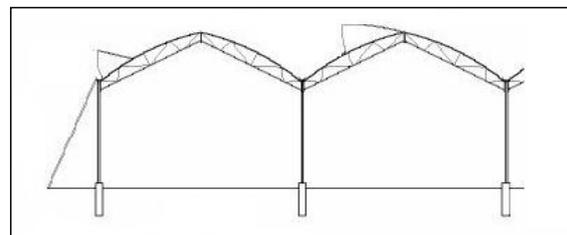
**2. Arco:** Más conveniente para colocar las coberturas de polietileno. Es más resistente que el tipo triángulo. Permite mayor penetración de luz, especialmente en áreas de días cortos. (Ver Dibujo N° 2)



Dibujo N° 2

**3. Gótico:** Consiste en una figura especial, siendo una combinación entre las dos formas tradicionales: triángulo y arco. Presenta las ventajas de ambas y reduce sus desventajas. Es una invención israelí de la Compañía. "Azrom". (Ver Dibujo N° 3)

**4. Serrucho (Abierto):** Consiste en triángulos erectos, siendo la parte vertical, la abertura (o cortina) del techo. No es una forma muy recomendable. Si la inclinación es adecuada, la abertura resulta muy grande, si en cambio la inclinación es menor habría un mal escurrimiento del agua de lluvia. Es posible construir dos triángulos (doble abertura) por



Dibujo N° 3

cada nave, obteniendo así una mejor aireación e inclinación del techo. Sin embargo, hay que tener en cuenta la sombra que produce este tipo de techo.

### 5. Combinación de aberturas:

Se refiere a cualquier figura que tiene aberturas en el techo.

Puede ser arco o gótico. Es la forma tecnológicamente más avanzada y es muy apta para zonas cálidas. Las aberturas en el techo permiten liberar masas de calor acumulado dentro del invernadero. (Ver Foto N° 1)



Foto N° 1

## Medidas del invernadero

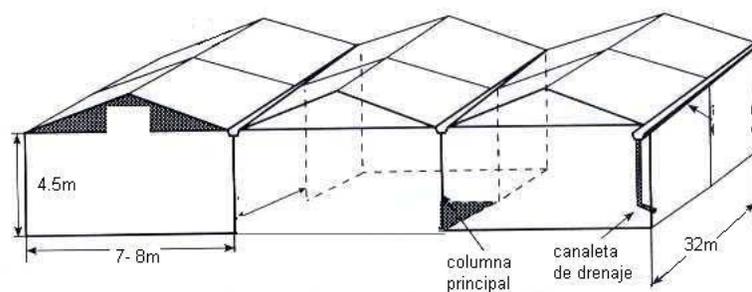
**1. Altura:** Por lo menos **4.0m**. Preferible: **4.5m**. La altura del invernadero se mide como la altura de la columna, desde el suelo y hasta la zanja del drenaje del techo (y no hasta la punta del techo). La altura del invernadero es el factor más importante que determina el microclima final dentro de la construcción. Ello se basa en la ley física que dice que: "El tiempo que necesita un volumen determinado de aire para enfriarse o calentarse a una cierta temperatura, es función de su tamaño". Si el volumen es mayor, más tiempo va a pasar hasta que se enfría o se calienta. En otras palabras, en un invernadero más alto, simplemente el microclima interno será más templado, es decir menos caluroso en el día y menos frío en la noche.

**2. Ancho de la nave:** Generalmente de 7– 8m.

**3. Longitud de la nave:** ¡Nunca más de **32m**! La explicación a esta determinación es que, si la altura máxima del invernadero es de 5m, el aire que penetra a la construcción a una velocidad normal (viento o ventilación), no puede recorrer una distancia que es mayor de 32m. Esto se debe al rozamiento del aire contra el suelo, las plantas y la construcción. Hay que recordar también, que la orientación de las naves como la ubicación de las hileras del cultivo deben ser paralelas a la dirección del viento.

Si mantenemos estos principios, aseguramos un buen flujo de aire a lo largo de las hileras del cultivo. Este principio es válido para cualquier tipo de construcción.

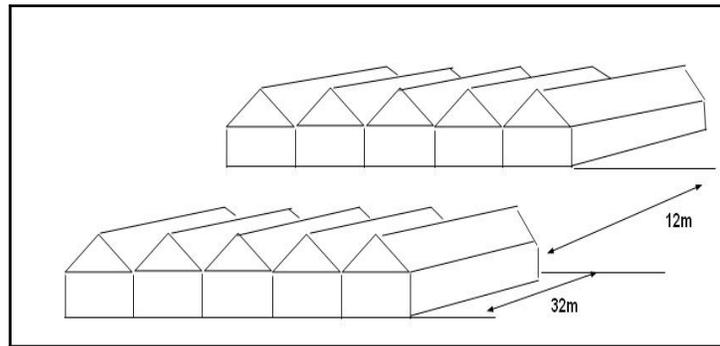
(Ver Diseño N° 1)



Diseño N° 1

**4. Número de naves:** (Ancho del invernadero): Es ilimitado, si se mantienen los principios arriba mencionados. Se puede combinar cualquier número de naves, según lo permita el área. Así también se pueden construir varias baterías de naves, manteniendo una distancia mínima de 12m entre una batería y otra. (Ver Dibujo N° 4)

**5. La altura de la cortina:** Se inicia desde los 80 – 100cm arriba del suelo hasta una altura de aproximadamente 2.0m. Las cortinas (o aberturas frontales y laterales) se ubican a lo largo de los cuatros lados del invernadero. Arriba de la cortina queda como un metro más de altura que es parte del plástico del techo. La parte baja del invernadero (debajo de las cortinas) es denominada “falda” y es también una lámina de polietileno.



Dibujo N° 4

# Materiales

## A. De la construcción

Se usa madera o hierro, preferentemente hierro galvanizado (tratado con una solución de ácido de zinc). Este tratamiento lo protege contra la corrosión. Si se usa madera, tiene que ser de una buena calidad, tratada contra plagas y pintada. El grosor de las tablas o de las barras, depende del tipo del cultivo al cuál se destinará el invernadero. También depende de la velocidad de los vientos y de la intensidad de las precipitaciones en el lugar.

Si el cultivo es de bajo porte (flores o almácigos), es suficiente una construcción más liviana y de material más delgado. Pero si el cultivo es pesado (como en el caso del tomate indeterminado), es imprescindible el uso de tablas o barras más gruesas y una construcción más reforzada. Por supuesto, que el grosor de las tablas de madera siempre deberá ser más grueso que las del hierro. Compañías que son expertas en este campo, usan perfiles de hierro que son más sofisticados y mucho más resistentes como los de tipo T ó C. Tomando en consideración los precios de construcción, en la mayoría de los países (aún en los trópicos), una construcción de madera gruesa y de buena calidad, no es mucho más barata que una de hierro. Una construcción de hierro galvanizado dura por lo menos 15 años. En cambio, una de madera, aún si es de buena calidad, tendrá una vida útil de máximo 5 años. En una construcción de hierro se pueden también utilizar tablas de madera, por ejemplo, para la extensión del plástico y de la malla mosquitera.

**La construcción del tutorado:** Es recomendable que sea una parte integral de la construcción general. De esta manera se gana espacio para el cultivo. En caso contrario debe construirse por separado con postes gruesos los cuales toman mucho espacio apto para el cultivo (alrededor de 25%) y producen mucha sombra, afectando el desarrollo normal del cultivo.

El sistema de tutorado puede utilizar las mismas barras de hierro (como las de la construcción) colocándoselas a la altura de las plantas (aproximadamente 3m) alrededor de toda la construcción. Las hileras del cultivo se sostienen de alambres gruesos los cuales se tienden a lo largo de las naves por encima de cada hilera. Hay que recordar, que toda la construcción tiene que ser diseñada para soportar un peso de hasta 30kg por cada metro cuadrado.

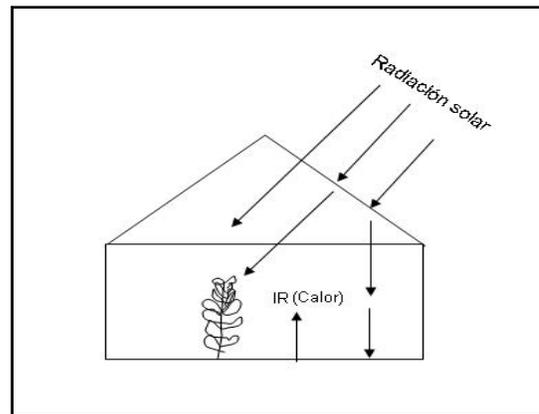
## B. De cobertura

En general, la cobertura tiene que ser de algún material transparente. Si no, las plantas de abajo no van a tener luz para su crecimiento. La luz solar que traspasa la cobertura sirve para el proceso de la fotosíntesis de las plantas, y en parte se convierte en calor. Esto es justamente "el efecto del invernadero". (Ver Dibujo N° 5). La cantidad y la calidad de la luz solar, transmitida por el material que cubre el techo del invernadero, son de los factores más importantes que determinan finalmente la calidad y el rendimiento del cultivo. Ambos factores dependen, sin lugar a duda, de la calidad del material de cobertura.

En ciertas ocasiones especiales se escoge algún material que produce cierta cantidad de sombra (zarán, por ejemplo), para cultivos que requieren menor intensidad solar.

Actualmente, no sólo la transparencia sino muchas cualidades adicionales caracterizan la calidad de los materiales de cobertura. Por ejemplo: El bloqueo de la radiación infrarroja (IR) de onda larga evita el escape del calor del invernadero durante la noche. Otra cualidad es la capacidad de filtración (bloqueo) de la radiación ultravioleta, etc.

A continuación vamos a describir los diferentes materiales de la cobertura, sus características especiales y sus diferentes usos.



Dibujo N° 5

### **Materiales comúnmente utilizados para la cobertura del techo y sus características**

- **Vidrio:** Es el material más transparente que existe. Tiene buena filtración de la radiación IR. Históricamente, fue el primer material que fue usado para invernaderos en Europa. Sus desventajas: Es muy frágil y peligroso, relativamente caro.
- **Polietileno:** Es un plástico flexible, con una buena transparencia, resistente y relativamente barato. Además adquiere una larga gama de características físicas, ópticas y químicas, que pueden ser incorporadas en la película como una parte integral. Hoy en día, es el material más práctico y común, entre los que se usan para las coberturas de los invernaderos.
- **Poli-carbonato:** Es un material del tipo plástico rígido, transparente y con ciertas cualidades ópticas parecidas a las del polietileno. Tiene muy buena resistencia y durabilidad, y se está usando especialmente en zonas donde se necesita alta resistencia física (contra vientos, nieve, etc.)
- **Palrig:** Plástico transparente grueso y flexible, hecho de una combinación integral de polietileno y una malla metálica. Es un material muy resistente y de una larga duración después de su colocación. Su transparencia es menor que la del polietileno usándose en cultivos menos exigentes a la luz.
- **Malla mosquitera:** En general se usa una malla de polietileno, pues es el material más transparente entre las mallas y relativamente económico. Se usa una malla de 50mesh, lo que significa: 50 hoyos por una pulgada cuadrada. Esta barrera es obligatoria para evitar la penetración de plagas como la mosca blanca, los áfidos, etc. Por otra parte, permite la penetración de cierta parte del aire natural. Hoy en día, esta malla puede presentar también cualidades ópticas como las del polietileno, por ejemplo: resistencia a la radiación UV. En general, esta malla se la usa para cubrir las ventanas de las cortinas, pero en ciertas condiciones climáticas (cálidas y sin lluvias), se la puede usar como la única cobertura de la construcción (incluso del techo) sin usar el plástico. En tal caso, el único objetivo es proteger el cultivo de las plagas. El costo de la malla en general es mayor que el costo del plástico.

## El polietileno – El manejo de la luz solar

Las características generales del polietileno, se han descrito arriba. Vamos a describir a continuación las cualidades adicionales que posee, adecuándose a cada tipo de cultivo y/o condiciones climáticas regionales.

Para un mejor entendimiento de estas cualidades, vamos a observar la gama de las ondas de la radiación solar:

### A. El espectro de la radiación solar

#### a. Radiación de ondas cortas:

<b>UVC</b>	< 320 nanometros	- Casi no llega al suelo, es absorbida por la atmósfera
<b>UVB</b>	320 – 360 nm	-Tiene cierta interferencia en procesos de pigmentación en frutas (nectarinas).
<b>UVA</b>	360 – 400 nm	- Una radiación con muy alta intensidad y energía. Causa problemas de quemaduras en frutas, así como en la piel humana, destruye el plástico y los otros materiales de la cobertura.

#### b. Radiación de la luz visible y fotosintética:

<b>Azul</b>	400 – 500 nm
<b>Verde - Amarillo</b>	500 – 600 nm
<b>Rojo</b>	600 – 700 nm

#### c. Radiación de ondas largas:

<b>Rojo lejano (FR)</b>	700 – 800 nm
<b>Infrarroja cercana (N.IR)</b>	800 – 2800 nm

#### **Explicación:**

La parte del espectro la cuál es beneficiosa e imprescindible para los procesos biológicos vitales, es la luz visible. La radiación UV y también la radiación FR y N.IR, contribuyen principalmente al aumento de calor en el invernadero durante el día. Por esta causa se la califica como una radiación generalmente negativa. Al incidir esta radiación sobre cuerpos oscuros como por ejemplo, el suelo o las plantas, es absorbida, convirtiéndose en radiación de calor que es reflejada. Este calor se acumula dentro del invernadero. En la mayoría de los lugares del mundo, no hay necesidad de aumento de calor durante el día, al contrario, el problema siempre es como liberarse de los excesos de calor y de humedad.

De aquí se puede concluir, que unas de las metas del material de la cobertura es: **Filtrar y bloquear la máxima cantidad de la radiación dañina y transferir la máxima radiación productiva.**

La radiación UV es de onda corta y tiene mucha energía. En la física de la radiación, la energía de la onda tiene relación directa con su frecuencia e indirecta con la longitud de la onda.

Esta relación se puede describir en la formula:

$$C = \mu \cdot \lambda$$

Donde:

C = Constante.

$\mu$  = Frecuencia

$\lambda$  = Longitud de onda

Hoy en día, la tecnología de la plasticultura nos permite no solamente manejar el control climático del invernadero sino también diferentes agrotécnicas, como se describirá a continuación.

## **B. Calidades y propiedades del polietileno**

• **Con bloqueador UV** – Este tipo de plástico tiene la capacidad de bloquear y filtrar la radiación ultravioleta del sol. Existen diferentes grados de bloqueo según la calidad química de la película, es decir según la concentración y tipo de aditivos bloqueadores de UV en la película. Existen en la industria plástica diferentes tipos de productos que son bloqueadores UV. Antiguamente era común el uso de metales, como el níquel, los que conferían a la película el típico color verde – amarillo. Hoy en día, se los califica como cancerígenos y por eso no son recomendables para el uso como coberturas de invernaderos.

Los materiales bloqueadores de UV modernos, no confieren el color amarillo a la película, sino un color lechoso transparente.

En los plásticos convencionales del tipo UV, el grado de la resistencia no es más de 30%.

En general, plásticos UV tienen mejor durabilidad que aquellos que no tienen esta resistencia. Podemos decir que cuánto mayor es el grado de resistencia, mayor será la durabilidad de la película. Esto se explica de la siguiente manera: la radiación UV del sol quiebra las conexiones de las moléculas largas C=C del polietileno y causa la cristalización del plástico. La consecuencia es que la película pierde su calidad elástica. Se puede determinar que cuando la película pierde 50% de su capacidad elástica, hay que cambiarla pues se terminó su vida útil.

En plásticos de buena calidad UV, la duración de la película en el campo es de dos a tres años, dependiendo de la intensidad de la radiación solar, la temperatura' y de los productos químicos que se usan en el invernadero.

Los plásticos del tipo UV, son aptos para usar en cualquier región y en cualquier condición climática. Son recomendables para la mayoría de los cultivos.

- **Anti-vector:** Se desarrolló en Israel una nueva generación de plásticos, que se llama "Anti-vector" (Anti-virus). Estos plásticos, tienen la capacidad de filtrar toda la radiación UV y la última innovación es, que a través de esta propiedad, se interviene en el comportamiento de los insectos (plagas), anulando su capacidad visual, hasta que su incidencia en el invernadero se baja definitivamente.

En una serie de investigaciones realizadas en los últimos años en varios institutos en Israel, se logró descubrir que los insectos ven y se orientan en el espacio usando, de cierta manera, la radiación ultravioleta. Este comportamiento fue aprovechado por la industria plástica en beneficio del manejo integrado de plagas. En invernaderos donde la cobertura es de tipo "Anti-vector", los insectos plagas evitan de acercarse, y si se entran al invernadero, su actividad es prácticamente nula. De esta manera contamos con una gran herramienta, la cuál puede ser incorporada de manera "elegante" en la estrategia del MIP. En muchos ensayos llevados a cabo en Israel se demostró que bajo los plásticos "Anti-vector", la incidencia de plagas, transmisores de virus, tipo mosca blanca, áfidos y trips, disminuye casi totalmente. Estos plásticos, en cambio, no afectan la actividad de los insectos benéficos como abejas y abejorros. Ello puede deberse a que estos insectos se orientan más por el olor de su hospedante que por la visión.

Los plásticos "Anti-vector" controlan también ciertas enfermedades fúngicas tipo *Botritis*. Según ensayos realizados en Israel en cultivos de hierbas aromáticas (albahaca, menta) se pudo demostrar que estos hongos son incapaces de producir esporas cuando se elimina la radiación ultravioleta. En cultivos de rosas rosadas, los plásticos tipo "Anti-vector" contribuyen a bajar el síntoma de "flor negra".

- **IR:** Son películas que contienen el aditivo bloqueador de la radiación infrarroja.

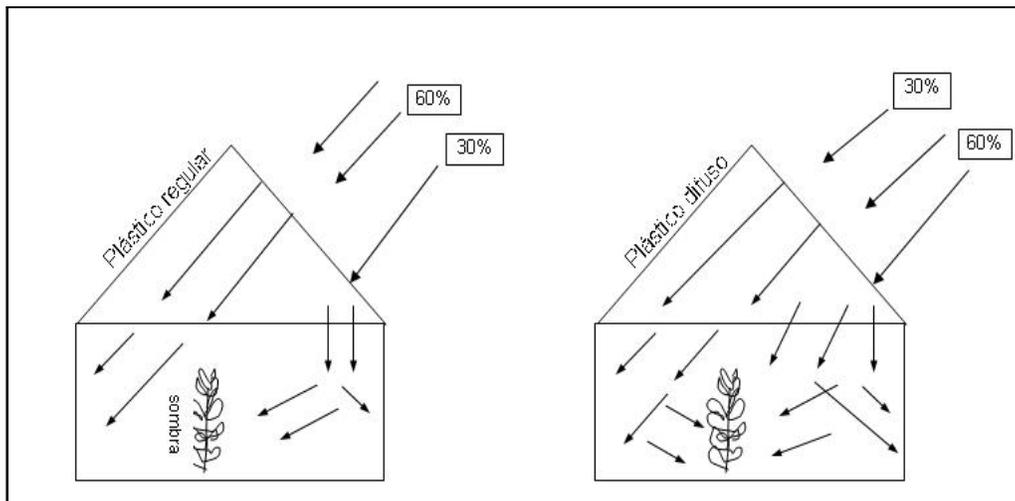
Estas películas reflejan la radiación de onda larga que es emitida durante la noche por el suelo y las plantas, manteniendo así el calor dentro del invernadero.

Son muy aptas para usar en zonas frías, donde se requiere aumentar la temperatura durante la noche. A pesar de requerir medios adicionales (como por ejemplo, calentadores), en zonas muy frías, estos plásticos son importantes, pues permiten el ahorro de energía y bajar el costo de la calefacción. Un punto interesante a tener en cuenta es que los plásticos IR tienen la capacidad de elevar la temperatura del invernadero en alrededor de 3°C en la noche pero no juegan un papel importante en la elevación de temperatura dentro del invernadero durante el día. La diferencia en temperatura durante el día, comparando con un plástico regular, es de máximo 0.5 °C.

Hay que recalcar, que los plásticos de tipo IR, no son aptos para usar en zonas cálidas, donde no se necesita calefacción en la noche.

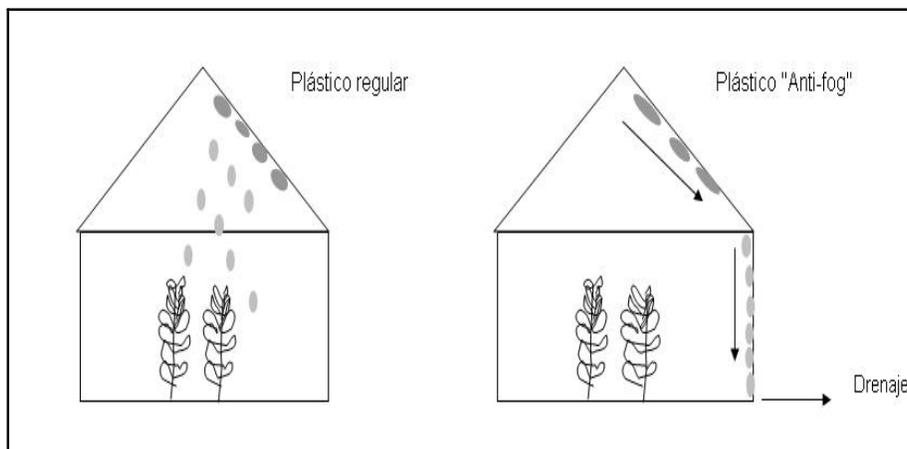
- **Difuso:** Las películas provocan una difusión del 60% de la radiación solar transmitida. Presenta ventajas principalmente en cultivos tutorados. En el caso de los plásticos regulares (los cuales influyen poco sobre la radiación directa), una gran parte de la luz solar es bloqueada por los ápices de las plantas mientras que las partes más bajas de las plantas, que aún están en producción, se mantienen en sombra y sufren de deficiencia de luz fotosintética. Cuando la

radiación es difusa, los rayos solares logran penetrar hasta las partes más bajas de las plantas obteniéndose una mayor producción. En plásticos regulares, solamente 30% de la radiación transmitida es difusa. (Ver Dibujo N° 6).



Dibujo N° 6

**Anti-fog:** Son películas de polietileno, que en su capa interna contienen el aditivo "Anti-drip", el cual reduce la tensión superficial de la gota. Sobre películas con esta propiedad, las gotas de agua que se condensan durante la noche, reciben una forma achatada – en vez de la redonda evitando el goteo sobre el cultivo. Las gotas de agua resbalan hacia los laterales de la nave y de allí drenan fuera del invernadero. En invernaderos que no tienen plásticos antifog, el goteo de agua es un gran provocador de enfermedades de follaje. Con el uso de estos plásticos, se pueden prevenir muchas de estas enfermedades. Otra ventaja de este plástico es su mayor transparencia y, por lo tanto, favorece una mejor penetración de luz. En un plástico regular, las gotas de agua que se condensan sobre la película, principalmente en las horas de la mañana, reducen gran parte la radiación solar que llega a las plantas. (Ver Dibujo N° 7)



Dibujo N° 7

- **Anti-dust:** Es una película, que en su capa superior tiene baja carga eléctrica y por lo tanto, no atrae el polvo. El polvo, que por ser una arcilla en general también lleva una carga eléctrica, tiene la tendencia de acumularse encima de los techos de plástico reduciendo la penetración de la luz solar. En ciertas áreas, este polvo produce hasta 50% de sombra. Indudablemente esta sombra afecta en forma negativa al cultivo en el invernadero.

- **Coloreado:** En ensayos hechos en Israel se demostró, que si se usan películas que filtran la parte azul del espectro, se limita el desarrollo del hongo Pseudoperonospora en pepinos. Bajo estas películas de color azul el hongo no logra desarrollar esporas.

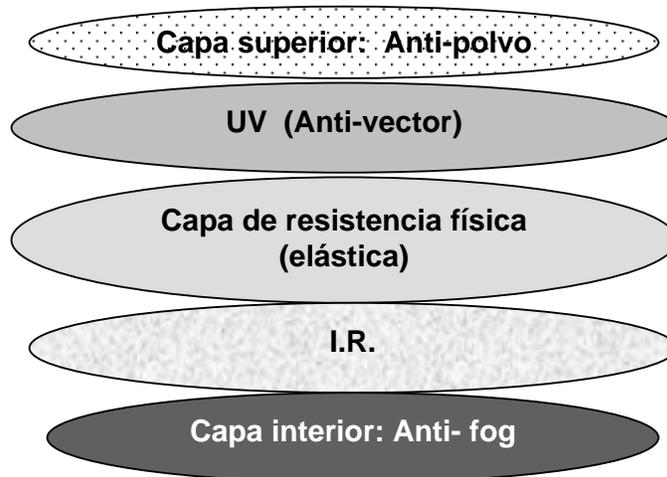
Este campo es nuevo y aún esta en la etapa de estudio. Los colores verde y rojo también se han estudiado, pero sin un record especial hasta el momento.

### **Combinación de propiedades**

Hoy en día, dada la alta tecnología aplicada a la fabricación de láminas de polietileno es posible exigir a la industria, un plástico que posea todas las propiedades arriba mencionadas en una sola película. Todo depende por supuesto de las necesidades del cultivo. Esta tecnología, que se llama "extrusión en capas", utiliza una maquinaria moderna que inyecta los diferentes productos siendo el producto final una sola película. Cada capa contiene un diferente agregado. Cuando se coloca la película encima del invernadero, ésta cumplirá con un determinado objetivo.

En el siguiente dibujo, se demuestra un "corte" de una película compuesta.

### **Polietileno:**



### **C. Determinación de la calidad del plástico**

Existen ciertos criterios para determinar la calidad de una película:

**a. El espesor de la película:** Para cobertura de invernaderos el espesor mínimo debe ser de 120 – 150 micrones (0.12 – 0.15mm). Cuanto mayor es su espesor, mayor su resistencia y duración. Sin embargo, si la película es de una buena calidad no es necesario utilizar un espesor mayor a los 150 micrones.

**b. La resistencia física (mecánica):** Se mide en laboratorios. Existen estándares internacionales que definen esta propiedad. Según el estándar americano/israelí es: 250gr/ 0.15mm. (La resistencia depende del espesor del plástico). La película debe ser a la vez elástica y resistente al corte. La elasticidad de la película se mide a través de su capacidad de responder a la tensión. Una película nueva tiene que poder extenderse 5 - 7 veces de su largo original.

**c. La calidad óptica:** Determina el nivel de la transparencia (T) de la película. En una película de buena calidad, la cantidad de la radiación visible transmitida debe ser por lo menos 85% de la radiación total que llega a la película.

$$T = I / I_0$$

$$T = 85\%$$

I = Radiación transmitida

I<sub>0</sub> = Radiación total

**d. La resistencia foto-química:** Determina la resistencia de la película a la descomposición por la radiación ultravioleta. Esta propiedad depende de la concentración del agregado UV en la película y de su pureza. La resistencia foto-química determina la vida útil de la película y su calidad agrotécnica. La concentración del producto UV se mide en laboratorios mediante análisis químicos y fotométricos.

La resistencia UV de la película depende también de su espesor y de su pureza. En el proceso de producción la película puede contaminarse con diferentes materiales ó con burbujas de aire. En estos puntos "sucios" es donde comienza la oxidación y la descomposición de la película, estimulada por la energía de la radiación UV.

### **D. Mantenimiento del plástico**

Con el objetivo de alargar la vida útil del plástico (ya colocado éste encima del invernadero) y aprovechar mejor sus cualidades agrotécnicas, hay que seguir ciertas reglas y principios de mantenimiento:

1. Colocación correcta de la película: La película debe ser colocada del lado correcto. La parte del "Anti-polvo" (si es que hay) para arriba (afuera) y el "Anti-goteo" para abajo (adentro).
2. Ajuste de la película: Si se esperan vientos fuertes, debe ajustarse el plástico con cintas gruesas de lona colocadas por encima del mismo en forma diagonal.
3. Blanqueado (Pintura agrícola especial) Deben pintarse de blanco todas las barras metálicas de la estructura que tienen contacto con el plástico, ya que con el calor del sol éstas se calientan y funden el polietileno.

Además, deben revestirse los extremos de las barras y tablas con alguna tela o con trozos de plástico para evitar el rasgado de la película.

4. Lavado de los techos: Los techos deben lavarse de vez en cuando a fin de extraer el polvo acumulado. Esta capa de polvo reduce la penetración de la luz y el potencial productivo del cultivo. (Con plásticos regulares y en zonas polvorientas – una vez al mes, usando plástico anti-polvo, cada tres meses).
5. Uso de productos para fumigación a base de azufre: Los productos a base de azufre afectan negativamente al polietileno y causan su rápida destrucción. Las películas del tipo UV son más resistentes.
6. Reemplazo de la película: Cada tipo de polietileno tiene una determinada vida útil, la cuál depende de su calidad, de su espesor, de las condiciones climáticas regionales y del manejo agrotécnico en el invernadero. El uso frecuente de productos químicos volátiles, especialmente aquellos a base de azufre, causan una rápida destrucción del polietileno. Después uno o dos años la película comienza a perder sus características, su transparencia disminuye, su estabilidad UV se reduce, y así también sus otras cualidades. En tal caso, la película ya no sirve desde el punto de vista agrotécnico, el cultivo comienza a sufrir y es el momento adecuado para reemplazarla.

# El control climático del invernadero

## A. Aireación y ventilación

Algunos de los problemas más graves que se presentan dentro de los invernaderos son la acumulación de calor y de humedad. La aireación es la actividad agrotécnica más importante en cualquier tipo de invernadero. La alta humedad relativa es, sin lugar a dudas, el factor principal que favorece la aparición de enfermedades del follaje y de frutas.

La aireación del invernadero no tiene como meta bajar la temperatura, sino únicamente bajar la humedad dentro del invernadero. Las horas más importantes para esta actividad son las horas de la mañana cuando sale el sol y comienza la evapotranspiración. En estas horas, el aire está todavía frío y su humedad relativa puede llegar al 100%! En áreas templadas donde hay gran diferencia entre las temperaturas de la noche y del día, la humedad en el invernadero es muy alta también en la noche. Esta tendencia ocurre especialmente en invernaderos calefaccionados. En tales condiciones, es necesario ventilar también en la noche. Muchas veces, existe cierto "antagonismo" entre la necesidad de aireación y la de calefacción. Sin embargo, hay que airear aún si se pierden algunos grados de temperatura.

El daño por alta humedad puede ser más grave, y en cambio, los grados "perdidos" de la temperatura se recuperan rápidamente.

### Métodos de aireación

1. La ubicación del invernadero: Mediante una buena ubicación, se puede conseguir también una buena aireación del invernadero y a menudo ahorrar la necesidad de invertir en aireación artificial. Para este propósito, siempre es importante ubicar el invernadero en un lugar alto, libre de obstáculos y expuesto a la aireación natural.
2. La altura del invernadero: Como hemos mencionado en el capítulo sobre construcción, una mayor altura permita una mejor aireación y al mismo tiempo también temperaturas más bajas durante el día.
3. La longitud del invernadero: Como ya lo hemos mencionado, la longitud máxima del invernadero no debe superar los 32 metros asegurando de esta manera una buena aireación.
4. Instalación de cortinas: En cualquier tipo de invernadero deben incluirse cortinas o aperturas fijas, si es que no hay problema de bajas temperaturas durante la noche.

Las cortinas pueden abrirse permitiendo la aireación cuando es necesario. Es la forma principal de aireación en invernaderos, y por eso las cortinas (ventanas, en caso que no haya una cortina adicional de plástico) tienen que ser altas. Se abren en los cuatro lados de la construcción y comienzan desde una altura de 80 - 100cm por encima del suelo. La altura propia de la ventana es por lo menos 1.5 m, preferiblemente, 2 metros.

5. Aperturas del techo: En zonas cálidas y tropicales son recomendables las construcciones que tienen aberturas (ventanas) también en el techo. De estas aberturas verticales, de 0.5 – 1m de altura, sale el mayor volumen del aire caliente del invernadero siendo que el aire caliente siempre sube. Además, a nivel de la abertura, el movimiento del viento fuera del invernadero produce un efecto venturi que aspira el aire cálido hacia afuera de la construcción,

En muchas ocasiones, es suficiente hacer uso de los métodos arriba mencionados no siendo necesaria una mayor inversión en un sistema mecánico de aireación.

### **Ventilación**

Si la aireación natural no es suficiente, hay que aumentar el volumen de aire en movimiento a través del uso de ventiladores. Para obtener un reemplazo eficiente del aire cálido y húmedo, por aire fresco y más seco, la velocidad mínima de entrada del aire debe ser de 1.6 m/s. (Se refiere al aire que entra por el lado opuesto al de los ventiladores).

El volumen de aire que hay que cambiar para mantener una diferencia máxima de 3° C entre la temperatura de afuera y la del interior del invernadero, es de 160 m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup> por hora.

Esto se logra mediante el uso de ventiladores industriales de 48" de diámetro debiendo colocarse como mínimo un ventilador por cada 250 m<sup>2</sup>. Los ventiladores se instalan en la pared del invernadero siguiendo la dirección del viento natural. La función de los ventiladores es únicamente extraer aire del invernadero y nunca empujar aire para adentro. Por eso se llaman: "extractores de aire". Es importante mencionar, que estos extractores tampoco pueden extraer el aire de una construcción cuya longitud es mayor de 32 m. Debe recordarse que construcciones con ventiladores no deben superar la longitud de 32m.

Para ahorrar energía eléctrica es posible operar los ventiladores de manera escalonada, es decir según la temperatura y la humedad.

Por ejemplo: Con 28°C y 85% de humedad funciona un ventilador por cada 500 m<sup>2</sup>, con 31°C - y 95% de humedad funcionan los dos (uno por cada 250 m<sup>2</sup>). En invernadero controlado por computación, el computador puede operar los ventiladores automáticamente.

Otro aspecto importante relacionado a la aireación del invernadero, especialmente en zonas frías donde las construcciones están cerradas herméticamente, es el suministro de CO<sub>2</sub> al cultivo. La concentración de este elemento, esencial para el proceso de la fotosíntesis en las plantas, desciende rápidamente en invernaderos cerrados.

En relación a la operación de los ventiladores, es importante mencionar que, mientras éstos están funcionando, deben cerrarse las cortinas dejando una sola pequeña apertura de 25 cm.

En caso contrario, los ventiladores atraen el aire únicamente del lugar más cercano a su ubicación y no se consigue la aireación de todo el invernadero. Si

hay aperturas en el techo, éstas también deben cerrarse (con cortinas de plástico) al tiempo que los ventiladores están en funcionamiento.

Considerando el aspecto fitosanitario del cultivo, debe colocarse en la pared externa (donde está ubicado el ventilador) una cortina de malla mosquitera a fin de evitar la entrada de insectos pequeños vía esta apertura cuando el ventilador no está funcionando.

Esta malla juega cierto papel de resistencia a la corriente de aire. Una solución técnica es instalar junto con el ventilador una cortina de plástico, que automáticamente se abre cuando el ventilador está funcionando y se cierra en cuanto termina su operación.

### **Ventilación interna:**

Se pueden instalar también ventiladores secundarios dentro del invernadero, colocados a la altura de las columnas (a una altura aprox. de 3 m por encima del suelo). Estos ventiladores, que son más pequeños (36 “), ayudan a empujar el aire a lo largo de la construcción bajando la humedad y secando el agua acumulado sobre las plantas. (Según la ley física, a una dada humedad relativa, el aire será más seco si está en movimiento). Estos ventiladores secundarios no son suficientes para airear el invernadero, pero son buenos como adicionales a los extractores principales. Tienen también otra función que es la distribución de los productos químicos vaporizados (método de vaporización) en el espacio del invernadero.

## **B. Enfriamiento**

La función de los ventiladores en el invernadero es, principalmente, bajar la humedad. En cambio, no son eficientes para bajar la temperatura del invernadero, especialmente cuando la temperatura afuera también es alta. En zonas secas y cálidas, y en cultivos sensibles a alta temperatura, hay que refrescar el espacio del invernadero con técnicas adicionales. Existen varios métodos para este propósito y a continuación vamos a describir desde los más sencillos hasta los más sofisticados.

1. Sombreado: En cultivos que no son muy exigentes al suministro de luz o que en una etapa de su desarrollo permiten menor iluminación (Por ejemplo - pimiento - en su etapa de la maduración), se puede sombrear la construcción con un zarán negro (De 30 – 40% de sombra), colocado encima del plástico, o usar la cortina térmica del techo con el mismo objetivo. Esta cortina, hecha de un zarán combinado de polietileno y aluminio, se coloca dentro del invernadero a la altura de las columnas (4m) evitando además la pérdida de calor durante la noche.

Una razón adicional para sombrear cultivos es reducir la intensidad de la radiación solar con el propósito de evitar las quemaduras del sol sobre los frutos. Otra manera de sombrear el cultivo y bajar la temperatura es: pintar los techos plásticos de los invernaderos con una pintura blanca agrícola, produciendo alrededor de 25% de sombra. La pintura tiene que ser adecuada para polietileno, por ejemplo, el “Yalbín” (un producto israelí).

En países tropicales, donde la nubosidad es común y la radiación solar es baja no es muy recomendable usar este método de sombreado pues se reduce aún más el suministro de la luz a los cultivos.

2. Nebulización: Una manera más eficiente para bajar temperaturas es el uso de nebulizadores. Estos microaspersores finos producen por sobre el follaje del cultivo una nube de gotas muy finas que se evaporan en el aire antes de llegar a mojar las plantas. Mientras se evaporan, absorben energía disminuyendo la temperatura en el invernadero. De esta manera, no hay ningún peligro para el cultivo y el aire se refrigera bastante.

Los nebulizadores se colocan a una altura de 4m y a 1m por encima del follaje del cultivo. Es suficiente una hilera de nebulizadores por cada 3 camas de cultivo, 2 hileras por galpón. Los nebulizadores funcionan de manera intercalada, según la temperatura del invernadero. Por ejemplo: 30 segundos cada 15 minutos. Se puede conectar el sistema a un controlador de riego, a la computadora del invernadero, o a un simple timer de tipo "Galcón" (producto israelí).

3. Colchón húmedo: Este sistema consta de un colchón grueso de cartón (15cm de grosor y 1.5m de altura) colocado sobre todo el ancho de la pared del invernadero, aquella que está frente a los ventiladores. El colchón se moja permanentemente con agua, la cuál gotea desde un tubo colocado por encima. Los ventiladores son una parte esencial del sistema. Mientras los ventiladores funcionan, éstos fuerzan el ingreso de aire desde el otro lado de la construcción. Este aire pasa a través del colchón húmedo e ingresa al invernadero mucho más frío. El colchón entonces actúa como un radiador. Este sistema es el más eficaz pero también el más caro. Requiere suministro permanente de agua de buena calidad. Se justifica en cultivos especiales y de alto valor. En aquellos invernaderos donde se instala un colchón húmedo, no se construyen aperturas en el techo pues estos dos métodos no funcionan paralelamente. En cuanto funciona el colchón (y los ventiladores), todas las aperturas (cortinas) del invernadero deben estar cerradas. El colchón húmedo es un sistema muy adecuado para zonas áridas y secas no así para zonas tropicales, porque en vez de extraer la humedad la acrecienta.

## **C. Calefacción**

En zonas frías o en áreas donde parte del año o parte del día las temperaturas son bajas, deben usarse diferentes medios para mantener y aumentar el calor dentro del invernadero. Es esta la razón principal (la necesidad de aumentar temperatura) y la más común por la cuál se construyen invernaderos en el mundo. Muchos cultivos son exigentes a ciertos valores de temperatura para su crecimiento, cuaje y producción. Por ejemplo: las solanáceas (pimiento, tomate, berenjena) y las cucurbitáceas (melón, pepino, zapallo). Temperaturas menores afectarían el cultivo. Según la necesidad del cultivo y las condiciones climáticas de la región debe escogerse el método más adecuado de calefacción.

En muchas ocasiones, un diseño racional de la construcción y la selección correcta de los materiales, es suficiente para aprovechar el calor natural del invernadero, sin necesidad de tener que instalar aparatos adicionales.

En otras ocasiones, cuando la diferencia entre la temperatura externa y la que requiere el cultivo es más grande, hay necesidad de aumentar la temperatura con medios adicionales de calefacción. También en este caso, un diseño adecuado y uso apropiado de materiales pueden ahorrar mucha energía y evitar gastos exagerados. Vamos a describir primero los medios que favorecen el aprovechamiento del calor natural acumulado.

#### **a. Aprovechamiento del calor natural**

1. La construcción: En zonas frías, y donde es necesario mantener el calor en el invernadero, la construcción tiene que ser cerrada herméticamente en todas las aperturas, incluso las del techo (Si existen). En estas aperturas se usan cortinas, que pueden abrirse en el día y cerrarse en la noche. Generalmente hay que cerrar las cortinas en la tarde, algo como dos horas antes que cae el sol. Esta modalidad permita mantener el calor (energía) del día para la noche. En días fríos, se pueden dejar las cortinas cerradas todo el tiempo, pero hay que cuidarse de la humedad. En la mañana, si se espera un día soleado, es mejor abrir las cortinas temprano, de tal manera de favorecer la aireación y la penetración de CO<sub>2</sub> al invernadero.

2. La altura del invernadero: En invernaderos que son más altos, no solamente la aireación es mejor, pero también, como ya hemos mencionado, el microclima general es más templado es decir: menos caluroso durante el día y a la vez menos frío por la noche. La explicación es, que si existe un volumen más grande de aire captado adentro del invernadero, este cuerpo de aire necesita más tiempo para calentarse (durante el día), pero también se enfría más lentamente durante la noche. Teniendo en cuenta el mismo concepto, en un invernadero alto, no hay que invertir más energía para la calefacción pues, la  $\Delta T$  (La diferencia entre la temperatura que existe adentro de la construcción y la que requiere el cultivo) es menor.

En noches de heladas, generalmente noches despejadas, en las cuales se presenta el fenómeno de inversión térmica, si no hay calefacción, la temperatura dentro de la construcción (especialmente en construcciones pequeñas y bajas) puede ser menor que la exterior, por la falta de movimiento de aire dentro del invernadero. Si la construcción está ubicada en un lugar bajo, el cultivo está destinado a ser más afectado por las heladas. (Aire frío se acumula en sitios bajos). Esta es otra razón para construir invernaderos de mayor altura y ubicados en sitios más altos.

3. Tipo de plástico de cobertura: En zonas frías, donde es importante mantener calor en la noche, hay que usar únicamente plástico del tipo IR. Como ya hemos mencionado, este plástico tiene la capacidad de bloquear la radiación infrarroja (calor) y evitar su escape del invernadero. También en invernaderos calefaccionados, se ahorrará energía si se usa plástico del tipo **IR**.

4. Las mangas de polietileno: Este sencillo y económico método se compone de mangas de polietileno transparente, llenas con agua y cerradas en sus extremos. El diámetro de las mangas es de 40cm, y estas están distribuidas en toda el área del invernadero a lo largo de las hileras del cultivo. Se distribuye

aproximadamente una manga por cada 4 camas. El principio es el siguiente: El agua en las mangas absorbe calor durante el día, el cuál se libera de regreso durante la noche, elevando así la temperatura del invernadero. Al día siguiente, el agua en las mangas comienza nuevamente a absorber calor bajando la temperatura dentro de la construcción. El principio es como de un "radiador-contenedor de energía". El plástico de las mangas debe ser transparente pues el calentamiento principal del agua durante el día es por la radiación solar.

5. La cortina térmica: Es un zarán combinado de aluminio y de polietileno negro, ubicado en el techo del invernadero, a la altura de las columnas (4 m), que se abre (se enrolla) durante el día y se cierra (se extiende) en la noche. Este zarán tiene la cualidad de reflejar la radiación de calor (IR) y ello permite mantener la temperatura dentro del invernadero. Se lo recomienda para zonas frías donde hay que buscar soluciones adicionales para elevar la temperatura por la noche. También es recomendable donde se usa calefacción, porque ayuda a ahorrar costos de energía. Esta cortina se cierra en la tarde junto con las otras cortinas, cuando ya no hay más radiación solar efectiva. En zonas de cuatro estaciones se usa un tipo de zarán que produce un máximo de 40% de sombra, que puede servir también para sombrear los cultivos durante el verano.

#### **b. Calefacción artificial**

El cálculo de la cantidad de energía necesaria para calefaccionar un invernadero, se basa en la **temperatura mínima promedio**, de la temporada más fría del año y no en la mínima absoluta de la región.

La diferencia entre la temperatura que existe en cierto momento adentro del invernadero y la que requiere el cultivo, es la  $\Delta T$  determinada.

*\* Para elevar la temperatura del invernadero en un  $\Delta T$  de **8°C**, por un volumen de aire de **5000 m<sup>3</sup>**, (1000 m<sup>2</sup> de area), es necesario suministrar una cantidad de energía de **100.000 Kcal/hora**.*

Los calefactores son en general de tamaño y capacidad de 120.000Kcal/hora o de 180.000 Kcal/hora, y de acuerdo a su tamaño pueden responder a una  $\Delta T$  de 10°C o de 16°C. Esta es su máxima capacidad. Si en cierto momento la  $\Delta T$  es menor, el calefactor funciona de manera alternada.

Existen dos métodos principales de calefacción:

1. Por aire caliente
2. Por agua caliente

En el primero, un calentador grande quema combustible (Diesel, mazút o gas), y un barquín grande empuja el aire caliente dentro de una red de mangas perforadas de polietileno que pasan entre las hileras del cultivo. Las mangas laterales son de diámetro de 25cm y la perforación (salidas del aire) es menos frecuente en el lado cercano al calentador.

En el segundo sistema, la estufa caliente trasvasa agua caliente vía un sistema de mangueras metálicas o de plástico. Los dos métodos son eficientes. Por el método del agua caliente, existen también sistemas más pequeños que son adecuadas para invernaderos pequeños como también para la calefacción de mesadas para la producción de plántulas. (Ver Foto N° 2)



Foto N° 2

# La agrotécnica del cultivo en invernadero

## A. Preparación del suelo

El suelo es el medio donde se desarrollan y crecen las plantas y es el “capital” más importante del agricultor,. En un suelo que está en mala condición, el potencial productivo es bajo, aún si el cultivo está bajo cobertura y es de la mejor variedad. Un suelo arable, tiene que ser profundo, de una buena estructura y fértil. Tiene que ser también sano, libre de enfermedades, plagas y malas hierbas. Todas estas condiciones son alcanzables si se realiza **una adecuada preparación del suelo.**

### Preparación mecánica

Debe realizarse a una profundidad mínima de 35cm lo cuál se consigue primero con el paso de un subsolador (Ruter). Este implemento abre y afloja el suelo a una profundidad de 60 – 70cm y permite una segunda pasada con un arado, que penetra hasta 30 – 35 cm.

En invernaderos es recomendable usar el “arado de pala”, que puede acercarse hasta las columnas, ya que su modo de trabajo es vertical.

Después de estas dos actividades hay que abrir surcos para marcar las camas. El ancho conveniente para la mayoría de los cultivos hortícolas es de 1.6 – 1.8 m (de surco a surco). En esta fase se puede también fertilizar con abonos químicos y orgánicos, regar para mojar el suelo y realizar el último paso de la preparación de la cama con un rotovator (Rotatil). ¡Debe tenerse en cuenta que no hay “camino cortos” cuando se trata de la preparación del suelo!

## B. La desinfección del suelo y de la construcción

Por el alto valor del cultivo en invernadero debe asegurarse un ambiente libre de enfermedades y plagas, entre ello, el suelo - y todos los otros medios de la producción. Es conveniente mencionar aquí que, de acuerdo al concepto del “Manejo Integral de Plagas”, siempre es recomendable, si es posible, mantener una rotación de cultivos, también en invernaderos. Este manejo permite menor establecimiento de enfermedades en el suelo, y menor necesidad de usar productos químicos para la desinfección. La profunda preparación del suelo y la alta fertilización con abonos orgánicos, también ayudan a reforzar el combate fitosanitario.

La actividad más importante antes de iniciar la desinfección (y la preparación) del suelo, es la eliminación de todo el rastrojo del cultivo anterior, fuera del invernadero. Esta es la clave, y la base del control integral de plagas en invernaderos. Este residuo siempre contiene esporas de hongos y bacterias, virus y nemátodos. Por eso, no es recomendable incorporarlo en el suelo. Además, los rastrojos molestan al movimiento eficiente en el suelo de los productos utilizados para la desinfección.

## La desinfección solar

Entre los métodos no químicos, es éste uno de los más eficientes.

En países de alta iluminación solar con una marcada estación de verano, es recomendable realizar una “canícula” (intervalo de descansos) entre los cultivos, para la realización de la desinfección térmica - solar del suelo y de la construcción.

### **El manejo:**

- Una vez finalizada la preparación del suelo y la colocación del sistema de goteo se cubre toda el área del invernadero con una cobertura de polietileno transparente (“mulch”), se cierran herméticamente todas las aperturas, y se deja el invernadero cerrado por lo menos durante un mes. La temperatura en el espacio de toda la construcción aumenta pudiendo llegar durante el día hasta 50°C. La temperatura del suelo puede ascender hasta 60°C.
- La cantidad de la temperatura acumulada necesaria para completar una desinfección del suelo efectiva es de: **11.550 °C**. Esta cantidad se consigue en cuanto tenemos por ejemplo: 55°C (promedio) x 7 horas/día x 30 días.
- Es importante la desinfección de toda la construcción (y no solo del suelo), porque las esporas de los hongos, las bacterias, y principalmente los virus (TMV) se hallan sobre todos los elementos que forman parte del invernadero: columnas, vigas metálicas, los hilos del tutorado, etc.

## La desinfección con vapor

Es otra alternativa no química. Generalmente se realiza por una compañía profesional, que es especializada en este tipo de tratamiento. Se requiere de un equipo especial, que tiene la capacidad de inyectar al suelo un gran volumen de vapor de agua.

## La desinfección con productos biológicos

Existen diferentes productos biológicos que sirven para este propósito, siendo la mayoría de ellos a base de hongos. Su eficiencia es parcial y funcionan mejor cuando vienen dentro de un paquete general de control integral de plagas. Entre los productos más comunes se puede mencionar la **Trichoderma**, como un hongo benéfico, antagónico para los hongos patógenos del suelo.

## La desinfección química

Cuando todos los otros medios (no químicos) no funcionan y la población de patógenos y nemátodos se establece en el suelo, no hay otra solución si no aplicar una desinfección química. Esta situación ocurre a menudo en invernaderos, donde la producción es intensiva y sucesiva y no existe “el lujo” de mantener una efectiva rotación de cultivos.

El producto más eficaz que existe hasta el momento para la desinfección química, es el **Bromuro de Metilo**. Es un desinfectante general que controla la mayoría de los patógenos e insectos del suelo.

Existen también otros productos, que son menos generales, y que pueden combatir – cada uno de a su manera específica – otro tipo de plaga o de enfermedad.

Para conseguir un buen control es importante: primero y principal identificar bien el causante directo del problema. Además, hay que mantener ciertas reglas que son esenciales para obtener una buena desinfección del suelo. Estas reglas son correctas para cualquier tipo de producto aplicado, químicos y no químicos.

### **Instrucciones para la desinfección del suelo**

1. El suelo tiene que estar bien preparado y desmenuzado, para asegurar la buena penetración de los productos a una profundidad mínima de 25 cm.
2. El suelo debe tener cierta humedad en el momento de la aplicación del desinfectante, alrededor de 50% de capacidad de campo, para asegurar que los productos aplicados no se volatilicen antes de terminar su función desinfectante. La humedad facilita el movimiento y la dilución de los productos en el suelo, y despierta a los patógenos, para obtener su mejor control.
3. Es recomendable cubrir toda la superficie (y no solo las camas) con un "mulch" (cobertura de plástico) para un mejor funcionamiento de los productos. El plástico bloquea su rápida volatilización. Existe hoy en el mercado un nuevo tipo de polietileno, una innovación israelí de la Cía. Ginegar, el cuál tiene la capacidad de bloquear totalmente la pérdida de los productos por volatilización. El nombre comercial de este plástico es "**Ózgard**", y dada su eficiencia, permite reducir hasta 50% la dosis de los productos aplicados. Este factor tiene importancia tanto desde el punto de vista económico como también ecológico.
4. La aplicación de los productos químicos debe ser realizada con bastante tiempo de anticipación, por lo menos tres semanas antes del trasplante del cultivo. De lo contrario hay un severo peligro de intoxicación de las plantas.
5. Pasadas 48 – 72 horas desde la aplicación, se quita el plástico de las camas para airear el campo y se riega con unos **30 m<sup>3</sup>** de agua por **dunam** (1000 m<sup>2</sup>) para lavar los residuos del producto que aún permanecen en el suelo. En caso que el plástico quede como un "mulch" durante el cultivo, es éste el momento para abrir los hoyos para el trasplante, por lo menos con 5 días de anticipación.

### **Productos más comunes utilizados para la desinfección del suelo**

- **Bromuro de Metilo** – Producto de muy alta toxicidad. Controla hongos (*Fusarium*, *Verticillium*, *Phyitium*), nematodos diferentes y algunas de las bacterias y virus. También controla semillas de malezas. La dosis necesaria es de 50 – 100kg por dunam, dependiendo de la severidad de la plaga. Una vez que aparece la plaga o la enfermedad en el campo hay que realizar la desinfectación una vez al año. El producto es un gas a temperatura ambiente y se comercializa en garrafas de 50 – 100kg . Debe aplicarse caliente existiendo un equipo especial para este propósito.
- **Adigan (Metam sodium)** – Es una fungicida nematocida. El producto es un líquido y se aplica vía el sistema del riego, mejor por aspersion. La dosis: 75 kg por dunam.
- **Formalina (Formaldehido)** – Siendo un bactericida de muy alta toxicidad está prohibida su aplicación independiente. Sólo puede aplicarlo una compañía experta. Es el producto más eficiente para controlar bacterias y la dosis

necesaria es de 500 litros por dunam . Se aplica vía el sistema del riego, mejor por microaspersores, que mojan no solamente el suelo, si no todo el espacio del invernadero incluso las columnas, las paredes, el plástico, las herramientas, etc.

- **Cóndor (91.7 % Dicloropropene)** Es una nematocida – insecticida, la fórmula del **Telon** para invernaderos. Se aplica vía el sistema de goteo. La dosis es de 15 litros por dunam. Hay que regar en abundancia después de la aplicación para asegurar su penetración en el suelo.
- **Telodrip (Dichloropropene 61 % + Cloropicrin 34.7 %)** – Insecticida – nematocida - funguicida de alta eficiencia. Es un buen candidato para reemplazar al bromuro de metilo. Se aplica vía el sistema de goteo, con un equipo especial que contiene un balón de gas de nitrógeno que inyecta el producto al sistema. La dosis es de 40kg por dunam. Después de la aplicación hay que regar en abundancia para asegurar su penetración en el suelo.
- **Bazamid (Dazomet)** – Un desinfectante general, de alta toxicidad y de una amplia gama de control, parecida a la del bromuro de metilo. La dosis es de 40kg por dunam. La única limitación del producto es su precio y por eso su utilización es común en áreas pequeñas.
- **Nemacor** – Una nematocida, se puede aplicarla también con el cultivo.
- **Furadan** – Insecticida – nematocida.
- **Diazinon (Bazodin, Dizictol)** – Insecticida, se aplica también con el cultivo.

\* Los productos que son sólidos, se incorporan al suelo con el rotovator o con azadón y se manipulan vía un riego abundante de por lo menos 20 m<sup>3</sup> por dunam.

Para parcelas pequeñas (semilleros por ejemplo), se pueden aplicar unos 25g de Bazamid, Ridomil, Benlate, Previcor o Rizolex por cada m<sup>2</sup> para el control de los hongos del tipo "Dumping Off".

### **C. La fertilización orgánica**

Ya hemos mencionado en parte, en los capítulos anteriores, sus ventajas dentro del " manejo integral", Las ventajas más significativas son:

- el mejoramiento de la estructura y la composición nutritiva del suelo,
- la elevación en la población de la microfauna positiva, que juega un papel de competencia reemplazando la población de los patógenos en el suelo,
- el mejoramiento de la retención de agua del suelo

La cantidad de la materia orgánica que se aplica depende del análisis del suelo y de la calidad de la materia, pero en general no se aplica menos de 5 TM por dunam. Si el manejo de la fertilización del cultivo es únicamente orgánico, por supuesto que las cantidades deben ser más grandes, hasta 15 TM / dunam.

Los productos más recomendables son: compost de alta calidad (totalmente descompuesto), guano o humus de lombriz de buena calidad. Existen hoy en día diferentes productos artificiales (granulados), a base de estiércol de ganado o de gallinaza, que son mucho más finos y concentrados y

son buen complemento de los productos gruesos. Estos se aplican en menores cantidades.

En invernaderos no es recomendable usar estiércol fresco o cualquier materia orgánica que no está totalmente descompuesta, pues pueden ser portadores de enfermedades como también de semillas de malezas y otros patógenos del suelo. Además, materia orgánica que no está descompuesta, aprovecha en su proceso de descomposición los elementos nutritivos que son necesarios para las plantas.

En caso de haberse llevado a cabo una desinfección del suelo con bromuro de metilo sólo es posible incorporar el fertilizante orgánico después de la desinfección, si se asegura su pureza y limpieza. En caso contrario, debe aplicarse el abono antes de realizarse la desinfección.

#### **D. La cobertura plástica de las camas**

Uno de los manejos agrotécnicos en el cultivo bajo invernaderos es el uso de la cobertura plástica de las camas (mulch). La película plástica cubre en general la superficie de la cama, en un ancho de 70 – 80 cm.

Los propósitos de este manejo son:

- Evitar la germinación de las malezas usando un polietileno negro o de color café)
- Mantener la humedad y la temperatura en el ambiente radicular.

Todos los tipos de polietileno son adecuados, pero para zonas frías mejor es el tipo IR).

- Mejorar la función de los desinfectantes del suelo (Película del tipo Ozgard).
- Evitar el contacto entre el follaje y los frutos de las plantas con el suelo húmedo, evitando el desarrollo de las enfermedades fúngicas tipo *Sclerotinia* y *Botritis*.

• Repeler a los insectos chupadores transmisores de virus, tipo la mosca blanca, los áfidos, etc. Este objetivo se consigue por el uso del plástico blanco o plateado. Hay posibilidad de combinar en las películas dos colores (doble – capa) por ejemplo: negro o café de abajo y blanco o plateado, arriba.

El color blanco, el amarillo o el plateado tienen también la calidad de reflejar la radiación solar que incide sobre la película elevando así su aprovechamiento en favor del proceso de fotosíntesis. Esta última característica es muy importante especialmente en países donde la radiación solar es escasa.

- Desinfección solar del suelo: Se consigue por el uso de plástico transparente. Para este objetivo es suficiente el plástico de menor grosor, de 40 – 60 micrones pero si el plástico quedará también como “mulch” para el cultivo, debe escogerse un grosor de 70 – 80 micrones.

## **E. Sustratos desconectados**

En situaciones en las que el suelo presenta condiciones inadecuadas para ser cultivado, por estar muy contaminado con enfermedades o por su mala estructura física, se justifica considerar la opción de incorporar un sustrato artificial. Hay que recordar, que el manejo de la fertigación en un sustrato desconectado es significativamente más complicado que en el suelo directo.

En ciertas ocasiones y donde es económico, vale la pena considerar el reemplazo del suelo original por un suelo mejorado, en vez de un sustrato desconectado. Esta posibilidad es real por ejemplo, en zonas donde se encuentra una fuente cercana de arena o de suelo franco-arenoso. En tal caso, se quita una capa del suelo malo y se llena, todo el área del invernadero, con una capa de 80 - 100cm del suelo nuevo. Éste método es muy eficaz y fácil de manejar.

Si decidimos trabajar con un sustrato desconectado, tenemos que escoger bien el tipo del material del sustrato, revisar bien sus características físicas y químicas y el tipo de contenedor del sustrato.

En general hay dos tipos principales de contenedores:

- **Multiplantables (para muchas plantas):** que prácticamente son camas largas de polipropileno, policarbonato o de poliestireno, que pueden contener un gran número de plantas. Estas camas pueden ser también simplemente unas zanjas en el suelo, cubiertas en su fondo con un plástico grueso y rellenas con el sustrato. En general, las medidas de las camas tienen 30 – 50cm de ancho y una profundidad de 15 - 20 cm.

Las camas de poliestireno (material sólido) se construyen con contenedores de 15cm (altura)x 40cm (ancho) x 115cm (longitud). (Ver Foto N° 3)



Los contenedores de polipropileno (material flexible) son más largos en general, cada uno de 10 – 15m de longitud.

Es recomendable colocar los contenedores con un desnivel lateral, para asegurar un mejor drenaje. Ciertas compañías suministran los contenedores con un leve ángulo de desviación para ambos lados.

Foto N° 3

- **Bolsas o baldes (para una o dos plantas):** Son de volumen de 10 – 20 litros y cada uno contiene uno o dos plantas (si el volumen es mayor de 15 lt se pueden plantar dos plantas).

El manejo del cultivo en los recipientes separados es más complicado porque cada planta tiene, bruto, un espacio menor que lo que tiene en los recipientes multiplantables.

Si de repente un gotero en una bolsa se tapa o se cae, la planta de este recipiente queda sin ninguna fuente de agua o de nutrición.

En los recipientes pequeños existe un mayor peligro de aparición de las “manchas negras” de los frutos (*blossom-end rot*) en tomate y en pimiento, por un manejo inestable del riego y por falta de calcio.

El volumen de sustrato que se requiere por un dunam (1000m<sup>2</sup>) con recipientes pequeños es de 25 – 30m<sup>3</sup> de material. Si consideramos los contenedores grandes (multiplantables) se requieren 30 – 50m<sup>3</sup> por un dunam.

Un punto muy importante a tener en cuenta en cualquier sistema de sustratos es asegurara el buen drenaje del sistema. En condiciones de mal drenaje, en general por falta de una correcta planificación inicial del sistema, existe el riesgo que las aguas del riego se encharquen en el invernadero lo cuál puede provocar muchas enfermedades en el cultivo. Cuando se usan bolsas o baldes se perforan hoyos en la parte baja y alrededor del recipiente (¡pero no en el fondo!) con diámetro de 8 – 10mm. En recipientes grandes, éstos se perforan en la parte baja de los laterales o en el fondo de cada recipiente. Si el invernadero tiene una buena pendiente , se puede arreglar una sola salida al fin de cada recipiente, y conectar las mismas a un tubo de drenaje.

El drenaje a lo largo de las hileras se puede hacer en cuatro formas:

- 1) Drenaje por un canal que pasa por debajo de cada cama, cubierto su fondo con una película gruesa de polietileno y relleno con grava.
- 2) Drenaje a través de una zanja (también recubierta y rellena), que pasa por uno o dos lados de cada cama.
- 3) Drenaje a través de una manguera conectada a las salidas de agua de cada recipiente, que pasa a lado (o por debajo) de las camas.
- 4) Drenaje a través de un canal de polietileno grueso o policarbonato colocado encima del suelo (sin hacer zanja), y reforzado con estacas en sus ambos lados. La hilera de los contenedores del sustrato se coloca dentro de este canal de drenaje.

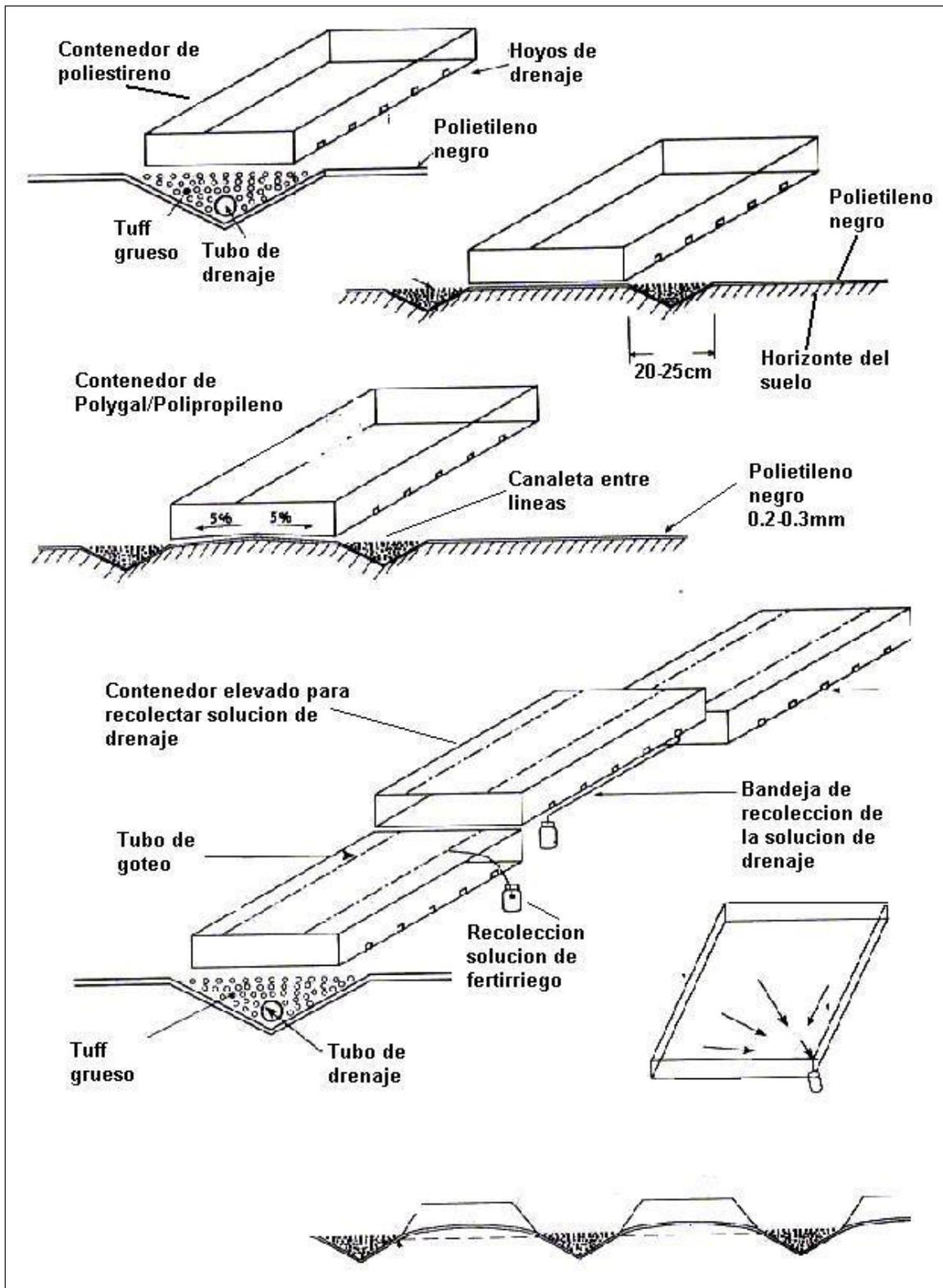
**Sea cuál fuere el método de drenaje utilizado, lo más importante a tener en cuenta en todos los métodos es que la pendiente debe ser uniforme a lo largo del invernadero.**

Es recomendable colocar también un tubo perforado en el fondo de cada zanja de drenaje, debajo de la grava y encima del plástico (Ver Dibujo N° 8).

Las zanjas de drenaje son necesarias siempre, independientemente del tipo de contenedor a usarse.

Si el material de los contenedores es negro, es recomendable pintarlos de blanco, para evitar el calentamiento del sustrato.

Alternativas para la planificación de un sistema de producción en sustratos



Dibujo N° 8

### a. Los sustratos

La característica principal que se espera de un sustrato es:

- Que sea un material desmenuzado, con partículas de 8mm de diámetro como máximo.
- Que sea un material poroso (higroscópico), de alta capacidad de retención de agua y buena relación agua/aire en los poros.
- Que sea un material estable y descompuesto (si es orgánico), que no intervenga de manera drástica en los procesos bioquímicos en el ambiente radicular de la planta.
- Material que permita un buen drenaje, puro y libre de enfermedades y de semillas de malezas.
- Material liviano, fácil de manejar y económico.

### Características físicas de algunos sustratos (Avidan A.)

Tipo \ Propiedades	<u>Piedra volcánica</u>	<u>Fibra de coco</u>	<u>Lana de roca</u>	Perlita	Un sustrato óptimo*
Contenido de aire (%)	20 - 26	30 - 33	23	24	20 - 30
Porosidad (%)	55 - 65	85 - 93	80 - 85	85 - 90	80 - 90
Contenido de agua (%) disponible para la planta	12 - 15	20 - 24	55	21	20 - 30
Peso por volumen (kg / m <sup>3</sup> )	1200-1300	80 - 90	90 - 110	60 - 80	-----

\* Según Verdonck

### b. Tipos de sustratos (según su composición):

- **Minerales:** Rocas de diferentes orígenes. Por ejemplo: la pedra volcánica (Tuff) Es una piedra que generalmente ya se la encuentra desmenuzada. El diámetro recomendable es de 0 – 8mm. Su característica responde a todos los requisitos y por eso es el material más común entre los sustratos agrícolas. Por ser un mineral parcialmente inerte, y principalmente cuando se lo utiliza por primera vez, tiene la tendencia de absorber los elementos nutritivos, en especial el fósforo. Por eso es importante fertilizarlo en abundancia con ácido fosfórico antes de la primera siembra.

- **Inertes:** Pueden ser de origen mineral o de la industria plástica. Su característica es que son totalmente indiferentes a los procesos bioquímicos en la zona radicular. Por ejemplo: Perlita – Un mineral blanco de origen europeo, fino y de alta calidad agrícola. Vermiculita – Un mineral muy fino, de alta calidad agrícola. En general se usa en semilleros del tipo “Speedlings” (plántulas de bloque). Lana de Roca – Material artificial de origen mineral, usado muy comúnmente en recipientes de bajo volumen en Holanda.

- **Semi-orgánicos:** Son de origen orgánico, pero contienen alto porcentaje de fibra (lignina) y bajo contenido de nitrógeno. Se comportan como medio inertes y no suministran al medio ningún valor nutritivo significativo. Sirven principalmente como soporte para la planta. Por ejemplo: La fibra de coco – Tiene que estar bien molida y descompuesta para asegurar que el pan de tierra sea apto para el trasplante.

- **Orgánicos:** Son materiales de alto contenido nutritivo, más que todo de nitrógeno. Juegan en el sustrato un papel importante de “buffer”, que puede balancear su equilibrio químico y retener alto volumen de agua. Tienen que estar totalmente descompuestos. Como ejemplo: Compost: Se produce de los residuos de diferentes plantas y viene mezclado con cierta cantidad de estiércol de ganado o de gallinaza, Humus de lombriz: Un material muy fino, el mejor entre los materiales orgánicos. Tiene que ser puro, y su proceso de producción tiene que ser completo. Turba orgánica (Peat) – Material orgánico originario de zonas frías y pantanosas, generalmente viene de Canadá y Finlandia.

#### **Mezclas:**

En general es recomendable obtener mezclas de distintos tipos de sustratos: 65 – 75 % del material inerte o mineral, con 25 – 35 % del material orgánico. Nunca se trabaja solo con material orgánico (pero sí con el medio-orgánico), por su alta concentración de nitrógeno y su alta acidez. No es recomendable incluir suelo (de ningún tipo) ni arena en la mezcla, porque causan compactación. Es posible trabajar sólo con el material inerte o el mineral, pero este manejo es mucho más complicado y requiere alta profesionalidad y mucha precisión en la ferti-irrigación.

## **F. Las variedades**

Para el cultivo en invernaderos se escogen por lo general variedades indeterminadas, es decir, variedades, que genéticamente tienen la característica de crecer con un sólo tallo principal y tipo de crecimiento ilimitado. El mejoramiento genético hoy en día ha desarrollado cultivares indeterminados para la mayoría de los cultivos vegetales, entre ellos el tomate, el pimiento, la berenjena y todas las cucurbitáceas. Por lo tanto, no se justifica más cultivar en invernadero un tipo de cultivo que es determinado (con crecimiento definido) si existe la alternativa de escoger para este cultivo un cultivar indeterminado.

Las ventajas de las variedades indeterminadas son:

1. Alta productividad por el tipo de crecimiento de las plantas. Permita una producción prolongada y aprovechamiento eficaz de todo el espacio del invernadero.
2. Alta calidad de los frutos, los cuales crecen suspendidos y no tocan el suelo.
3. Mejor adaptación al control fitosanitario ya que el cultivo presenta una menor densidad del follaje. Asegurando por la mejor aireación del cultivo.

Existen en el mercado diferentes cultivares, con diferentes cualidades. Cuando debemos escoger un cultivar, hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. ¿Qué tipo de fruto se requiere en el mercado?: Grande? De qué forma? De qué color?
2. ¿Qué resistencias climáticas y fitosanitarias se requieren?

De acuerdo a resistencias climáticas existen (en tomate por ejemplo) cultivares que son más resistentes frente a temperaturas y cuajan en temperaturas altas, otros sólo cuajan en las temperaturas óptimas.

En cuanto a resistencias fitosanitarias, para la mayoría de los cultivos existe hoy en día una serie básica de resistencias, entre ellas a las enfermedades del suelo tipo: *Fusarium* (F 1,2,) y *Verticillium* (V ). En caso de tomate y de pimiento, es muy importante exigir también la resistencia al virus TMV. Se puede exigir resistencia (si es necesario) a nematodos (N) y a diferentes enfermedades adicionales del suelo o del follaje como por ejemplo al oidio y al virus CMV en el caso de las cucurbitáceas.

De acuerdo a la calidad de los frutos, hay diferentes parámetros que determinan qué tipo de fruto es preferible. **En tomate** por ejemplo, hay frutos que son más grandes, otros de mejor color y sabor y otros que son más pequeños pero con cualidades específicas. **En pimientos**, hay frutos largos del tipo "lamuyo" y los hay cuadrados del tipo californiano. También hay rojos, dorados y otros que son más aptos para ser cosechados verde. Otra cualidad importante es la firmeza del fruto. Una mayor firmeza asegura una mejor vida postcosecha. Considerando la vida de estante existen en tomate, por ejemplo, muy buenas variedades (como *Daniela* y sus derivados), de origen israelí, que permiten hasta 35 días de vida postcosecha a temperatura ambiental.

En el pimiento, se puede mencionar el Tipo 1195 - una variedad indeterminada de tipo californiano y el "Macabi", del tipo lamuyo semi-determinado. En el caso del pimiento existen muy buenas variedades de origen holandés, de tipo cuadrado, grande, de diferentes colores y de alta calidad.

Una nueva cualidad de apariencia de los frutos de tomate en los mercados, es la forma de cosecha en racimos, la cuál es muy popular hoy en día y son productos con mayor acogida en los mercados exclusivos. No todos los cultivares son aptos para este tipo de cosecha, pues la planta tiene que presentar ciertas cualidades genéticas, como por ejemplo: uniformidad de tamaño y de maduración de los frutos a lo largo del racimo, y pedúnculos que permanezcan verdes también después de la cosecha. Un cultivar de tomate grande y especial para cosecha en racimos es el *Dominic*. En los tomates se puede mencionar también los frutos del tipo cereza (cherry), que generalmente son dirigidos a mercados de calidad, en los cuales se obtienen mejores precios que en los regulares.

**En melón**, la variedad más apta para cultivar en invernaderos de manera tutorada es el tipo *Galia*. Es una variedad de crecimiento moderado, de frutos de tamaño mediano, con un reticulado fino y muy buen sabor.

**En pepinos**, la cualidad más importante de las variedades que son para cultivar en invernaderos es la partenocarpia. Esta característica genética significa que más de 90 % de las flores que produce la planta son femeninas, es decir productivas. Su característica es su mayor productividad. Los frutos cuajan sin la necesidad de la polinización masculina. ¡Al contrario! Una intervención de insectos polinizadores, causa deformación en los frutos, porque la parte del fruto que contiene semilla se infla demasiado. La mayoría de estas variedades partenocárpicas son del tipo de fruto israelí (*Beit-alfa*), o del tipo holandés (largo). Sus frutos Los frutos que tienen mayor acogida en los mercados europeos son los que se cosechan en etapa prematura del desarrollo, cuando están frescas y crujientes, teniendo un diámetro de 2 – 3cm, antes de desarrollar su cáscara gruesa.

### **Híbridos**

Indudablemente, la mayoría de los cultivares que son adecuados para su cultivo en invernaderos son híbridos. Es difícil encontrar hoy en día variedades (no híbridas) que unan todos los requisitos mencionados para el cultivo.

Los híbridos, fuera de obtener las resistencias y las cualidades necesarias, tienen el valor agregado conocido como "Heterosis", que significa un mayor vigor y mayor rendimiento del cultivo. Para cultivos en invernaderos, la siembra de híbridos es otro componente del paquete agrotécnico completo.

## **G. La preparación de plántulas de bloque**

Por lo general, cultivos como tomate y pimiento, no se siembran directamente en el suelo, sino se preparan primero plántulas en semillero. Las plántulas tienen que ser vigorosas y de alta calidad, debido al alto valor (costo) de las semillas y del cultivo. Las plántulas tipo "Speedlings", o plántulas de bloque, (ver Foto N° 4), con un sistema radicular compacto, se preparan en bandejas especiales, y su método de preparación se describe a continuación.

**a. Las bandejas (macetas):** Son de tamaño adecuado para 100 – 200 plántulas, dependiendo del tamaño requerido para cada especie. El tamaño adecuado del hoyo (espacio ideal para el sistema radicular) para una plántula de tomate es de 1.5", y para pimiento es de 1.0". La forma más adecuada del bloque es la forma tipo pirámide siendo la altura es de 4 – 5cm. Cada espacio debe tener en su fondo un agujero para drenaje.

Las bandejas deben estar compuestas por dos partes: La parte rígida de poliestireno (blanco) y la parte flexible de polietileno (plástico negro).

No es recomendable sembrar directamente en el formato blanco, pues las raíces penetran en el material y se cortan en el momento del arranque. De esta manera se pierde toda la ventaja del método, ya que las raíces cortadas son más susceptibles al ataque de enfermedades en el campo. Además, la bandeja se destruye más rápidamente. La bandeja de plástico es lisa y por eso las plántulas en el arranque salen con su sistema radicular completa. Por su flexibilidad no es práctico de manejar, sino únicamente cuando está colocado adentro del formato (idéntico) rígido de poliestireno.

**b. El sustrato:** Tiene que ser fino, aireado, sano, libre de enfermedades y de semillas de malezas. Por eso, hay que escoger bien los materiales que sirven para preparar la mezcla, debiéndose escoger únicamente materiales de alta calidad. La mezcla se compone en general de 65 % – 75 % de material inerte, con 25 – 35 % de un material orgánico. Los materiales más aptos son: turba orgánica (peat) o humus de lombriz como materia orgánica y vermiculita o perlita como materia inerte. Como material inerte se puede usar también la cascarilla de arroz. Esta tiene que ser toastada! La cáscara de arroz natural tiene una característica adversa: es muy alcalina, absorbe los nutrientes y, en general, no es inerte en su comportamiento. La manera de quemarla es fácil, pero hay que cuidarse que no se convierta en ceniza. Es posible usar en la mezcla también un material semi orgánico, como por ejemplo la fibra de coco, fina y descompuesta. ¡No se usa ningún tipo de tierra ni de arena!

**c. La infraestructura:** Las plántulas deben estar protegidas de las lluvias, de las temperaturas extremas y de los insectos plagas. Por eso tiene que estar adentro del invernadero y éste cerrado herméticamente. Las bandejas se colocan encima de una mesada debiendo asegurar un espacio de aire por debajo de las bandejas.



Foto N° 4

En caso contrario, las raíces siguen creciendo por fuera de la bandeja. La mesada debe quedar a la altura de la cintura para facilitar tratamientos y manejo.

Las plántulas de hortalizas son muy exigentes al suministro de luz, por lo tanto tienen que ser cultivadas bajo una cobertura transparente, y de ninguna manera bajo un zarán negro que produce sombra.

**d. La agrotécnica:** Una actividad importante antes de iniciar la siembra es la desinfección de las bandejas (si no son nuevas). El tratamiento puede ser una inmersión en una solución de hipoclorito de sodio 1% durante 10 minutos, tratamiento con vapor, o cualquier otro producto desinfectante agrícola. Es importante lavar bien las bandejas después del tratamiento.

Las bandejas se llenan con la mezcla del sustrato en cuanto está medio mojado, y se compacta para llenar bien todos los hoyos y no dejar espacios. Los hoyos para la siembra se hacen con los dedos, o con un molde adecuado para el tamaño y el número de los hoyos de la bandeja. Existen máquinas sembradoras especiales para la siembra en grandes cantidades. La profundidad de los hoyos para la siembra tiene que ser uniforme y de acuerdo al tamaño de la semilla, entre 0.5cm (para semillas pequeñas) y 1cm (para semillas grandes).

Por la alta seguridad de germinación de las semillas mediante este manejo, se coloca, en general, una sola semilla por cada hoyo (nido), depende por supuesto del porcentaje de germinación de la semilla. Antes de una siembra grande, es recomendable hacer un ensayo de siembra para verificar porcentaje de germinación. Las semillas sembradas se tapan con vermiculita N°- 3 o con la misma mezcla.

**e. Incubación:** Después de la siembra se riegan las bandejas en abundancia y se ponen una encima de la otra dentro de una habitación de germinación en condiciones estables de temperatura (24°C) y de humedad (100%). En algunos cultivos se agrega iluminación diaria después de dos o tres días de la siembra. Cada pila se tapa con plástico negro o transparente para mantener la humedad del sustrato. Estas condiciones fijas aseguran una germinación rápida y uniforme. Después de 24 – 48hs (en cucurbitáceas) y 72 – 96hs (en solanáceas), se abre la pila y se colocan las bandejas encima de las mesadas dentro del invernadero. La duración del tiempo desde la siembra hasta la germinación depende de la temperatura, a mayor temperatura menor el tiempo. ¡Debe cuidarse que no se inicie el proceso de elongación de las hojas de la plántula antes que las bandejas hayan sido colocadas en el invernadero! No se aplica ningún riego al cultivo mientras las bandejas se hallan la etapa de incubación (para no quebrar la estabilidad de temperaturas).

**e. El riego:** Apenas se colocan las bandejas en el invernadero, se comienza el riego de las plántulas. Debe asegurarse el riego diario y, en zonas cálidas y secas, hasta varias veces al día. No hay que dejar que el sustrato se seque hasta que las plántulas terminan su ciclo de crecimiento. El mejor sistema para realizar el riego es con el “ Boom”,(brazo móvil con boquillas). Las correcciones de los extremos deben hacerse con una “ducha” agrícola o doméstica. El uso de microaspersores no es eficaz, pues el riego no es suficientemente uniforme.

Es muy importante insistir que el riego debe realizarse con agua de buena calidad.

**g. La fertilización:** Una vez que brotan las primeras hojas verdaderas, hay que comenzar con la fertilización de las plántulas. Esta se realiza con un fertilizante compuesto, que contiene todos los macro y microelementos. Los más importantes son los **NPK** y el **Hierro**. La relación entre los tres macroelementos debe ser equilibrada (1:1:1) siendo la concentración recomendable de nitrógeno: 100 ppm. Fórmulas comerciales pueden ser por ejemplo: 15:15:15, 18:18:18, 20:20:20, etc. El cultivo se fertiliza cada dos días, y no menos que tres veces por semana. La fertilización tiene que ser aplicada junto con el riego y no como una fumigación foliar!

**h. La regulación del crecimiento:** Un fenómeno común en el cultivo de plántulas en bandejas es la etiolación. El crecimiento vegetativo es rápido y la elongación del tallo es exagerada. Este fenómeno es causado por la alta densidad de plantas y la competencia por la luz. Para evitar esta forma de crecimiento y mantener las plántulas compactas, con un tallo grueso y con un bloque lleno de raíces, se usa un regulador de crecimiento. Este producto actúa como una hormona anti-giberelínica. El material más usado para este propósito es el **Paclobutrazol**, que aparece en el mercado en dos formulas comerciales: El **Cultar** al 25 % (es común en Europa y en Israel) y el **Bónzi** al 10 % (en América de Norte y América del Sur). La dosis de aplicación de este producto es mínima (algunos ppm), pues es una hormona y en dosis más alta puede causar un gran daño al cultivo! Hay que tener mucho cuidado con el manejo de este producto y aplicar la dosis recomendada con mucha precisión. La concentración del producto puro en la solución aplicada es de **1 – 5 ppm**, dependiendo de la edad del cultivo. En general, las solanáceas y principalmente el tomate, responden muy bien a este tratamiento, mejor que a cualquier otro método. Las cucurbitáceas son más susceptibles al producto y se debe tener más cuidado. Esta dosis se consigue en cuanto se diluye el producto en un gran volumen de agua, bajando así su concentración en etapas. Es recomendable preparar primero una solución al 0.25% y mantenerla en un recipiente aparte (¡Bien marcado!). Esta solución sirve después para preparar la solución final. La primera aplicación al cultivo sólo se realiza cuando se observa claramente la segunda hoja verdadera, generalmente, dos semanas después de la siembra. El producto se aplica en forma de fumigación, aunque también puede ser regado al sustrato, porque es sistémico. Si se lo fumiga, tiene que ser con mucha agua, bañando bien las plantas. La aplicación del producto se realiza en horas de la tarde, después del último riego, para no lavarlo del follaje. Se sigue con las aplicaciones dos o tres veces por semana, casi hasta el momento del trasplante. Este manejo puede alargar el tiempo que las plantas permanecen en el vivero, en caso que hubiese que postergar su trasplante.

**i. El control fitosanitario:** Obviamente es importante mantener al cultivo de las plántulas sano y libre de plagas y enfermedades durante todo su ciclo de crecimiento. Muy especialmente debe evitarse la infección con virus. Una plántula contaminada con virus no siempre muestra los síntomas en el vivero y puede llegar al campo ya enferma. Por eso es importante producir las plántulas en un ambiente aislado, un invernadero herméticamente cerrado a la entrada de los insectos tipo mosca blanca y áfidos. Para este objetivo se usa la malla mosquitera, colocándola en todas las aperturas del invernadero. Si se observan insectos en el cultivo, hay que aplicar fumigaciones.

Si se observa "Dumping off", se puede aplicar **Rizolex** (contra *Rizoctonia*), **Previcur** (contra *Phyitium*), y **Dainon** (contra ambos). Para evitar bacterias y hongos del follaje se usan los productos comunes.

**j. El tiempo de desarrollo:** El tiempo desde la siembra hasta obtener una plántula lista para ser trasplantada depende principalmente de las temperaturas. Es decir que dicho período puede variar significativamente. En tomate, por ejemplo, con una temperatura promedio de 18°C, dicho período puede ser de 30 días. Con temperaturas promedio de 26°C, el cultivo dura apenas 20 días. En pimiento, se requiere más tiempo que en tomate, mientras que en las cucurbitáceas en cambio es muy corto, no más que dos semanas. El almácigo está preparado para el trasplante cuando tiene por lo menos tres hojas verdaderas grandes y su pan de tierra está lleno de raíces y compacto. La plántula debe poder extraerse fácilmente de la bandeja junto con todo el sistema radicular. En esta situación, las plántulas pueden ser transportadas también a una larga distancia.

**k. El injerto en plántulas:** Es una nueva práctica y una alternativa más para el control integral de plagas y de enfermedades del suelo. El principio es injertar el cultivar específico de la especie a cultivar sobre un patrón que puede ser de otra variedad de la misma especie. El patrón en general debe ser una variedad muy vigorosa resistente a enfermedades y plagas del suelo. Por ejemplo, una variedad de tomate que sirve como patrón para muchos cultivares comerciales es el Beaufort (de la Cía Deruiter). Posee resistencias a: *Verticillium* (V), *Fusarium* (F1 2), *Fusarium-Crown-root* (Fr), *Nematodos* (N), y a *Virus* TMV (Tm).

En cultivos de cucurbitáceas se logró con éxito injertar melón y sandía sobre un patrón de calabaza. Esta práctica de injerto en plántulas de hortalizas es relativamente novedosa y puede dar una buena solución a la necesidad de reducir el uso de los productos químicos en invernaderos. Sin embargo, todavía se encuentra en su fase de aprendizaje y ensayo. Siendo una práctica muy complicada no es recomendable que cada agricultor la lleve a cabo en forma independiente.

### **I. El cálculo del área destinado a la producción de las plántulas**

Se basa en tres factores:

1. El distanciamiento final del cultivo (depende del tipo del cultivo)
2. El área del cultivo final
3. El tamaño de la bandeja y el número de hoyos (células) por bandeja

Hay que tomar en cuenta que el vivero tiene también pasillos, y por eso hay que aumentar unos 20 % de espacio sobre el área calculada. Además, para asegurar la cantidad necesaria de plántulas, se siembra siempre una cantidad extra, alrededor de 20% (depende del porcentaje de germinación de la semilla).

### Ejemplo:

El área de vivero necesaria para el trasplante de 1000 m<sup>2</sup> de un cultivo de tomate:

- Tamaño de la bandeja: 40 x 70 cm = 0.28 m<sup>2</sup>
- Número de hoyos ( 1.5" ) en la bandeja = 128 ( 8 x 16 )
- Número de plantas en el campo = 2200
- Número de plántulas = 2200 x 1.20 = 2640
- Número de bandejas: 2640 : 128 = 21
- Área de mesada necesaria para las bandejas es: 21 x 0.28 m<sup>2</sup> = 5.78 m<sup>2</sup>
- Área del invernadero necesaria: 5.78 x 1.2 = 6.9m<sup>2</sup>

## **H. Distanciamiento de trasplante**

El distanciamiento del trasplante en el invernadero tiene una importancia especial, porque no solamente determina el potencial productivo de las plantas, sino también la sanidad vegetal del cultivo. Existe una relación antagónica entre el interés de aumentar la densidad del cultivo para elevar producción y la necesidad de disminuirla para mejorar aireación. Un cultivo muy denso, que sufre de mala aireación, mala penetración de luz y alta incidencia de enfermedades, tampoco alcanza su potencial productivo. Si trasplantamos menos plantas por un determinado área, cada planta puede cargar más frutos, porque es más vigorosa y hay compensación del espacio. En una plantación densa las plantas son más débiles, con tallos delgados y cada planta cargará menos frutos. Además, los frutos serán pequeños y no llegan a la calidad esperada.

Para cada cultivo existe entonces un distanciamiento óptimo, por encima o debajo de éste, el cultivo no llega a su máximo rendimiento. El gráfico es una parábola. (Dibujo N° - 7).

A continuación se describe el manejo del distanciamiento adecuado para algunos cultivos hortícolas, de variedades indeterminadas en invernaderos:

**Para tomate de mesa:** La población óptima es entre 2200 – 2500 plantas por dunam (1000 m<sup>2</sup>). Generalmente manejamos una distancia de 1.7 – 1.85m entre camas (de centro a centro) y 50cm entre plantas, con dos hileras por cama. Entre las hileras 50 – 60cm. Esta distancia es correcta para el manejo del tutorado de una sola rama por planta. Si se manejan dos ramas por planta, la distancia entre plantas tiene que de 60cm.

**Para tomate “Cherry”:** La población es entre 2700 – 3300 plantas por dunam, y las distancias entre camas es igual como en tomate de mesa. Entre plantas la distancia es 30 – 40cm, para un solo tallo, y 50 – 60cm para dos tallos.

**Para pimiento:** La población óptima es 3300 plantas por dunam, y es correcto para el tutorado holandés (dos ramas por planta) o el español (sin poda). La distancia entre camas es 1.5 - 1.6m y entre plantas 35 - 40cm.

**Para melón y pepino:** El distanciamiento es como para el pimiento con tutorado del tipo holandés.

## **I. Poda y tutorado**

Las especies hortícolas cultivadas en invernaderos son por lo general de crecimiento indeterminado y son conducidas a uno o dos tallos principales.

El manejo de la poda y del tutorado está dirigido a favorecer este tipo de crecimiento iniciándose a partir de la primera etapa del cultivo, cuando apenas brotan sus primeras ramas secundarias. Un retardo en esta actividad causa un crecimiento defectuoso de la planta, perdiendo su flexibilidad. Además los nutrientes que tienen que ser aprovechados por los tallos principales, se pierden por el aprovechamiento de los tallos secundarios. Por lo tanto, es importante que la construcción destinada al tutorado esté preparada desde el inicio del cultivo.

El sistema de tutorado se compone por una parte de las barras de la construcción del invernadero, que pasan de lado a lado a lo ancho de la nave, y de cables metálicos que pasan en la misma dirección a distancias más cortas. Ya hemos mencionado, que este sistema es mejor que el de los postes. Por encima de las hileras del cultivo, pasan los alambres de 3.0 - 3.5mm de grosor. La altura recomendable de esta construcción es de 2.0 – 3.0m y es individual para cada agricultor. Pero si la altura es menor, no se aprovecha el potencial del cultivo y existe el peligro que parte de los frutos toquen el suelo.

Para el tutorado de cada planta, se amarra al alambre un hilo (cordel) de polietileno. Una forma mejor, es el tipo holandés, en la cuál el hilo esta amarrado alrededor de un colgador (percha) de plástico o de metal, que posibilita su liberación y alargamiento según el crecimiento de la planta. El manejo del tutorado consiste en ir “enrollando” o “amarrando” el tallo principal alrededor del hilo. Para amarrar el hilo al tallo existen hoy en día, anillos especiales de plástico (Compañía Paskal de Israel), que facilitan el trabajo y evitan el daño que el enrollado puede causar al tallo.

La decisión si manejar el cultivo a dos o a un solo tallo principal, depende de algunos factores:

1. El hábito natural del cultivo. (Pimiento y melón, en general, se conducen a dos tallos. En tomate, a un solo tallo).
2. El valor de las plántulas: Cuando se usan plántulas de alto costo, como por ejemplo, plántulas injertadas, se trasplantan menos plantas, conduciendo a dos tallos por planta (aún en tomate).
3. Tamaño de los frutos: En el cultivo a dos tallos (por ejemplo, en algunos cultivares de tomate) se obtienen frutos más pequeños.

**En tomate:** La mayoría de los cultivares indeterminados responden bien al manejo a un solo tallo. De todas maneras, no es recomendable cultivar tomate en invernadero con más de dos tallos (por cuestión de sanidad vegetal y de manejo práctico del tutorado). El tomate indeterminado, puede crecer casi sin fin a base de su tallo principal. Si queremos un cultivo largo, de 8 - 10 meses (cuyo manejo solamente es posible bajo condiciones de temperaturas moderadas), usamos el tutorado del tipo holandés.

Cuando el ápice de la planta llega a la altura del alambre, liberamos más hilo y paralelamente movemos todas las plantas de la hilera en la misma dirección. Las plantas de la otra hilera se muevan en la dirección opuesta. Las plantas en

los extremos de las hileras se doblan en 180°. De esta manera, los tallos de las plantas pueden llegar, al final del cultivo, a una longitud de 10 a 12 metros.

Mientras sigue creciendo el tallo principal, todas las ramas secundarias de la planta se podan. Es muy importante realizar esta poda a tiempo, en cuanto las ramas son pequeñas, no más largas que 10cm. En caso contrario, se pueden causar heridas severas a la planta en los puntos del corte, donde pueden atacar los hongos. Es importante podar toda la rama hasta su punto de inserción al tallo (base). Si dejamos trozos de ramas sin cortar, existe peligro de la aparición de *Botritis*.

La poda debe hacerse en las horas de la mañana, cuando el cultivo aún se encuentra turgente. También se podan todas las hojas viejas, por debajo de las inflorescencias que están todavía en producción. Las hojas que se encuentran por encima y por debajo de racimos con frutos verdes no deben podarse, pues éstas tienen que alimentar a estos frutos!

Para terminar su crecimiento, se poda el ápice de la planta, un mes antes del fin del cultivo y cuando han cuajado todos los frutos.

Si queremos un cultivo más corto (de 4 - 6 meses), también podemos el ápice (el vértice dominante) de la planta, un mes antes del fin del cultivo y cuando ya están cuajados todos los frutos que queremos cosechar.

Cuando el ápice llega a la altura del alambre (y todavía no se ha cortado), podemos doblarlo cuidadosamente, amarrarlo y dejarlo que crezca a lo largo del alambre (la distancia a la planta vecina, 40 – 50 cm).

**En pimiento:** Todos los cultivares indeterminados responden bien al manejo de tutorado a dos tallos principales (tipo holandés). En pimiento, también hay buena respuesta al sistema de tutorado español. En este sistema, se dejan crecer la mayoría de las ramas de la planta casi sin poda o se realiza una poda parcial de algunas de las ramas bajas. La construcción del tutorado es diferente siendo su principio sostener las plantas de ambos lados de la hilera. Este sistema consiste en estacas de madera o de hierro, que se entierran en el suelo cada 5m (a lo largo de cada hilera de cultivo) y cordeles de plástico o de alambre delgado (2mm), que sostienen el cultivo de ambos lados a distintas alturas de las plantas. En general se colocan a 30cm entre alambres. Hay que amarrar ambos hilos entre sí cada dos metros, para reforzar el sostén del cultivo.

Si se maneja el cultivo mediante el tutorado holandés, hay que formar la planta desde el inicio del cultivo para que crezca a base de dos ramas principales. En pimiento es recomendable quitar los flores del primer y segundo piso de la planta para permitir un mejor cuaje y un desarrollo más uniforme de los frutos.

**En melón** se quitan todas las ramas secundarias hasta una altura de 40cm por encima del suelo, y a partir de esta altura se lo conduce a una o dos ramas principales. El manejo de la poda en el melón es diferente que en las solanáceas.

En el melón, sólo se corta la rama secundaria cuando cuajó la primera flor femenina de esta rama. Una vez observado el cuaje de esta flor, se dejan unas dos hojas más (para la fotosíntesis y la alimentación de este fruto) y allí se poda el vértice de la rama.

**En pepino:** Cultivamos en general una sola rama principal por planta. La floración femenina aparece en los entrenudos del tallo principal y todas las ramas secundarias se podan.

## **J. Influencia de las condiciones climáticas sobre el cultivo y su control**

Cada cultivo tiene un rango de temperaturas óptimas, en el cuál su desarrollo vegetativo y reproductivo es máximo. En los extremos de este rango, su desarrollo es mínimo o se detiene totalmente. En la siguiente tabla se muestra el rango de temperaturas óptimas como las extremas para las diferentes etapas del desarrollo en tomate:

### **Las temperaturas óptimas y extremas para el cultivo del tomate: (Rudich, 1986)**

<b><u>Etapas</u></b>	<b><u>Mínimo</u></b>	<b><u>Óptimo</u></b>	<b><u>Máximo</u></b>
Germinación	11	16 - 29	34
Crecimiento	18	21 - 24	32
Cuaje en la noche	10	14 - 17	20
Cuaje en el día	18	23 - 26	30
Producción de Licopene (Color rojo)	10	20 - 24	30
Daño de frío sobre los frutos	6		
Daño de helada (Muerte de la planta)	-1		

**En pimiento** la temperatura mínima para el cuaje en la noche es 16°C y la óptima es 17 – 19 °C.

**El melón, pepino y zapallo** cuajan bien a partir de 14°C, son menos susceptibles a temperaturas altas y su rango aceptable es más amplío.

Nota: Las temperaturas extremas no tienen sentido si sólo se tiene en cuenta su valor absoluto. Debe considerarse el tiempo que dicha temperatura perdura. La temperatura extrema mínima es significativa si dura más de dos horas, la máxima más de una hora. Indudablemente, el tiempo de influencia de una helada o de temperaturas extremadamente altas es más corto.

En relación a la influencia de temperaturas sub-óptimas sobre el cuaje de los frutos, es importante mencionar que esta influencia toma lugar en etapas muy tempranas (prematuras) del desarrollo de la flor, como es la diferenciación (meiosis) de las células del polen o de los óvulos. Bajo temperaturas altas, ésto ocurre como una semana antes de la antésis de la flor, mientras que a temperaturas bajas, como dos semanas antes.

Este factor importante tiene sentido cuando se analizan los momentos de realización de las actividades agrotécnicas en relación al control climático del cultivo.

### **a. Influencia de las temperaturas altas sobre las plantas**

- Alto ritmo respiratorio
- Crecimiento vegetativo exagerado (etiolado)
- Poca floración, caída de flores
- Degeneración del polen (polen infértil). ¡El daño ocurre en la etapa prematura de la flor!
- Alargamiento del estilo de la flor (en tomate y en pimiento)
- Poco cuaje
- Maduración muy rápida de los frutos, formación de frutos pequeños
- Rápido agotamiento de las plantas
- Poca producción

### **b. Influencia de las bajas temperaturas**

- Poca producción de polen en los estambres y producción de polen infértil
- Baja germinación del polen sobre el pistilo
- Baja fertilidad de las flores, mal cuaje.
- Producción muy lenta y baja.

### **c. La humedad relativa y su influencia sobre el cultivo**

Ya hemos mencionado que es una de las problemas más complicadas en invernaderos, y que también tiene influencia crítica sobre el cuaje de los frutos. En ambientes de alta humedad (mayor que 85 %), el polen en los estambres se humedece y se convierte en una masa. Bajo esta situación las partículas del polen no se liberan del estambre o el estambre no se abre, y no hay polinización. En condiciones de humedad muy baja (menos que 65 %), el polen se seca encima del pistilo, antes de germinar. En ambas situaciones el resultado es mal cuaje de los frutos y poca producción.

### **d. El correcto control climático del invernadero**

Uno de los objetivos del invernadero es regular las temperaturas del ambiente donde se desarrolla el cultivo y mantenerlas dentro del rango óptimo, de acuerdo a las limitaciones de orden económico. Ya hemos mencionado los principios técnicos para el control climático del invernadero. Aquí vamos a enfatizar los principios agrotécnicos para este manejo.

En zonas tropicales, eternamente cálidas, las ventanas del invernadero (incluso las del techo) quedan siempre abiertas.

En zonas de días cálidos y noches frías, a las horas de la tarde hay que cerrar las cortinas plásticas, incluso las del techo. Si las noches no son muy frías, esta acumulación de calor (por el plástico IR) es suficiente para mantener la temperatura dentro del invernadero en su rango óptimo. Si las temperaturas bajan aún más, es necesario aumentar la temperatura mediante el uso de calefactores. Los mismos se controlan por un termostato, al cuál se lo calibra a la temperatura deseada.

Cuando comienza a bajar la temperatura externa y el invernadero se encuentra cerrado, comienza a subir la humedad relativa adentro del mismo. Esto ocurre por la condensación de los vapores de agua que se han evaporado durante el día desde el suelo y las plantas. Esta alta humedad provoca el desarrollo de muchas enfermedades del follaje, por lo tanto es indispensable extraerla fuera del invernadero. Para ello se operan los ventiladores (extractores de aire) también por la noche, y aún en noches frías. Los extractores se operan cada media hora (o cada hora) por varios minutos. Esta operación es suficiente para extraer una gran parte de la humedad hacia afuera del invernadero sin causar un descenso significativo de la temperatura. El control se realiza a través de la computadora del invernadero o por un timer. Esta ventilación también ingresa oxígeno fresco y CO<sub>2</sub> al invernadero, una actividad muy importante para el desarrollo normal de las plantas.

En horas de la mañana, mientras el aire en el exterior aún está frío, no es recomendable abrir las cortinas del invernadero, a fin de no bajar de manera drástica la temperatura dentro del invernadero y perder el calor de la calefacción. Hay que seguir operando los ventiladores como en la noche y solamente cuando sale el sol y se calienta el aire en el exterior se recomienda abrir las ventanas. De esta manera el follaje de las plantas permanece a una temperatura templada y de inmediato comienza el proceso de la fotosíntesis.

Lo que podemos ver entonces es que en horas de la noche funcionan los calefactores y los ventiladores alternadamente, optimizando así las condiciones climáticas en el invernadero. Es importante recalcar, que cuando funcionan los extractores, todas las ventanas alrededor del invernadero tienen que estar cerradas, menos aquella que está ubicada en la pared opuesta.

Para sacar calor del invernadero durante el día, hay que abrir ventanas, incluidas las del techo. Para secar el aire y el follaje de las plantas en caso de un aumento de la humedad, se operan los ventiladores secundarios (internos) paralelamente con los extractores ubicados en las paredes. En condiciones de humedad moderada, es suficiente operar solamente los ventiladores secundarios.

Para bajar la temperatura del invernadero, hay que operar el sistema interno de nebulizadores. En zonas áridas debe implementarse el sistema de colchón húmedo.

## **K. La Polinización**

En el interior de los invernaderos siempre existen condiciones climáticas que son adversas para la buena polinización y el cuaje de los frutos. En zonas y en épocas con temperaturas extremas y alta humedad el proceso de la polinización, especialmente en cultivos de tomate, es significativamente limitado y hay que estimularlo de manera artificial. Esta actividad es sumamente importante para asegurar el rendimiento y la calidad de los frutos y debe realizarse permanentemente. Para ello existen diferentes medios, los que se describen a continuación.

### **a. La polinización con el vibrador (“abeja eléctrica”)**

El principio del aparato es producir una vibración de las flores, estimulando la liberación del polen de los estambres, en especial cuando hay escasez o si por malas condiciones climáticas los estambres no se abren. En la naturaleza y a campo abierto, es el viento o los insectos los que hacen el trabajo. En el interior del invernadero, donde en general no hay un movimiento suficiente de aire ni entrada de insectos, una de las maneras de aumentar la polinización es con el vibrador eléctrico.

Es posible provocar la vibración de las plantas con la mano o con una bomba a motor que favorezca el movimiento de aire, pero en muchos ensayos realizados, se ha demostrado que la mejor manera es con este vibrador especial. Este aparato se compone de una batería conectada a un vibrador con estaca larga, con el cuál se llega a todas las flores de la planta. La polinización se realiza en las horas tardías de la mañana o al mediodía cuando la humedad en el interior del invernadero es baja y se observa, en las flores, la liberación del polen. Hay que polinizar cada planta cada 48 horas, haciendo vibrar cada racimo de flores por varios segundos.

### **Influencia de la hora del día en la que se realiza la vibración sobre la eficiencia de la polinización**

Hora	8:00	10:00	12:00
Temp. del aire	10 °C	16°C	19°C
Humedad relativa	95 %	81 %	70 %
Número de gránulos de polen liberados del estambre	225	375	450

Cuanto mayor es el número de gránulos de polen liberados, mayor es la probabilidad de fecundación del ovario, lo que promete más frutos y frutos más grandes y más regulares. Si la polinización es mala, no se producen semillas (los óvulos del ovario no se desarrollan) y el fruto queda pequeño y deformado. Es general, puede decirse que la polinización artificial es indispensable independientemente de las condiciones climáticas y el tipo de invernadero.

### **b. La polinización por abejas *Bombus***

La *Bombus terrestris* es un abejorro grande, de color negro - amarillo, que vive en la naturaleza en todos los continentes. En los años '80, se los ha domesticado en Holanda y en Israel, como insecto benéfico, polinizador de cultivos hortícolas en invernaderos. Su gran ventaja en comparación con la abeja de miel es, que este insecto es capaz de polinizar el tomate con alta eficiencia, lo que no hace la abeja de miel. Por la fuerte vibración que suministran sus grandes alas, se consigue la mejor polinización del tomate, más que con cualquier otro aparato artificial. Hoy en día, es un componente integral de cualquier invernadero de tomate o de pimiento (también de fresas), reemplazado con mucho éxito al vibrador manual. La abeja *Bombus* es una muy buena trabajadora, activa independientemente de las condiciones climáticas, y que no escapa del invernadero aún cuando las ventanas están abiertas.

El insecto cultural específico ha sido domesticado por compañías expertas, las cuáles se encargan de su producción y son las responsables de dar "el servicio de polinización". ¡No es recomendable tratar de captar los abejorros de manera aventurera!

Las abejas se suministran en colmenas especiales de cartón, algunas decenas de adultas en cada unidad más la reina, los huevos y las larvas. Una colmena es suficiente para cubrir 2000 – 2500m<sup>2</sup> de cultivo de tomate durante 5 – 8 semanas. Cuando disminuye la actividad de la colmena debe reemplazarse por una nueva. El servicio de las compañías es muy eficaz y llega por avión a todos los lugares del mundo.

### **c. Uso de productos a base de hormonas para el mejoramiento del cuaje en tomate**

Cuando las condiciones climáticas son muy extremas, principalmente muy frías, la producción de polen se detiene totalmente. En tal situación, la polinización ya no es efectiva y hay que usar hormonas estimulantes del cuaje para asegurar la producción de frutos.

Los productos más comunes son del grupo:  **$\beta$ -Naphthoxi-acetic-acid**. Debe fumigarse teniendo en cuenta la dosis recomendada que aparece en la etiqueta del producto. En general, dos aplicaciones por inflorescencia: La primera cuando hay 3 – 4 flores por racimo y la segunda cuando se han abierto el resto de las flores del racimo.

## **L. Riego y fertilización**

### **a.El riego**

El riego en invernadero tiene que ser preciso y localizado. Por la alta inversión en la construcción, el alto valor del cultivo y los requisitos de calidad de los frutos, deben descartarse los sistemas de riego foliares y por surcos ya que provocan muchas enfermedades del follaje y carecen de precisión. El riego localizado se refiere al riego por goteo, mediante el cuál cada planta recibe en forma precisa la cantidad de agua y fertilizantes que necesita.

En este folleto, no vamos a detallar toda la metodología del riego, pero vamos a destacar algunos puntos y principios importantes. Primero hagamos la diferencia entre el manejo del riego en cultivos en suelo y el manejo del riego en cultivos en sustrato artificial.

### **El manejo del riego en cultivos en suelo**

- El principio es suministrar a la planta toda la cantidad de agua que ésta necesita de acuerdo a su edad y las condiciones de la evapotranspiración en el invernadero. Debe asegurarse que la planta no sufra escasez de agua en ningún momento, pues ello va a afectar directamente la producción.

De haber problemas de enfermedades del suelo, deben aplicarse los tratamientos químicos, pero no se debe dejar de suministrar agua a la planta. Si se ha realizado una buena preparación del suelo y existe un adecuado desnivel dentro del invernadero, no hay ninguna razón para que el campo sufra de encharcamientos.

- Es importante escoger un sistema de goteo de alta calidad que permita una distribución uniforme de la solución a usar en la fertigación. Hay que precisar también en las distancias entre goteros. En general, se planifica un gotero para cada planta

- Hay que planificar e instalar el sistema del riego por módulos, para facilitar el control y la separación de diferentes cultivos o diferentes edades de cada cultivo.

- Es importante usar agua de alta calidad dada la susceptibilidad de las plantas y la intensidad de cultivo en el invernadero. Agua de mala calidad (salina, alcalina, etc.) puede dañar el suelo enteramente debido a una acumulación de sales o de elementos hidróxidos. Si el agua no es de la calidad deseada, hay que tratarla o usar sistemas de filtración en el cabezal de la red de riego. Si el agua tiene un pH básico (alcalino > 7.5), se puede acidificar con ácido fosfórico 85%, ácido nítrico 60% o ácido sulfúrico 98%. Los ácidos fosfórico y nítrico suministran también elementos nutritivos a las plantas y deben tomarse en cuenta estas cantidades cuando se calculan las fórmulas para la fertilización. El ácido sulfúrico es el más eficiente para el proceso de la acidificación. El método de la acidificación se basa en un monitoreo permanente (automático o manual) de la solución de la fertigación. De acuerdo a las lecturas obtenidas se inyecta el ácido en el cabezal de riego, mediante una inyectora especial, 20 – 30cm antes de la inyección de los fertilizantes.

Parámetros para determinar la calidad del agua (niveles máximos en miligramos por litro):

Cloro – 300 (preferentemente no mayor que 100)

Sodio – 5

Calcio - 2.5

Magnesio – 2. 5

CO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 2.5

\* CE (Conductividad eléctrica) – 1.5 mmhos / cm (antes de la inyección de los fertilizantes).

### **Factores que determinan el régimen del riego**

1. Edad de la planta: Después del trasplante se riega diariamente y en abundancia para permitir el enraizamiento rápido y la saturación del perfil del suelo hasta una profundidad máxima determinada para cada cultivo. Este riego provee un “banco” de agua para el desarrollo futuro del cultivo y estimula la penetración de las raíces a mayor profundidad.

Cuando se observa que la planta ya se estableció (inicio de floración) es recomendable reducir las cantidades del riego para obligar a la planta a elongar las raíces. De acuerdo al ritmo de desarrollo de la planta, se eleva el volumen de agua desde 30% hasta 100% de la evaporación.

2. Tipo del suelo: En suelos arenosos la frecuencia de los riegos será mayor.

3. La evapotranspiración local: Se mide mediante el sistema del Tanque Tipo A, el cuál es recomendable ubicarlo dentro del invernadero. Si se ubica fuera del invernadero debe tomarse en cuenta que dentro del invernadero las condiciones son diferentes, mayor humedad y menor evapotranspiración.

4. Control por tensiómetros: Este aparato permite obtener la mejor información sobre la situación de la humedad en el ambiente radicular de la planta. Debe ubicarse una estación por cada módulo de cultivo, de acuerdo a la edad de las plantas y dos profundidades en cada estación: a 25cm y a 50cm (correcto para hortalizas).

En suelos arenosos las mediciones deben realizarse a profundidades de 20 y 40cm. Los tensiómetros se colocan a una distancia de 10cm del gotero y a 10cm de la planta. Es importante escoger una planta que por su tamaño y su vigor es representativa del módulo. La ubicación de la estación tiene que estar aproximadamente en el centro del módulo.

5. La calidad del agua: Si el agua que se suministra al cultivo es de baja calidad (salina o alcalina), hay que regar (en cada riego) con un mayor volumen de agua y con menor frecuencia (intervalos más grandes entre riego y riego). Este manejo permitirá un mejor lavado del suelo y evitará la acumulación de las sales en el borde cercano al bulbo humedecido donde se encuentra la mayor densidad de raíces.

6. La calidad química de la solución del suelo: Se sacan muestras mediante extractores, ubicados en estaciones de igual manera que los tensiómetros.

Si se observa acumulación de sales o de elementos hidróxidos en el suelo hay que realizar “riegos de lavado” con agua dulce (tratada, mejorada o de otra fuente) sin fertilizantes, reduciendo así la concentración de sales en el suelo. También hay que pensar en cambiar la composición de los fertilizantes o reducir su concentración en la solución.

## **El manejo del riego en sustratos desconectados**

El volumen de sustrato que está a disposición de cada planta es pequeño y limitado. Además, el sustrato favorece el rápido drenaje del agua regada. Por eso, el riego en sustratos tiene que ser más frecuente y más preciso.

Hay que utilizar un gotero con una descarga de 2 litros/hora para cada 10 litros de sustrato.

Si las macetas son en forma de camas, debe colocarse un lateral por cada hilera de plantas con goteros a una distancia entre sí de 20cm.

Hay que regar el cultivo varias veces al día de acuerdo a los siguientes factores:

1. Las condiciones climáticas (evapotranspiración)
2. La edad de planta
3. Tipo de sustrato: Sustratos orgánicos retienen más agua y por más tiempo que sustratos inertes. Por eso se riega menos veces al día, pero más tiempo. En sustratos inertes o minerales hay que regar con mayor frecuencia, es decir el intervalo entre riegos se acorta y el volumen de agua de cada riego se reduce. La fertirrigación recibe una forma de hidroponía.
4. Tamaño del recipiente: En recipientes más pequeños se riega con más frecuencia y menos volumen de agua en cada riego. El número de riegos puede llegar hasta 12 riegos diarios (aproximadamente un "pulso" por hora), dependiendo de la evapotranspiración y de la velocidad de drenaje.
5. El volumen del drenaje de la maceta: (Estaciones de control) La única manera de medir la necesidad de agua y controlar la humedad y la acumulación de los elementos en el ambiente radicular del sustrato, es mediante el análisis del agua de drenaje. Para ello se coloca un recipiente debajo de una maceta representativa del cultivo (estación de control) a razón de por lo menos una estación por cada módulo de cultivo.

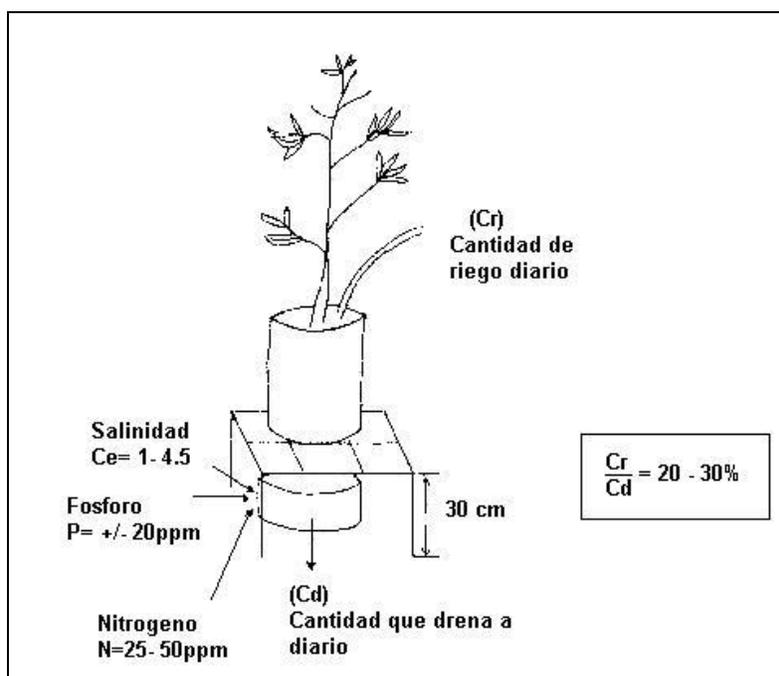
Por estación debe haber también un recipiente que recolecte la solución de la fertirrigación que sale de un gotero representativo.

El control se realiza mediante la comparación entre la cantidad y la calidad de la solución que entra a la maceta y la que sale por el drenaje. La relación en volumen tiene que ser **3 : 1**, es decir 25 – 35 % de drenaje. Esta relación indica que la planta no sufre de escasez de agua y que existe un lavado permanente del sustrato. (Ver Dibujo N° 9)

La calidad del agua de riego y del drenaje: La composición química de la solución del agua de riego y la del drenaje es un factor muy importante que determinará el régimen del riego. Mediante el análisis se conocerán también las características químicas del ambiente radicular de la planta. A la vez es una herramienta para determinar el régimen de fertilización.

Como ya se ha comentado, los parámetros que determinan la calidad del agua del riego son:

- 1) La conductividad eléctrica (CE)
- 2) El pH
- 3) La acumulación de cloro en el agua de drenaje



Dibujo N° 9

### Comparación entre los valores obtenidos (solución de riego vs drenaje)

#### Recomendaciones a tener en cuenta ( niveles máximos):

1. **Conductividad eléctrica:** Se permite una diferencia máxima de 1 milimhos/cm<sup>2</sup>. Generalmente el agua de drenaje será más salina. Sin embargo, hay que cuidarse que el  $\Delta$  no sea mayor que este valor.
2. **pH:** La diferencia máxima permisible es de 1 grado. El pH del agua de drenaje puede ser mayor o menor que el pH de la solución de riego, dependiendo del tipo de los fertilizantes usados y del sustrato. De todas maneras, el pH debe mantenerse (también en el sustrato) dentro del rango recomendable ( 5.5 – 6.5 ). Es preferible un ambiente más ácido ya que en estas condiciones la absorción de los nutrientes por la planta es más eficiente
3. **Cloro :** Se permite un  $\Delta$  máximo de 50 mg / lt.

\* Si los niveles de los elementos o de los parámetros arriba mencionados se desvían del rango recomendado, (o si la calidad original del agua no es la óptima), hay que aumentar el volumen del agua en cada riego y reducir la frecuencia del riego. También hay que reducir la concentración de los fertilizantes en el agua o cambiar su composición.

Porcentaje de cloruros en el agua de drenaje recomendado, según la concentración de los cloruros en el agua del riego:

Cloruros mg/l	% en el agua de drenaje
Menor de 150	20 – 25 %
150 – 250	30 – 40 %
250 – 300	40 – 50 %

## **b. Fertilización**

Como parte integral del paquete tecnológico también la fertilización tiene que ser precisa e intensiva. Hay dos maneras principales para calcular y controlar la necesidad de nutrición del cultivo: **El método cuantitativo** y el **método proporcional**. Los dos tienen finalmente el mismo objetivo:

A. Acompañar el requerimiento nutricional diario del cultivo según su ritmo de desarrollo

B. Aportar la cantidad de elementos que necesita la planta en un ciclo completo de cultivo.

En el método cuantitativo, el cálculo se basa en las cantidades periódicas de los elementos que necesita la planta, es decir suministrar la cantidad del fertilizante por los días que han pasado desde el último riego. Si por ejemplo en tomate sabemos que la cantidad diaria de nitrógeno que requiere el cultivo en su segunda etapa (floración hasta el cuaje del tercer piso) es de 250 – 300g por día por dunam, y si el riego se realiza cada tres días, entonces la cantidad en cada riego será de 750 – 900g de nitrógeno puro por dunam. (esta cantidad es del elemento puro y hay que traducirla a términos de fertilizante comercial). En la tercera etapa (principal de la producción) la cantidad se duplica. Este cálculo se basa en la cantidad total del elemento que aprovecha la planta en un ciclo completo del cultivo, dividida en los días efectivas del cultivo, y ajustada a la etapa actual del cultivo. En tomate y en pimiento en invernaderos la cantidad puede ser de 40 – 50kg de nitrógeno puro por dunam. (Los cálculos se basan en la cantidad de cada elemento en la materia seca de una planta desarrollada, multiplicada por el factor de la eficiencia del elemento en el suelo).

En hortalizas las relaciones recomendables entre los elementos principales son:

**N:P:K:Ca:Mg 2: 1: 3 : 2:1**. El calcio en general existe de manera natural en el suelo y su nivel se mantiene a través de la fertilización básica que se da al cultivo (con el superfosfato por ejemplo). Por lo tanto, se suministra sólo una parte del calcio vía la fertirrigación, en la época del cuaje. En sustratos por supuesto que hay que suministrar toda la cantidad.

La principal cantidad de potasio y de nitrógeno se aplica en la época de la producción de frutos. El fósforo se mantiene en el mismo nivel durante todas las etapas del cultivo. Su mayor importancia es en la época de la floración y del cuaje.

En la primera etapa del cultivo (post trasplante) mantenemos la relación de NPK a 1:1:1 y las cantidades son bajas (100g de nitrógeno por día por dunam). Una parte significativa de los fertilizantes debe ser aplicada como fertilización de base, es decir debe ser incorporada al suelo antes del trasplante.

La fertilización de base es una práctica muy importante. Su objetivo es dejar más tiempo a los elementos para que se establezcan y lleguen a un equilibrio con los demás componentes del suelo. Debe recordarse que también en cultivos en sustratos desconectados, hay que saturar el sustrato con una solución de fósforo antes del primer trasplante.

Una importancia especial tiene la fertilización con microelementos. Estos son esenciales para la planta y tienen que ser parte integral de la fertilización del cultivo. Una deficiencia de hierro, manganeso o zinc se nota inmediatamente en la planta, y puede afectar el desarrollo normal del cultivo.

Es recomendable realizar antes de cada estación de cultivo un análisis del suelo, y a base de los resultados completar las deficiencias observadas. De vez en cuando hay que realizar también un análisis foliar. Existen hoy en día datos precisos para cada cultivo de sus requerimientos de macro y microelementos. En caso de una deficiencia específica, es recomendable completarla en forma de "quelatos", a razón de 1kg de quelato por dunam. En caso que no observarse una deficiencia particular, hay que suministrar semanalmente una cierta cantidad de microelementos. Pueden usarse abonos compuestos o quelatos separados. La cantidad recomendable es de 100 – 200g por dunam por semana de un fertilizante completo de microelementos. En países donde existen formulaciones de fertilizantes compuestos, se puede pedir que el fertilizante que contiene los macro elementos llegue ya mezclado con los microelementos. De todas maneras, hay que suministrar los microelementos vía el sistema del riego y no basarse únicamente en la fertilización foliar. Ésta no viene a reemplazar la fertigación.

### **La fertilización proporcional (en sustratos)**

Mediante este método de fertilización los nutrientes se suministran permanentemente a las plantas vía su presencia en la solución de la fertigación. Se puede utilizar este método también en cultivos plantados en el suelo, pero es el único método a utilizar en cultivos en sustratos desconectados. La fertilización proporcional se basa en la concentración de los diferentes macro y micro elementos en la solución de la fertigación. Esta concentración tiene que ser adecuada por supuesto a cada cultivo y a cada etapa de desarrollo del cultivo. La concentración se expresa en términos de ppm (partes por millón) del elemento puro en la solución. 1 ppm es igual a 1g del elemento puro en 1000 lt de agua

(1000 lts = 1 m<sup>3</sup>). (1ppm= 0.0001 % = 0.000001)

100 ppm es igual a 100g en 1 m<sup>3</sup> de agua. ( Hay que destacar, que se refiere a elementos puros y debe hacerse el ajuste para los fertilizantes comerciales)

Por ejemplo: La concentración deseada en ppm de los macroelementos en las diferentes etapas de un cultivo de tomate es:

<b>Etapa</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
Trasplante hasta inicio de la floración	100-200	40-50	150-180	100-120	40-50
Floración hasta cuaje de tercer piso	150-180	40-50	250-350	100-120	40-50
Principal cuaje y desarrollo de frutos	200-220	40-50	300-400	100-120	50-60
*En zonas o en épocas cálidas	150-180	35-40	250-300	100-120	40-50

\*En zonas o en épocas cálidas, la cantidad total de los elementos que se suministran no varía, pero el volumen de agua regado se eleva y por eso baja la concentración de los elementos en la solución.

Las concentraciones de los microelementos son definitivamente más bajas y hablamos de pocos gramos del elemento puro (100 – 150 gramos del elemento) en cada metro cúbico de agua, lo cuál significan algunos ppm del elemento puro.

La fertilización con microelementos es indispensable cuando el cultivo se realiza en sustratos desconectados. Hay que recordar que en sustratos las plantas no tienen ninguna otra fuente de donde abastecerse de nutrientes. Por lo tanto, la fertilización con microelementos es parte integral de la fertigación, en todos los riegos y no de manera foliar.

### **La saturación de los sustratos**

Los sustratos (algunos más, otros menos) cuando son nuevos, adsorben una gran parte de los elementos que se suministran a los cultivos, principalmente el fósforo. Esta tendencia afecta, sin lugar a duda, el control de la fertilización, pues parte del elemento suministrado al cultivo es extraída de la solución por el sustrato, dejando de estar disponible para las plantas. Para evitar este problema, los sustratos nuevos, principalmente los del tipo mineral como la piedra volcánica o la piedra pómes) tienen que ser saturados con fósforo al inicio del trabajo. Se usa el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) 100 – 200cc por cada metro cúbico de agua (En total 1.5lt de ácido por cada 10 m<sup>3</sup> de sustrato), mediante riegos de saturación que se dan antes del trasplante del cultivo.

**Combinaciones de fertilizantes** Para suministrar a las plantas (especialmente en sustratos desconectados) todos los elementos necesarios de la nutrición, hay que combinar diferentes fertilizantes en un solo tanque. No todos los fertilizantes son compatibles, especialmente los fertilizantes ácidos con los compuestos a base de calcio y los quelatos. Por eso es recomendable usar más que un tanque de fertilización, y separar los fertilizantes que no compatibles. Por ejemplo, podemos ofrecer la siguiente composición:

<b>Tanque - A</b>	<b>Tanque - B</b>
Nitrato de calcio	Acido fosfórico
Nitrato de magnesio	Nitrato(o sulfato) de amonio
Nitrato de potasio (media cantidad)	Acido sulfúrico (si es necesario)
Microelementos	Nitrato de potasio (media cantidad)
Quelatos	

### Nota:

- El calcio y el magnesio se suministran según su deficiencia (o existencia) en el suelo (si es cultivo en suelo) o en el agua del riego.
- La relación recomendada entre el nitrato y el amonio en la fertilización nitrogenada es: **5 : 1** ( $NO_3 : NH_4$ ). De acuerdo a este se planifica la composición adecuada de la mezcla.

- La relación entre los fertilizantes de carácter ácido y los de carácter básico en la composición, tiene que definir finalmente el **pH** necesario de la solución de la fertigación (5.5 – 6.5).
- Al mezclar los fertilizantes en el tanque debe tomarse en cuenta, el factor de la solubilidad de cada fertilizante, a fin de no saturar la solución causando sedimentación de sales.

Hay tres factores que determinan el tamaño (volumen) necesario de un tanque de fertilización y la capacidad de la bomba inyectora:

1. El área a fertirrigar
2. La dosis necesaria de los fertilizantes
3. El factor de solubilidad de los fertilizantes

\* Si los fertilizantes son menos solubles y menos concentrados, hay que escoger un equipo de fertilización con más volumen y capacidad.

### **El control de la fertilización**

El control se realiza mediante el análisis de la solución a usar para el fertirriego y el análisis de la solución del suelo o del agua de drenaje (en sustratos). El control se ejecuta sobre muestras extraídas en estaciones representativas y hay que realizarlo todos los días a la misma hora si el cultivo es en sustratos y una vez por semana en cultivo en suelo.

Para el análisis a campo de las soluciones se usa un “kit” de aparatos, que contiene un medidor de pH, un medidor de la conductividad eléctrica, el medidor del cloro y los reactivos para medir NPK.

Para la medición del nitrógeno se utilizan unas tiras de papel que contienen distintos reactivos para medir nitratos y nitritos y un reactivo para medir el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4$ ).

El resultado de nitritos ( $\text{NO}_2$ ) tiene que ser siempre negativo! Cualquier existencia de este elemento es adversa para las plantas debido a su toxicidad.

Los resultados de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y de amonio ( $\text{NH}_4$ ) aparecen en ppm, conteniendo el nitrato 22.6 % y el amonio 82.4% de nitrógeno puro, respectivamente. De acuerdo a estos valores se calcula cuánto de nitrógeno puro total hay en la solución.

En el caso del fósforo, se miden ppm de  $\text{PO}_4$ , siendo la relación  $\text{PO}_4$  : P (puro) de 3 : 1. (por cada 3 ppm de  $\text{PO}_4$  hay 1 ppm de P puro). Hay que recordar que cuando hablamos de fertilización proporcional nos referimos a ppm del P puro, mientras los fertilizantes comerciales indican la concentración del elemento en término de  $\text{PO}_4$ .

Al inicio de la fertigación, y de vez en cuando hay que mandar también muestras al laboratorio para su análisis y determinación de los niveles de microelementos en la solución y en el agua de drenaje.

## **M. Enriquecimiento con CO<sub>2</sub>**

En el ambiente de los invernaderos a menudo disminuye la concentración de CO<sub>2</sub>. Este fenómeno ocurre dado a que gran parte del tiempo el invernadero permanece cerrado mientras que las plantas siguen aprovechando el elemento para el proceso de la fotosíntesis

Por lo general, la concentración del CO<sub>2</sub> en el aire es 340 ppm. En el invernadero se puede medir esta concentración (y también controlarla) vía un sensor específico, colgado en un sitio representativo. Para evitar la escasez de CO<sub>2</sub> en el invernadero, hay que aumentar su concentración en el aire hasta un nivel mínimo de 700 ppm, vía un sistema de generación artificial. Este sistema funciona a base de la quema de algún combustible, preferentemente gas (de cocina), o vía la inyección directa de CO<sub>2</sub>, que llega almacenado en balones.

\* La quema de 1kg de gas de cocina, suministran 3kg de CO<sub>2</sub>. más 11.890 Kcal de calor. En muchos ensayos hechos en Holanda, se demostró que el enriquecimiento con CO<sub>2</sub> contribuye significativamente a la elevación de los rendimientos en invernaderos. Sin embargo, hay algunas limitaciones que ponen en duda la justificación económica del método y claro que hay que considerar en qué cultivos y condiciones.

Para obtener buenos resultados con el enriquecimiento con CO<sub>2</sub>, hay que tener en cuenta las siguientes condiciones:

1. Una mínima iluminación solar de 200micro-einstein/m<sup>2</sup>/min dentro del invernadero.
2. Una temperatura que no sea menor de la mínima productiva (de acuerdo al cultivo).
3. Una temperatura máxima de 30° C (independientemente del cultivo).
4. Una humedad relativa que sea menor de 90 % (aún cuando las ventanas están cerradas). En caso contrario hay que abrir cortinas, no pudiéndose operar el generador, pues habría pérdida de gas.

Una contribución significativa a la productividad de cultivos de tomate y de pimiento, se observó en la época de invierno y primavera, en zonas frías, cuando se enriqueció la atmósfera del invernadero con CO<sub>2</sub> en horas de la mañana o de la tarde. En estas horas las cortinas del invernadero están cerradas, existe una efectiva radiación solar, la temperatura adentro del invernadero es óptima, y existe una deficiencia del CO<sub>2</sub>.

## **N. El control fitosanitario**

Los principios del control fitosanitario en invernaderos son similares a los principios ya analizados del control climático.

En primer lugar, el aprovechamiento del invernadero mismo como la herramienta más eficaz para lograr este objetivo. Me refiero a la posibilidad de cerrar el invernadero herméticamente, aislando así el espacio interno del ambiente exterior y evitando la entrada de los insectos plagas. En los artículos anteriores, ya hemos discutido la relación entre las medidas adecuadas de la construcción y la aireación del invernadero y su importancia sobre la incidencia de las enfermedades. Si manejamos adecuadamente estos principios de aireación de un lado y cerramos todas las aberturas del invernadero con una malla mosquitera de 50mesh ("Insect-proof") por otro y además, usamos para la cobertura del techo un polietileno del tipo "Anti-vector", podemos reducir y controlar efectivamente la incidencia de las plagas y de las enfermedades en el interior.

El cultivo en invernadero facilita el "manejo integral de plagas", asegurando plantaciones más sanas y frutos de mayor calidad.

Otros puntos importantes que podemos mencionar al respecto son la desinfección del suelo y de todo el espacio del invernadero para evitar el desarrollo de enfermedades del suelo como así también la poda y el tutorado del cultivo que tienen que ejecutarse adecuadamente y a tiempo.

Sobre los métodos principales que se utilizan para el control fitosanitario en invernaderos, recalcamos los puntos siguientes:

### **Para la prevención y el control de las enfermedades:**

1. Construir un invernadero alto y ubicarlo en un sitio alto, para asegurar su buena aireación.
2. Abrir ventanas altas en todas las paredes laterales del invernadero para el mismo objetivo.
3. De ser necesario, instalar en las paredes laterales extractores grandes de aire y operarlos también durante la noche para extraer los excesos de aire húmedo fuera del invernadero.
4. Desinfectar el suelo y todo el ambiente del invernadero, vía la desinfección térmica (solar), o con productos químicos adecuados.
5. Incorporar en el suelo una gran cantidad de materia orgánica de alta calidad, para que compita con los micro-organismos patógenos del suelo.
6. Cubrir las camas del cultivo con un "mulch" de polietileno para evitar el contacto del follaje y los frutos con el suelo.
7. Usar únicamente el sistema de riego por goteo para asegurar la precisión en el riego y evitar excesos de agua en el invernadero.
8. Establecer en el invernadero una pendiente adecuada (mínimo de 1.5 %) para asegurar el buen drenaje del agua del riego.
9. Usar únicamente cultivares vigorosos (híbridos) y resistentes a enfermedades.
10. Usar plántulas vigorosas, de alta calidad, garantizadas y libres de enfermedades del suelo y virus.
11. Manejar correctamente el distanciamiento entre plantas, la poda, el tutorado, con el fin de evitar la creación de un microclima húmedo adentro del follaje del cultivo y facilitar tratamientos de fumigación.

12. Fertilizar el cultivo con las cantidades adecuadas de los elementos nutritivos, principalmente el fósforo y el potasio, para establecer una planta vigorosa y con poca susceptibilidad al ataque de las enfermedades.
13. Realizar un monitoreo diario del cultivo y fumigar a tiempo cuando se identifica el brote de una enfermedad.

Todos los medios arriba mencionados, pueden reducir hasta el mínimo la necesidad de utilizar productos químicos en el invernadero. En caso que aparezca la necesidad de fumigación, es importante escoger el producto adecuado, la dosis adecuada, y fumigar con una bomba a una presión tal que asegure una buena cobertura del follaje. Asimismo es importante considerar la rotación de productos para evitar el desarrollo de resistencia a los mismos.

#### **Para el control integral de las plagas:**

1. Cerrar el invernadero herméticamente (incluso aberturas del techo) con la malla mosquitera de 50 mesh.
2. Usar en el techo el plástico "Anti-vector" (que interfiere en la orientación de los insectos).
3. Rodear el invernadero con trampas de color y pegamento que capturan aquellos insectos que lograron ingresar. (El color amarillo para la mosca blanca, los áfidos y los minadores, el color celeste para los trips).
4. Construir en la entrada del invernadero una puerta doble con un ventilador que empuje el aire para afuera, evitando la entrada de insectos.
5. Realizar monitoreos permanentes en el invernadero para descubrir a tiempo la incidencia de plagas, principalmente aquellas que son transmisores de virus.
6. Para la fumigación aplicar productos diversos y preferentemente hacer uso frecuente de productos naturales o biológicos, incluso de los insectos benéficos que son muy adecuados para utilizarlos especialmente en invernaderos. A propósito del uso del plástico "Anti-vector", hay que recalcar que este plástico no influye sobre el comportamiento de los insectos benéficos ni el de las abejas *Bombus*, porque éstos se orientan más por el olor de sus huéspedes que por orientación visual.

#### **O. Automatización en invernaderos**

Muchas actividades relacionadas al cultivo en invernaderos pueden realizarse y controlarse de manera automática. Las funciones más importantes son las de fertigación y el control climático. El controlador del riego, que es un avanzado "timer", puede ser conectado a un "set" de hasta 50 válvulas. Este controlador puede operar las válvulas de manera escalonada, o según un plan específico según se lo programe.

Cada válvula (módulo de cultivo) puede controlar una cantidad diferente de agua y de fertilizantes, o un diferente tiempo de riego. Se puede mandar cualquier número (pulsos) de riegos diarios, dependiendo del límite de tiempo y la duración de cada pulso. El controlador puede ser conectado también a una batería de tensiómetros y a otros accesorios de control, tipo medidores de pH, de salinidad y de cloro. Vía los datos fijados en el programa y de acuerdo a la lectura de los sensores, el controlador suministra al cultivo las cantidades precisas de agua y de fertilizantes.

Otro servicio que ofrece el controlador es la acumulación de los datos (el memorándum histórico) de las actividades realizadas, generalmente los últimas 100 actividades. Controladores más avanzados pueden también corregir errores ocasionados, parar el riego en cuanto ocurre algún problema en el sistema y compensar después la cantidad faltante de agua y de fertilizantes.

Para un mejor control y mayor comodidad, se puede conectar el controlador de campo a una computadora que está ubicada en la oficina o en la casa. Los programas de control que se ofrecen para las computadoras son mucho más amplios y completos y contienen también el programa del control climático del invernadero. Mediante este programa se puede controlar automáticamente la apertura y el cerramiento de las cortinas laterales y del techo como así también y la operación de los sistemas de calefacción y enfriamiento. Este control se opera vía una serie de sensores de temperatura y humedad ubicados en el invernadero.

El volumen de información de las actividades que se acumulan en la memoria de la computadora es sin duda mucho más grande que la del controlador de campo y prácticamente se puede obtener así un "Libro completo del cultivo". Hoy en día la tecnología de la computación y de la comunicación nos ofrece la posibilidad de controlar el cultivo también a larga distancia, vía el uso del teléfono celular y la internet.

## **Epílogo**

El éxito de la agricultura depende finalmente de lo que se inició hace miles de años atrás, cuando por primera vez el hombre decidió trabajar la tierra. Me refiero al cultivo de las plantas de manera cultural (La cultura del trabajo de la tierra), con toda la voluntad y con el entendimiento del comportamiento de las plantas. Este entendimiento ha aumentado en las últimas décadas y aumenta cada día más. Hoy en día tenemos muchos equipos de los cuales podemos hacer uso en favor de nuestro objetivo. Sin embargo, toda esta tecnología no nos va a apoyar si no manejamos el cultivo, primeramente con dicha cultura básica. Es la preparación del suelo, la limpieza del campo (en un campo cultural no hay lugar para malezas por ejemplo) y el conocimiento de las necesidades de la planta. Este conocimiento nos va a dirigir ante todo a la buena planificación del cultivo, según el dicho en hebreo: "El fin de cada proyecto, es resultado del primer pensamiento". En el camino de la agricultura no hay "atajos", y todos los pasos en este camino son importantes. La mejor variedad no va a sobrevivir si no se le ofrece primero un suelo bien preparado y una cobertura que le provea un microclima bien aireado donde hospedarse. Siempre es preferible cultivar menos área pero con toda la calidad, que un área más grande, con contemporalización en las condiciones suministradas al cultivo. Como último punto, la agricultura es diferente de otros negocios en el sentido que, por la complejidad que presentan los sistemas biológicos, su éxito es cuestión de experiencia, que viene solamente con el tiempo, con el conocimiento de la propia propiedad del agricultor y del propio cultivo cultivado.

A quienes utilicen las recomendaciones volcadas en este documento quiero desearles muchos éxitos y excelentes cosechas.

M.S.

## Términos

- **Dunam** = 1000 m<sup>2</sup>
- **1 m<sup>3</sup>** (metro cúbico) = 1000 litros
- **1 nanometer** = 0.001 micrones = 0.000001 milimetro  
(Una medida para medir longitudes muy cortas como la longitud de la onda de la radiación solar.
- **mesh** = Medida para medir la densidad de una malla.  
Se cuenta el número de hoyos en una pulgada cuadrada.
- **milimhos** = Medida para medir la intensidad de un corriente eléctrica de baja corriente. 1 milimhos /cm = 1 decimhos / m

## Bibliografía

1. **Zaidan O.** (2001) "El cultivo del tomate en condiciones forzadas"  
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MAG), Hebreo
2. **Gazit, M.**(2001) "Control climático en invernaderos"  
Resumen de conferencias, Hebreo
3. **Isaac, A.**(1998) "Instrucciones para la preparación de las sistemas de sustratos artificiales en invernaderos" , MAG, Hebreo
4. Resumen de las investigaciones en los cultivos de tomate y de pimiento,  
MAG, El Instituto Volcani 1999. Hebreo
5. Resumen de las investigaciones en los cultivos de tomate y de pimiento,  
MAG, El Instituto Volcani 2000. Hebreo
6. **Chen Y., Inbar Y.** (1991) "Las consideraciones frente el cultivo de las hortalizas en sustratos artificiales. MAG, Resumen para el año 1990. Hebreo
7. **Lubenstein G.** (1991), "La virología de las plantas, principios y aplicaciones".  
El Instituto Vulcani, Beit-Dagan
8. **Presman A., Rozenfeld K., Shaked R., Rilska I.** (1992) "La abeja *Bombus* es más eficiente que el vibrador eléctrico en la polinización de flores en tomate" Revista Ha-Sade
9. **Rilska I.** (1980) "El mejoramiento del cuaje de los frutos por la vibración manual y el uso de hormonas en tomate de invernaderos" Instituto Vulcani, Beit-Dagan, Publicación N° 178
10. **Sagi A.** (1979) "La influencia de la intensidad de la radiación solar sobre el desarrollo del fruto en el cultivo del tomate". Boletín N° 208