# CURSO DE CULTIVOS PROTEGIDOS

Convenio derivado Nº 2 del convenio marco Nº 202 entre el SENA y la Fundación Agricultores Solidarios - España

SENA

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

agricultores solidarios

Éste título digital por Sistema de Bibliotecas SENA se encuentra bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-Nocomercial-compartirigual 3.0 unported License. Creado a partir de la obra en http://biblioteca.sena.edu.co

Convenio d erivado N° 2 del convenio marco N° 202
entre el SENA y la Fundación Agricultores Solidarios - España
Material elaborado por David Rodríguez Rivas Ingeniero Técnico Especialista en Cultivos Hortícolas, 2009.

Dra. Julia Gutiérrez De Peñeres
Directora de Promoción y Relaciones Corporativas del SENA SENA Dirección General
Calle 57 No. 8-69 Torre Central Piso 60 Teléfono: 5461500 Ext. 12013
Fax: 5461555
www.sena.edu.co jgutierrezp@sena.edu.co

Edgar Adrián Zambrano Tamayo Proyectos Sociales y Codesarrollo Grupo de Relaciones Internacionales SENA Dirección General
Calle 57 No. 8-69 Torre Central Piso 60 Teléfono: 5461500 Ext. 12426
Fax: 5461555
www.sena.edu.co
ezambra no@sena.edu.co

Joan Josep Vergé Oms
Vicepresidente de la Fundación Agricultores Solidarios y
Responsable de Migración y Desarrollo - Unió de pagesos de Catalunya Avenida Tortosa, 2 - Edificio Mercolleida. Of. 25-27 - 25005 Lleida
Te!. (034) 973 22 32 44 - 973 72 73 88 www.agricultoressolidarios.org/
E-mail: jjverge@uniopagesos.org

Marco Aurelio Oliveros G. Fundación Agricultores Solidarios Representante para Colombia Carrera 24 No. 85 A 53
Teléfono: +57-1- 6182537 Celular: 316 7432245
Correo: mol iveros@agricultoressolidarios.org Bogotá - Colombia www.agricultoressolidarios.org/

Coordinación de Contenidos:
David Rodríguez

Diseño y Maquetación:
Instituto San Pablo Apóstol

Fundación Agricultores Solidarios:
Av. Tortosa n° 2. Oficina 40. CP: 25005. Teléfono: 973 223244. Lleida, España. pagesossolidaris@pagesossolidaris.org

Impresión:
Instituto San Pablo Apostól Cra 24B # 29A-00 Sur PBX.: 2027919
Bogotá - Colombia

# INTRODUCCIÓN

Los sistemas de protección de cultivos tienen como objetivo prin¬cipal el desarrollo de una actividad económica, que se deriva de la protección de los cultivos de condiciones climáticas adversas.

Actualmente también es un factor de competitividad en los mer¬cados, ya que se puede conseguir producciones anticipadas, fuera de la estación (cultivos forzados o semiforzados), de alta calidad de los productos (sin daño por agentes climáticos o plagas) y mayor productividad.

Las instalaciones para protección de cultivos pueden ser diversas, por las características y complejidad de sus estructuras, como por la mayor o menor capacidad de control del ambiente.

Una posible clasificación, podría hacerse entre túneles e inver¬naderos. Pero también hay que tener en cuenta las estructuras de protección más sencillas como son las mallas de protección (umbráculos).

# EL ORIGEN DE LOS INVERNADEROS

China, Egipto e India fueron las primeras civilizaciones en utilizar abrigos para la protección de las plantas contra bajas temperaturas, lluvia o una excesiva radiación. Más tarde en Grecia y Roma se empleó esta técnica para el forzado de las plantas.

En el Renacimiento un tipo especial de edificación conocido como "orangery" protegía a las plantas de las bajas temperaturas y se encontraban fundamentalmente en jardines botánicos o colecciones.

En el s. XIX la producción a gran escala de vidrio hizo que los productores se habituaran a los invernaderos, lo que se convirtió en un incentivo para su construcción.

En Europa solamente a partir de 1.920 y en los Países Bajos comenzó a producirse un desarrollo sostenido de los invernaderos construidos con estructuras de madera y cristal.

A partir de la década de los 60 el ámbito y la filosofía de la producción protegida cambio completamente. De lo países nórdicos se desplazó a las zonas más meridionales con climas más suaves (Italia, España, Francia). La cuenca mediterránea, dadas sus especiales condiciones climáticas, entró en contacto con los invernaderos tras la introducción del plástico en la agricultura. Esto se utilizaba tanto para cubrir invernaderos como para el acolchado de suelos y fue de vital importancia para la introducción del riego por goteo.

La superficie de invernaderos aumentó significativamente en Europa y Asia en las décadas de los SO y 60. El Sur de Italia y países norteafricanos, pero especialmente Almería proporcionaron solidez a este sistema productivo.

En el norte de África y Suramérica la producción temprana puede ser muy importante como actividad generadora de empleo y riqueza.

Ya en la década de los 80, con el fin de lograr ambientes de cultivo uniformes libres de fluctuaciones de temperatura se dota a los invernaderos de mayor volumen interior. Las ventanas se disponen tanto de laterales como en la cubierta, con el fin de controlar la circulación de aire durante la estación cálida o los niveles de humedad cuando sea necesario. Se presta especial atención a la intercepción de la luz, a la orientación del invernadero y a la forma e inclinación de la cubierta, con el objetivo principal de mejorar el balance térmico ya que la energía era el factor de mayor importancia.

## Ahorro de energía:

Solamente una pequeña parte de la radiación solar que entra en el invernadero es aprovechada para la formación di biomasa. La mayor parte de esta radiación (alrededor del 70%) es absorbido por el cultivo y partes estructurales del invernadero como energía térmica. Esta fracción regula el calor latente (transpiración, evaporación, etc.) o el balance de calor sensible de todo el sistema.

La condensación en la zona caliente de la parte interna del material de cubierta, convierte el calor latente en sensible y parte de este se pierde por la ventilación. De esta manera se pierde calor sensible y latente.

Las tecnologías de aislamiento pueden reducir la transmisión de luz al interior del invernadero, al tiempo que permiten un ahorro de energía. Ello, aunque la zona mediterránea no sufre en general de falta de luz, puede ser crítico en algunos meses del año, lo que disminuye la producción de biomasa.

Las pantallas térmicas reducen la radiación un 3-5%, pero permiten un ahorro nocturno de energía del 30-40%. Las dobles cubiertas reducen la radiación un 1O-15€ y permiten un ahorro del 25-40%, lo que no es suficiente para compensar la pérdida de radiación.

## Control de humedad:

La humedad es un problema recurrente en invernaderos en los que la dinámica de temperaturas y la falta de sistemas de calefacción provoca aumentos de la humedad. Su valor puede oscilar entre un 40% durante el día a un 85% en la noche. Humedades relativas elevadas deben ser evitadas por su efecto negativo sobre el desarrollo de las plantas. La tasa de transpiración se reduce y si este efecto a corto plazo provoca una disminución de consumo de agua, a largo plazo afecta negativamente a la absorción de nutrientes y estimula la difusión de agentes patógenos.

# ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE CUBIERTA

## *Estructuras:*

1. Las estructuras de malla o umbráculos: son un tipo de estructuras que tienen como función básica sostener mallas anti-pájaros, anti-insectos y proteger los cultivos de las inclemencias meteorológicas como los vientos. Otra función en el caso de cultivos hortícolas de porte indeterminado, sería la de proporcionar el sistema de entutorado.

El comportamiento de las mallas en relación a la temperatura, es que no existen diferencias entre la temperatura mínima y la temperatura media del interior y el exterior de la malla. Solo las temperaturas máximas son 2-3°C superiores en el interior de la malla

3. Los invernaderos: son una de las herramientas que nos permiten controlar el microclima.

Partiendo de diferentes materiales para crear una estructura, más o menos cerradas con cubiertas transparentes (vidrio o plástico) que permiten la penetración de la radiación solar para crear el llamada "efecto invernadero':

2.1 *Invernaderos de madera y plástico*

Son estructuras sencillas, normalmente en forma de capilla, cubiertas con plástico. Suelen tener ventilación lateral y en algunos casos cenital sobre la misma cubierta.

*2.2- Túneles*

Estructura generalmente de hierro en forma de arco cubierta con plástico.

Túnel de semiforzado (ejemplo fresas) sería aquel que permitiera aumentar la precocidad de los cultivos respecto al aire libre. Normalmente carecen de ventanas, y el sistema de ventilación se consigue levantando los plásticos. Pueden tener anchura variable entre 1-4metros.

Túnel de forzado son túneles de anchura de 6-9metros que tienen ventilación lateral, en los que se puede realizar un cultivo forzado. Permite la tecnificación de la estructura e implementar sistemas de calefacción.

## *2.3- Invernaderos. Tipo parral*

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal:

*La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos).

Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2 m en sentido longitudinal y 4m en dirección transversal.

Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta.

*La estructura horizontal está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico.

Los invernaderos planos tienen una altura de cubierta que varía entre 2,15 y 3,5 m y la altura de las bandas oscila entre 2 y 2,7 m.

## *2.4- Invernaderos. Tipo Almería (raspa y a maga do)*

Su estructura es muy similar al tipo parral pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbrera, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagiie de las aguas pluviales. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m, la de las bandas entre 2 y 2,5 m.

La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2x4 y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección este-oeste.

*2.5- Invernadero. Tipo Multitúnel*

Son estructuras de acero que unen diversas naves de pie recto y cubierta de plástico semicircular o en arco apuntalada. Cada nave suele tener una anchura de 8-10 metros y la altura debajo da la canal de entre 3.5-4.5 m. Las ventilaciones pueden ser laterales, cenitales (superior o desde la canal) o la combinación de ambas.

*2.6- Invernadero de cristal o Tipo Venlo*

Este tipo de invernadero, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3,2 m. Desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1,65 m y anchura que varía desde 0,75 m hasta 1,6 m.

La separación entre columnas en la dirección paralela a las canales es de 3m. En sentido transversal están separadas 3,2 m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, o 6,4 m si se construye algún tipo de viga en celo.

# Materiales de cubierta

En los países de clima cálido los invernaderos en su mayoría tienen cubiertas de película de plástico. Un Plástico es el resultado de la mezcla de un polímero} que generalmente es polietileno} con aditivos.

Por el contrario en países de clima frío} las cubiertas de los invernaderos suelen ser de vidrio o planchas de policarbonato} que requieren estructuras reforzadas y resultan muy costosas.

Los plásticos están formados por PELD más diferentes aditivos para conseguir diversos efectos:

- Antioxidantes: Protección durante la fabricación del film.
- Deslizantes y antibloqueo: Evitan que el film se pegue
- Absorbedores y estabilizadores UV: Duración
- Fotoselectivos: Antiplagas, fluorescencia. antitermicidad.
- Antigoteo: Evitan la formación de gotas en la cubierta.
- Térmicos: Evitan perdidas de temperatura durante la noche.

El Acetato Vinilo ( plástico EVA) aumenta la absorción de IR sin reducir su transparencia al ~ la radiación Visible y el IR corto.

El PE infrarrojo, se obtiene añadiendo Silicato Aluminio o de Magnesio} y permite reducir perdidas de IR.

Hoy en día se utilizan los plásticos multicapas} que se obtienen de la coextrusión y combinan todas las cualidades requeridas. Por ejemplo, la resistencia mecánica} la resistencia a la elongación, la duración, la antiadherencia, el efecto térmico y la transmisión de la luz de EVA.

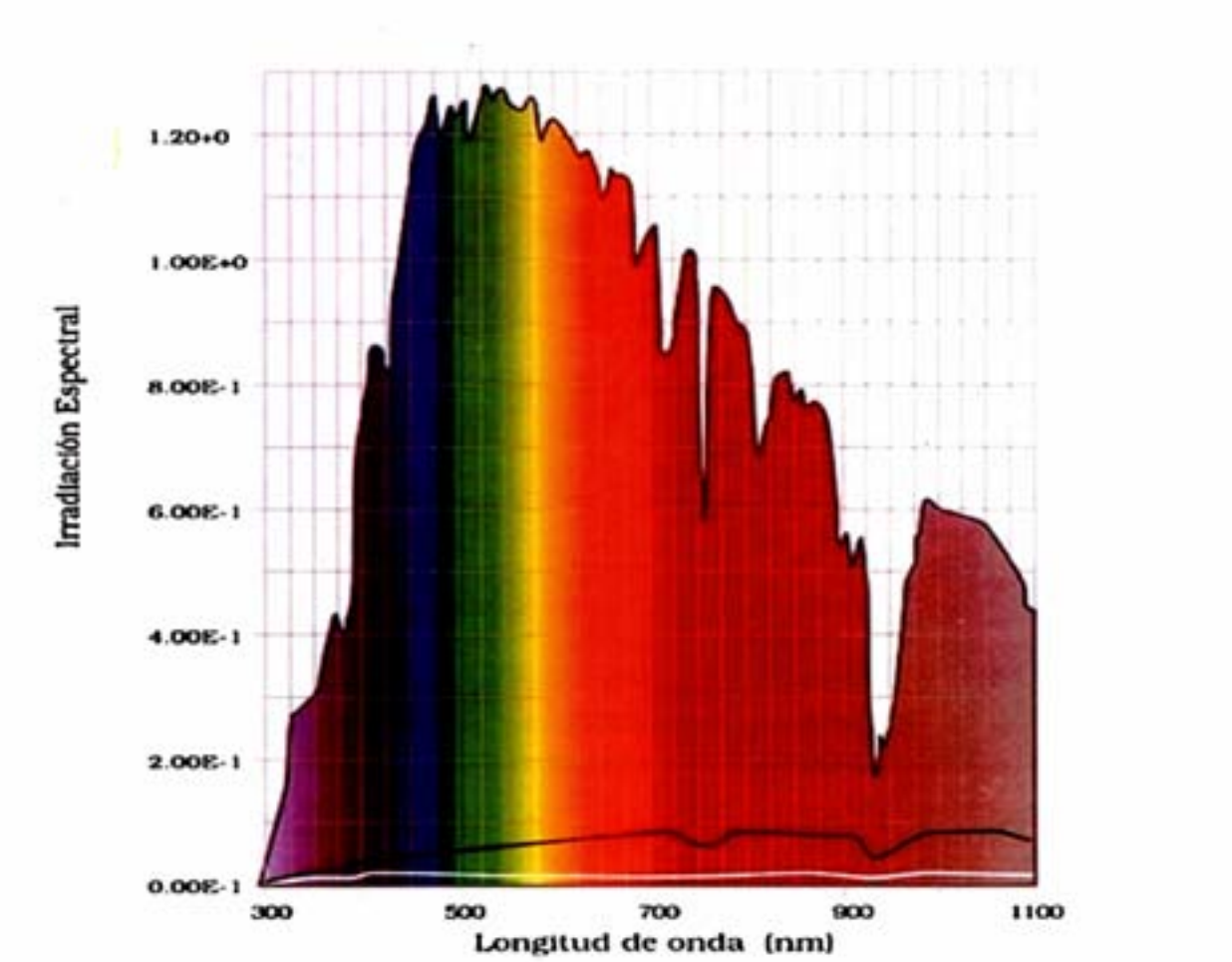
## *Funciones de los plásticos:*

Las películas plásticas son livianas} seguras y requieren menos estructura que los vidrios. El plástico más común es el polietileno debido a su no toxicidad y al amplio abanico de posibilidades que brinda.

Es importante revisar algunos puntos básicos acerca de la radiación solar antes de hablar de las propiedades de las películas. La radiación solar tiene influencia directa en el crecimiento del cultivo, el invernadero y la duración de la película. La radiación solar se puede dividir en tres partes: La radiación ULTRAVIOLETA (UV)} la LUZ VISIBLE Y el INFRARROJO (IR)

Cada uno de ellos se caracteriza por su longitud de onda} que son expresadas en nanómetros (nm).

La Radiación Ultravioleta (UV) es la parte del espectro solar con mayor energía. La mayoría de la radiación UV se absorbe en la capa del ozono. Para las plásticos de invernadero nos interesan los espectros UV-b (280-320 nm) y UV-a (320 a 380 nm) que son responsables de la coloración de las flores} el bronceado de la piel y también la degradación del polietileno. Por esto los plásticos de invernadero deben estar protegidos contra la degradación UV con aditivos estabilizados.




La siguiente parte del espectro solar es la Luz Visible. Diferentes longitudes de onda corresponden al azul, verde, amarillo y rojo. La radiación activa de fotosíntesis, que es la parte de la radiación que es usada por las plantas para la fotosíntesis (PAR), cae dentro del espectro visible (400-700 nm). El azul y el rojo son las partes más sustanciosas de dicha radiación activa, ya que la clorofila los absorbe en forma mucho más eficaz que el verde.

La Radiación Infrarroja (IR) (780-3000nm) NIR es la parte de la radiación solar no usada por las plantas y produce solo calor. Dependiendo de la región y la estación del año, esta pude beneficiar el clima del invernadero o puede introducir problemas de sobre calentamiento. La zona final del espectro de radicación solar es el lejano infrarrojo (3000 a 5000nm) TIR. Este tipo de radiación no es causado por la radiación directa del sol, pero es importante para los invernáculos porque causa parte del llamado "Efecto Invernadero': Esta radiación es producida por todo cuerpo tibio que se esta enfriando. El "Efecto Invernadero" se debe a la virtud del vidrio, de retener esta radiación (lejano infrarrojo) que de otra forma se perdería durante la noche, y por lo tanto implicaría una reducción de la temperatura del invernadero. El polietileno en cambio, no tiene esta propiedad, pero usando co-polímeros de etileno (EVA, EBA) o aportes minerales (fillers) es posible incrementar su absorción de la radiación del lejano infrarrojo.

## *Propiedades de los plásticos:*

Transmisión de luz; transmisión de calor; expectativa de vida; plástico anti-goteo; plástico que enfrían; Transmisión Selectiva de luz: Plásticos anti-virus (anti-insectos).

a) Transmisión de luz

La regla" 1 % de luz es 1 % de producción" sugiere que la luz es un factor muy importante. Sin embargo este factor es cierto si la luz es el factor limitante en la producción, como lo es en el norte de Europa por ejemplo. En regiones de alta radiación, como lo es el Mediterráneo, y regiones tropicales, lo opuesto también puede ser verdad: la alta radiación conduce a excesivo calor dentro del invernadero. Al hablar de transmisión de luz se debe distinguir entre luz directa y luz difusa. Durante días despejados, los rayos solares no son bloqueados por lo que la mayoría de la radiación es directa. En días nublados los rayos solares se encuentran con finas gotas que transforman la luz en difusa. De hecho, lo mismo puede decirse de las películas para invernaderos. Una clara película transparente trasmite los rayos solares sin difundirlos, logrando una alta transmisión de luz directa. En regiones con alta radiación puede producir quemado de plantas, flores o frutos. Agregando "fillers" minerales a la película se puede difundir la luz en todo el invernáculo y lograr que incluso las partes mas bajas de la planta reciban luz.

Este tipo de películas se denominan difusas y generalmente tienen una transición total S % menor a una película transparente clara. Igualmente esto se ve compensado ya que al tener mayor luz difusa el cultivo se desarrolla mejor, especialmente cultivos de mucho crecimiento vertical como el tomate.

b) Transmisión de calor

Como se mencionó, el polietileno carece de la capacidad de absorber ondas altas como el infrarrojo lejano. Por eso se necesita añadir aditivos "fillers" minerales o acetato de vinilo. Con esto se consigue absorber longitudes de onda mayores a 3000 nm.

Los "fillers" minerales tienen una buena capacidad de retención del calor, pudiéndose reducir en 20% las pérdidas. Un plástico para invernadero con un factor de termicidad mayor a 20% se llama térmico. Esto es de especial interés en noches despejadas de invierno, en que las pérdidas de radiación infrarrojo lejano es muy grande. Sin embargo el agregado de "fillers" minerales afecta la transmisión de la luz a través de la película. Otra alternativa era usar EVA (co-polímero de vinilacetato) en vez de polietileno puro. En este caso la transición de la luz no se afecta, se mantiene muy alta. El porcentaje de co-polímeros no puede aumentarse indefinidamente en una única capa por el efecto "creep" que es el estirado permanente de la película a carga constante. Es por esto que las películas para invernaderos son coextruídas, con varias capas simultaneas. En un plástico coextruída

para invernadero, una capa interior con alto contenido de EVA puede ser combinada con capas externas con bajo contenido de EVA para que el paquete total tenga buenas propiedades de

termicidad y se mantenga dentro de los límites del “creep” (Termicidad = % de calor que se pierde, en consecuencia cuanto menor es este valor más térmica es la película).

c) Expectativa de vida

Lo primero que influye en la vida de una película es el espesor. Cuanto más grueso mejor soportará la degradación. El polietileno es atacado por la radiación UV y es por eso que se los aditiva con absorbedores de UV y estabilizadores de uv. Los absorbedores de UV son protectores como un bronceador, absorbiendo el UV y transformándolo en calor. Los estabilizadores de UV previenen la degradación y pueden incluso restaurar el daño.

La vida de una película específica, sin embargo, no puede ser expresada en meses o años, pero está fuertemente determinada por la ubicación en la que la película es utilizada. La radiación solar no es igual en todos los lugares de la tierra. En regiones de baja radiación las películas de invernadero duran más que en regiones de alta radicación. En zonas de elevada altitud, donde el UV es muy alto, la vida útil de la película es reducida en forma considerable.

La radicación solar se expresa en Whm2. Se puede calcular cuanta radiación solar soportará una determinada película para invernadero. Conocer la radiación anual de un determinado lugar puede ayudar a predecir la duración del plástico.

Algunos productos químicos pueden afectar la resistencia del plástico. En particular pesticidas que contienen azufre y /o cloro pueden atacar el sistema estabilizador de la película. En invernaderos de rosas, en los que el usado de azufre es común, los productores deben asegurarse que la vaporización de azufre no produzca oxido de azufre, que puede reducir seriamente la vida útil de la película.

La vida útil de un plástico para invernadero está también influenciada por la degradación térmica. La película esta expuesta a temperaturas muy altas en las partes de la misma que está en contacto con las estructuras del invernadero. Allí se puede alcanzar 80°C. Cintas blancas o pintura acrílica protegen las películas al evitar contacto directo.

Otro tipo de degradación es la mecánica, que ocurre cuando un plástico fue colocado muy suelto. En días ventosos las películas flamearán y se degradarán mecánicamente. Durante la instalación, la película debe ser colocada tensa uniformemente. Si es colocada en el invernadero y la temperatura exterior es inferior a 10°C es necesario tensada nuevamente cuando la temperatura exterior se incremente en forma considerable.

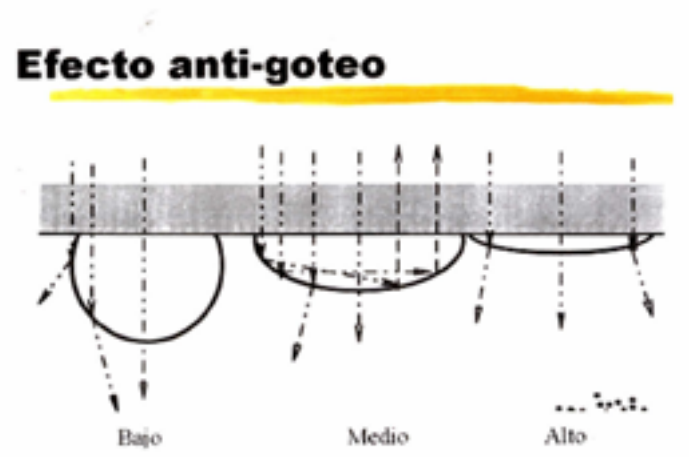
d) Plásticos anti-goteo

La alta humedad relativa en el invernadero y la alta diferencia de temperatura entre el interior y el exterior generan condensación de vapor de agua en la película. Estas gotas reducen la transmisión de luz en 15% o más y pueden dañar al cultivo al caer.

Existen aditivos que son productos químicos tenso-activos (surfactantes) que permiten controlar

estos problemas. Los surfactantes (agente anti-goteo) funcionan como un jabón en la superficie de la película porque el agua condensada formará una fina capa en la superficie de la película en lugar de gotas y escurrirá.

e) Plásticos que enfrían




El excesivo calentamiento de los invernaderos en ciertas regiones de alta radiación puede tener una influencia negativa en las plantas. Para controlar el calentamiento del invernadero se desarrollaron películas pigmentadas. Estas películas contienen pigmento s perla brillante que selectivamente reflejan parte de los rayos infrarrojos. Asimismo estos pigmento s dan a la película un carácter difuso, que a su vez contribuye con un clima mas moderado en el invernadero.

Hay dos tipos básicos de películas de filtrado, basado en el pigmento perlado brillante. El primer tipo es el Kool Lite Film, con un efecto enfriador de 6 a 7 °C de menos dentro del invernadero por la tarde (comparado con una película normal térmica difusa). Esta película fue creada para lugares con mucha radiación y/o plantas con necesidades de radiación bajas. La última novedad es el Kool Lite Plus, un nuevo pigmento perla brillante que provoca el mismo efecto positivo pero con mayor transmisión de luz. La película puede ser usada en regiones con menor radiación.

f) Transmisión Selectiva de luz: Plásticos Anti-virus (anti-insectos)

Los plásticos de “luz fotoselectiva” seleccionan de la radiación solar únicamente la luz necesaria para el crecimiento y el desarrollo óptimo de las plantas y al mismo tiempo impide la entrada de luz necesaria para el desarrollo de algunas plagas como son los insectos y algunos hongos.

La película “fotoselectiva anti-virus” consiste en el bloqueo al pasaje de la radiación ultravioleta (UV) y la transmisión del resto de la radiación solar a través de la misma. Dicha radiación UV es la fase de la radiación de mayor importancia para la visión de los insectos pero sin importancia para la fotosíntesis de las plantas y la visión del hombre.

# Empleo de Mallas de Protección Fitosanitaria

Proporcionan protección de los cultivos contra ataques de insectos plaga, que provocan daños directos en las plantaciones y/o indirectos, como la transmisión de virus.

Según la protección que se quiera dar a los invernaderos frente insectos plaga, 'las mallas pueden ser de diferente tamaño de orificios. Las mallas anti-Tuta son de 6x9 hilos/ cm2, las antiácidos de 6xS hilos/ cm2, las anti-Bemisia de 15x10hilos/ cm2 y las anti-Trip de 20x10hilos/ cm2.

El principal inconveniente que presentan las mallas en las ventanas de los invernaderos, son la reducción de la tasa de ventilación en épocas cálidas. Esto conlleva incrementos de temperatura y problemas de condensación.

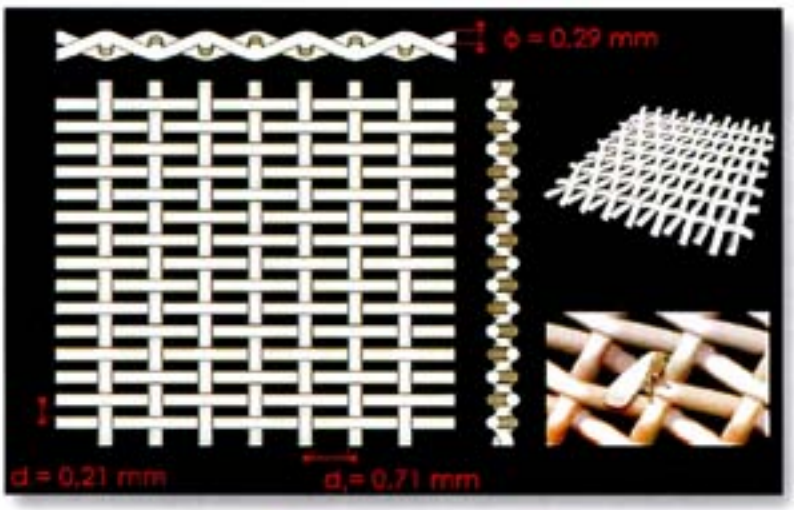


Figura: Características de las mallas y exclusión de las plagas (López, J.e. Estación experimental Fundación Cajamar).

Como ejemplo, si contamos que un invernadero sin mallas ventila el 100%, cuando se coloca una malla de 16xl0 hilos/ cm2 solo ventila el 55% con una malla de 20xlO hilos/ cm2 un 50% y con una de 22xll hilos/ cm2 un 40%.

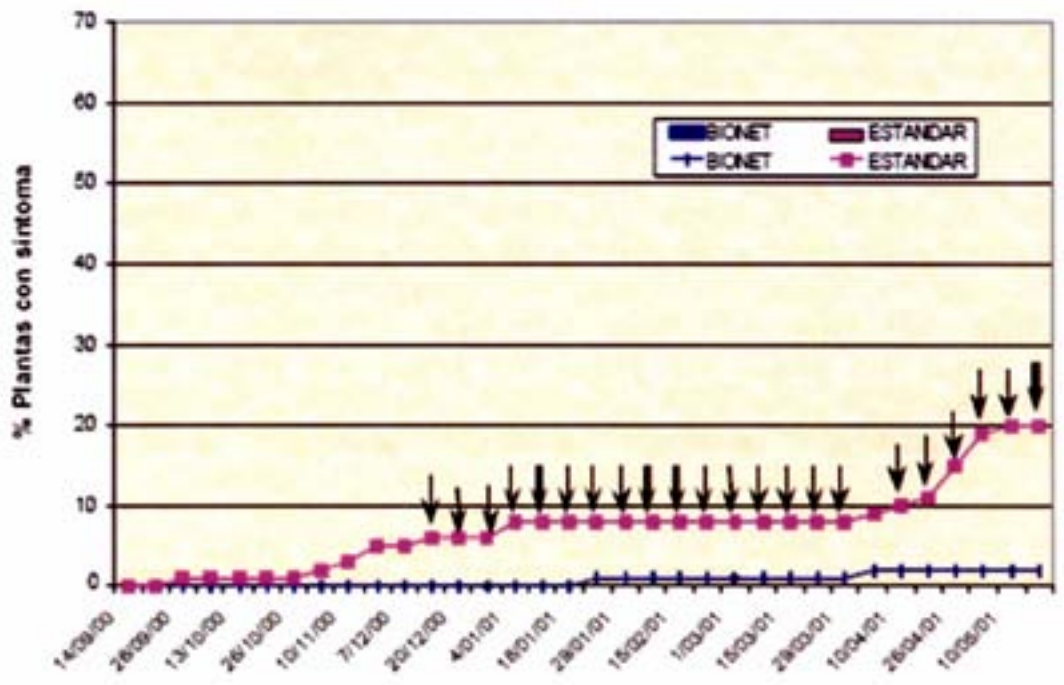



Figura: Evolución acumulativa de la incidencia de TYLCV en un invernadero Estándar (malla 6x8) frente uno con malla Bionet (21x9) fotoselectiva.

## *CONTROL CLIMÁTICO. VENTILACIÓN NATURAL*

La ventilación natural influye en el clima del invernadero, ya que tiene un efecto directo en el intercambio de masa y energía con el ambiente exterior. En consecuencia, un buen diseño de los sistemas de ventilación puede mejorar el control del clima, que influye de un modo determinante en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

La ventilación afecta en primer lugar a la temperatura interna, porque es necesaria evacuar el exceso de calor que se produce en los momentos de alta insolación. También incide negativamente en la composición del aire interior, principalmente al producirse un déficit de la concentración del C02.

El tercer factor climático que se ve afectado por la ventilación es la humedad. La falta de ventilación, sobretodo en los meses fríos, provoca exceso de humedad, favoreciendo la condensación en las cubiertas y el goteo sobre los cultivos. Esto disminuye la transmisión de radiación solar y favorece las enfermedades criptogámicas.

La diferencia de presión causante de la ventilación natural son debido a dos fuerzas principales: a) Fuerzas del viento: originadas por la velocidad del viento exterior.

b)Fuerzas térmicas: originadas por la diferencia de temperatura existente entre el interior y el exterior del invernadero.

En la mayoría de ocasiones la influencia del efecto térmico es despreciable en comparación con el efecto eólico. Diversos autores señalan el valor de velocidad de viento de 1.S mi s como límite a partir del cual el efecto térmico prácticamente no tiene ninguna influencia. En los invernaderos mal ventilados, como el parral almeriense, el efecto térmico puede tener más influencia que en los multitúneles o Venlo.

Efecto eólico: Según este modelo simplificado, la ventilación natural debida al efecto eólico es función de la superficie de ventanas, del coeficiente de descarga de las ventanas, de los coeficientes de presión sobre el invernadero y la velocidad del viento exterior. Los modelos de cálculo se utilizan relativamente poco, y en cambio se suele recurrir a la medida directa de la tasa de ventilación de invernaderos representativos de las estructuras más utilizadas.

## Tasa de ventilación de invernaderos multitúneles

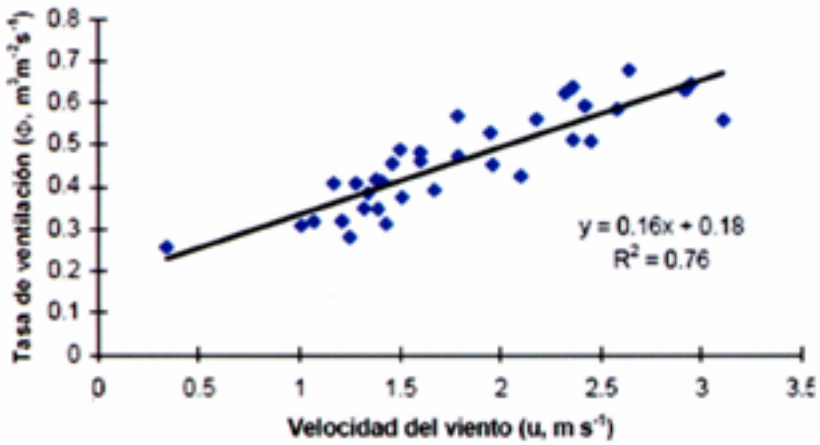



*Figura 1. Tasa de ventilación para invernadero multitúnel a barlovento*

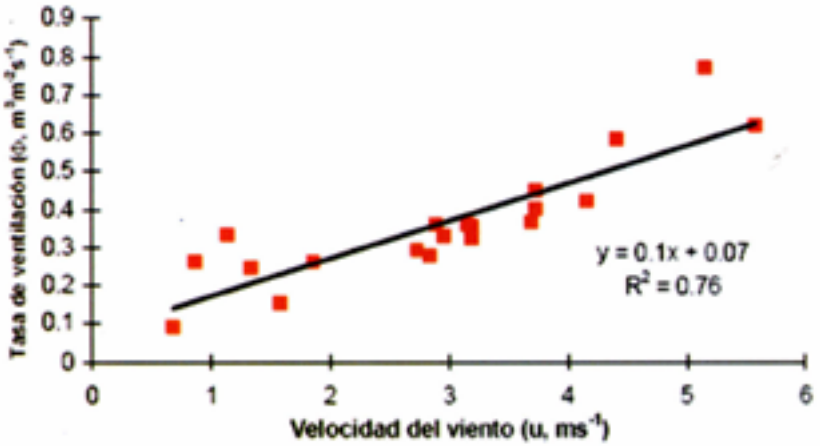



*Figura 2. Tasa de ventilación para invernadero multitúnel a sotavento*

La ventilación de un multitúnel de tres naves con dos tipos de aperturas de ventilación (abatibles y enrollables) y con vientos de distintas direcciones. Si se representan las tasas de ventilación referida a la unidad de superficie de ventanas, se obtienen los siguientes resultados:

La ventilación a barlovento y sotavento son estadísticamente diferentes tanto para el caso de las ventanas sin mallas como con mallas antipulgón o antitrip. Además en todos los casos la ventilación a barlovento es claramente superior a la ventilación a sotavento.

La incorporación de mallas antipulgón y antitrip en las aperturas de ventilación provoca un importante descenso de la tasa de ventilación del invernadero de forma que en condiciones habituales no se alcanzaran las tasas de ventilación recomendadas internacionalmente (0.75-1 renovaciones por minuto de acuerdo con la ASAE, 1991)

## *Tasa de ventilación de invernaderos parral*

Los resultados que se presentan a continuación son un resumen del estudio llevado a cabo por Pérez-Parra (2.002), quién midió la tasa de ventilación de un invernadero parral de 5 Capillas con ventilación cenital (ventanas enrollables y abatibles) y lateral (ventanas enrollables) con y sin malla antiinsecto.

Efecto del tipo de ventana en la tasa de ventilación: Con ventanas abatibles, se obtienen tasas de ventilación entre un 35% y un 60% más altas a barlovento que a sotavento, para velocidades de viento comprendidas entre 2 y 7 m/s respectivamente.

Respecto a los datos de barlovento se observa que la venta abatible es bastante más eficaz que la enrollable, obteniéndose tasas de ventilación entre 3y 4 veces más altas, para un rango de velocidades comprendidas entre 2 y 7 m/s.

En cuanto a los datos de sotavento, nuevamente la ventana abatible se muestra más eficaz que la ventana enrollable. Se obtienen tasas de ventilación 2-2.5 más altas que con ventanas enrollables.

Parece claro que en las ventanas abatibles, el alerón ejerce un efecto modificador sobre el flujo de aire que se aproxima a la ventana, de forma que se incrementa la velocidad de entrada y salida a través del hueco abierto, con lo que se obtienen mayores caudales de renovación de aire que en las ventanas enrollables.

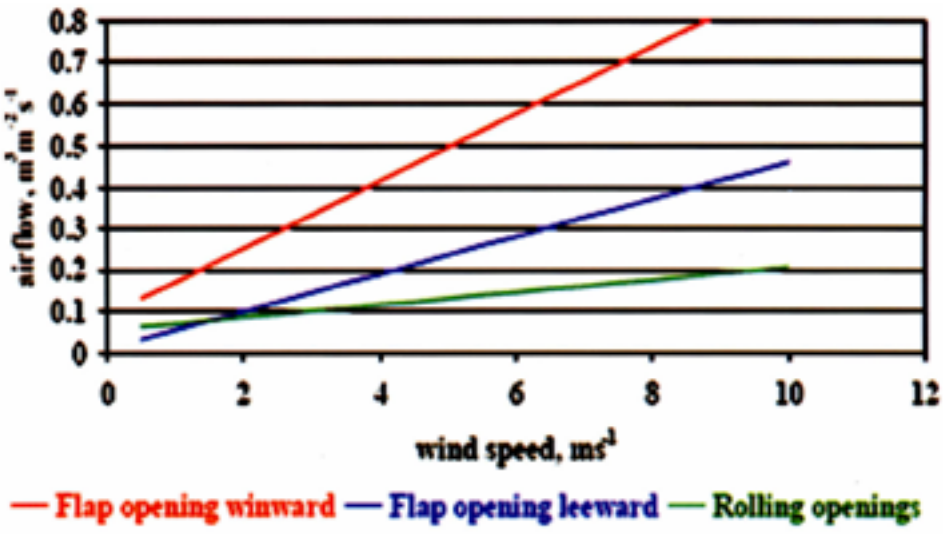



*Figura 3. Caudal por unidad de superficie de ventana frente a velocidad de viento en el caso de ventanas abatibles(barlovento y sotavento) y enrollables. Perez-Parra, 2002.*

Efecto de las mallas antiinsectos en la tasa de ventilación: La colocación de malla antiinsecto en las ventanas con una porosidad del 39% ha dado lugar a reducciones en el caudal de ventilación del 33% en el caso de ventanas cenitales enrollables y entorno al 20% para el caso de ventanas cenitales abatibles.

Teniendo en cuenta que las tasas de ventilación que se obtienen cuando solo se abren las ventanas cenitales sin malla son insuficiente, cuando se instala una malla de tipo antiinsecto en las ventanas, se producen tasas de ventilación muy pequeñas, con el riesgo de tener gradientes térmicos muy elevados, un mal control de la humedad relativa y posiblemente, fuertes descensos de la concentración C02 en algunas zonas del invernadero. En invernaderos de mayor superficie, habituales en el campo, desde el punto de vista del clima del invernadero no se aconseja el uso de ventanas' cenitales enrollables como únicas aperturas de ventilación.

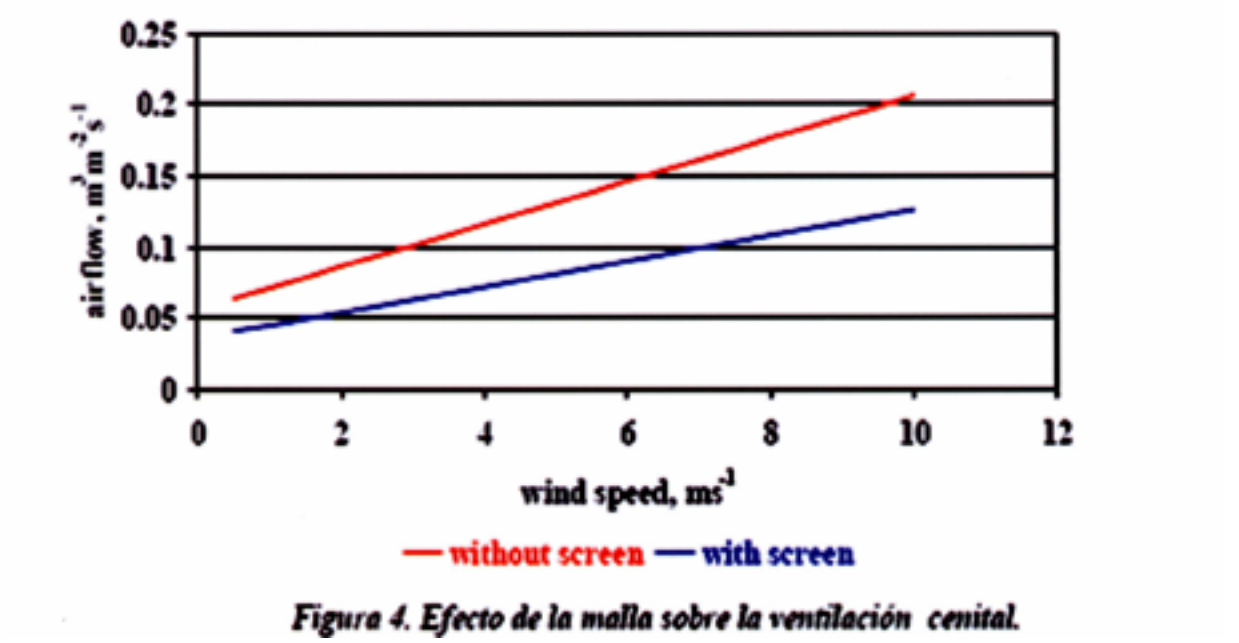



*Figura 4. Efecto de la malla sobre la ventilación cenital.*

## *Comparación de tasas de ventilación de invernaderos ven lo, multitúnel y parral*

No es fácil comparar la ventilación de distintos modelos de invernaderos en base a medidas en campo. En la figura se compara el flujo de aire de las tres estructuras. Queda claro que el multitúnel es el que mejor ventila, seguido del Venlo y del parral. Las diferencias fundamentales no se deben a la eficacia de las ventanas, si esta se expresa como el aire evacuado por unidad de hueco de ventana, si no a la mayor superficie de ventanas del multitúnel respecto a los otros modelos. Es importante señalar que el modelo vedlo presentan ventanas a ambos lados de la estructura, y que en esta comparación solo se han considerado como abiertas las ventanas de sotavento. Cabe esperar que abriendo las ventanas a barlovento, el venlo tendría una tasa de ventilación similar a la del multitúnel.

## *Sugerencias para mejorar la ventilación natural*

Una manera de aumentar el volumen de aire evacuado es la de escoger aquella ventana que presente menor resistencia al paso del aire, o dicho de otra manera, mayor coeficiente de descarga. A mayor coeficiente de descarga mayor intercambio de aire. Pérez-Parra (2002) midió los coeficientes de descarga de una serie de ventanas en función del ángulo de apertura del alerón, del factor de forma o coeficiente entre longitud L y altura H de la ventana, y de la porosidad de la malla antiinsectos, en caso de que la ventana disponga de este tipo de malla. Obtuvo las siguientes conclusiones:

El coeficiente de descarga aumenta con la apertura del alerón ..

• El factor de forma tiene poca importancia en el coeficiente de descarga, o sea, a efectos prácticos no importa que las ventanas sean muy alargadas o más cuadradas siempre que tengan la misma superficie de ventilación.

La porosidad de la malla antiinsectos tienen mucha importancia en el intercambio de aire: a mayor porosidad mayor coeficiente de descarga. Es importante señalar que según el diámetro de los hilos que forman la malla y según el tamaño de los poros puede haber mallas del mismo efecto antiinsectos y de distinta porosidad.

Además de disminuir las pérdidas por fricción en las ventanas, la ventilación natural puede mejorarse aumentando la superficie de ventanas del invernadero y construyéndolas en el lugar y formas más adecuados. La manera más fácil de aumentar la superficie de ventilación es abriendo los laterales del invernadero. La combinación de ventanas laterales y cenitales aumenta notablemente la tasa de ventilación. Sin embargo, la importancia de la ventilación lateral en la tasa global de ventilación disminuye conforme aumenta la anchura del invernadero, no conociéndose de una manera cuantitativa cual es el grado de disminución de la renovación de aire con 1 distancia entre las ventanas laterales.

Mejora del diseño de los sistemas de ventilación natural en invernadero tipo parral multicapilla mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD) Baeza, E. J. y co1.2007.

Se ha completado la parte de la de simulación de mejoras en el diseño de los sistemas de ventilación natural en invernaderos tipo parral multicapilla mediante simulaciones informáticas llevadas a cabo con un programa de dinámica de fluidos computacional. A partir de ahora se pasa a la fase de validación y verificación de dichas mejoras en ensayos de campo y en ensayos de laboratorio con técnicas de visualización de fluidos con modelos a escala en canal de agua. Por otra parte, el IRTA ha conseguido llevar a cabo las primeras simulaciones de los procesos de ventilación incluyendo el cultivo, dando un paso más en la consecución de un modelo de simulación completo del clima de un invernadero con ventilación natural.

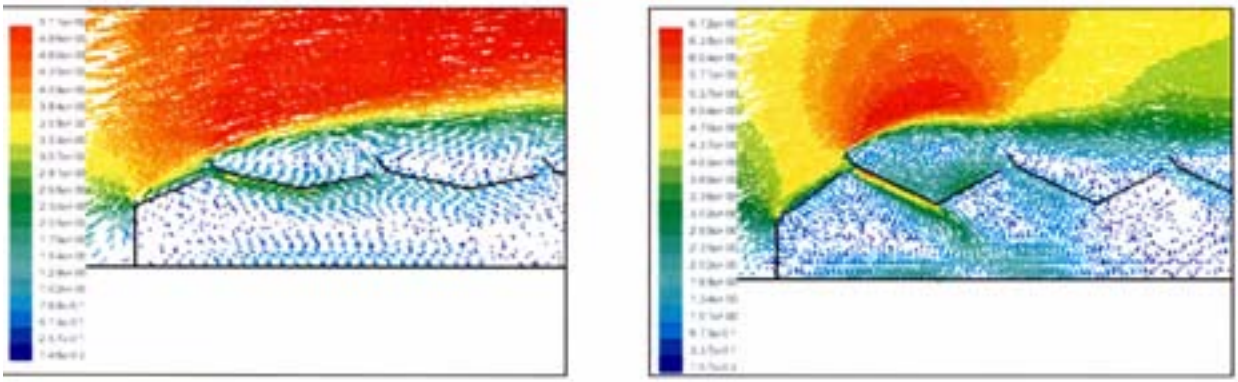
Respecto al trabajo de simulación con CFD del invernadero parral multica illa estas son las conclusiones más importantes que se han encontrado:

Un aumento del ancho de las ventanas cenitales abatibles respecto al tamaño que suelen tener de forma habitual, produce incrementos en los valores de intercambio de aire (ej. doblar el ancho de la ventana, pasando de 0,8 m a 1,6 m, supone que los valores de tasa de ventilación se multipliquen en un factor próximo a 3), una reducción del tamaño y número de zonas en las que el aire se mueve a una velocidad muy baja ( <0,5 m s-l), zonas de embolsamiento de calor.

El uso de dobles ventanas en cada nave produce un incremento notable en los valores de tasa de ventilación para todo el rango de velocidades de viento simuladas. Este incremento en el intercambio de aire se debe, sobre todo, a una mejora en el movimiento del aire en la parte superior e inferior.

Incrementos en la pendiente del invernadero parral multicapilla (aumentando la altura en cumbrera) por encima de los 20°, tiene una repercusión positiva en tres sentidos: se produce un notable aumento de la tasa de ventilación (se multiplica por 1,78 para una pendiente de

27°), mejora notablemente la circulación de aire, especialmente en zonas donde antes no había movimiento (primera y últimas capillas) y disminuyen los gradientes de temperatura interior-exterior.



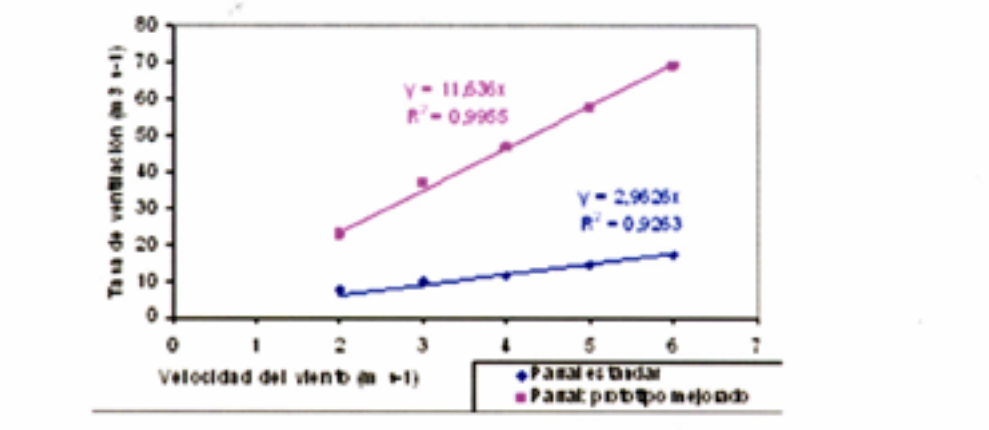
Campo vectorial de velocidades (m s-l) en las primeras dos capillas del modelo de pendiente estándar (120) Y el modelo de alta pendiente (270). Velocidad de viento 4 m s -1

• Respecto del tamaño del invernadero (no de capillas)¡lo más destacable es que la evolución de los valores de tasa de ventilación depende de la configuración y distribución de las ventanas cenitales en la cubierta. No se recomienda, en invernaderos con gran número de naves ¡colocar todas las ventanas en la misma dirección¡ siendo mejor disponerlas de forma alterna o usar ventanas dobles en cada capilla.

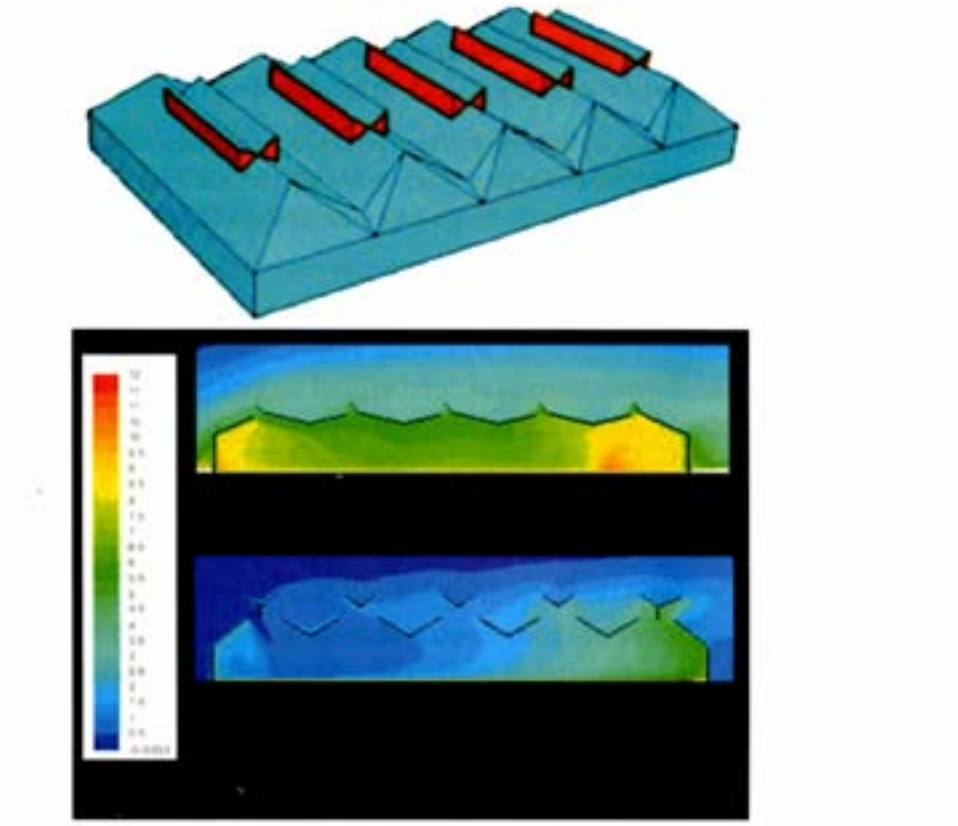
• La colocación de un deflector de flujo de aire en las ventanas de la primera y última capilla no tiene efectos significativos sobre los valores de tasa de ventilación, pero mejora notablemente la circulación de aire y la homogeneidad de los valores térmicos en la zona más baja del invernadero¡ sea cual sea la configuración de las ventanas cenitales.

• Cuando el invernadero ventila por efecto térmico, la combinación de ventanas laterales con las ventanas cenitales hace que se multipliquen los valores de tasa de ventilación, especialmente en invernaderos con pocas capillas¡ o en invernaderos largos y estrechos¡ dependiendo de si las ventanas están ubicadas transversal o longitudinalmente a los vientos dominantes respectivamente. La mejor ubicación de las ventanas laterales es en su parte inferior, pues incrementan los valores de tasa de ventilación en las condiciones más desfavorables (viento bajo o nulo). Para evitar el impacto directo del aire sobre el cultivo, se puede construir la ventana lateral de tipo abatible¡ para redirigir el flujo de aire entrante.

La conjunción de todos los cambios de diseño mencionados, en los dos puntos anteriores, permite proponer un diseño de invernadero parral multicapilla simétrico ¡con ventilación natural optimizada. Este nuevo- diseño permite multiplicar los valores de tasa de ventilación en un factor próximo a cuatro (en ausencia de ventanas laterales) y en un factor de 10 si además incorporamos las ventanas laterales abatibles ¡respecto al diseño del invernadero experimental. Este incremento en los valores de tasa de ventilación viene acompañado de un mejor movimiento de aire en la zona que ocuparía el cultivo, mayor homogeneidad en las temperaturas y menores valores de salto térmico.




Tasas de ventilación (m3 s-l) vs velocidad del viento (m s-l) obtenidas a partir de las simulaciones con el modelo de parral estándar y el modelo mejorado.



Detalle del invernadero parral con las mejoras incorporadas a partir de las simulaciones CFD y 2: mapa de diferencias de temperatura interior-exterior (°C) en la sección longitudinal central del invernadero parral estándar y el mejorado.

# CONTROL CLIMÁTICO.

## *OTROS METODOS DE REFRIGERACIÓN*

### *Nebulización*

Los sistemas evaporativos para el enfriamiento de invernaderos han sido desarrollados para proporcionar las condiciones de cultivo deseadas en cuanto a humedad relativa y temperatura. Estos sistemas se basan en la conversión de calor sensible en calor latente de agua evaporada mediante el aporte mecánico del agua. El principal método evaporativo es la nebulización, que consiste en la pulverización del agua en pequeñas gotas de 2-60mm de diámetro con el fin de aumentar la superficie de contacto con el aire. Invernaderos con este tipo de enfriamientos precisa de una menor ventilación para el mantenimiento de un clima adecuado. Por ello, el enfriamiento evaporativo puede compensar la falta de ventilación en la mayoría de invernaderos en clima con veranos cálidos.

El microclima del invernadero influye en la transpiración, pero también la transpiración influye sobre el clima del invernadero. Por ello, se espera que cualquier sistema de control climático como el sombreo o el enfriamiento evaporativo tenga un efecto sobre el clima del invernadero y por tanto sobre la tasa de transpiración.

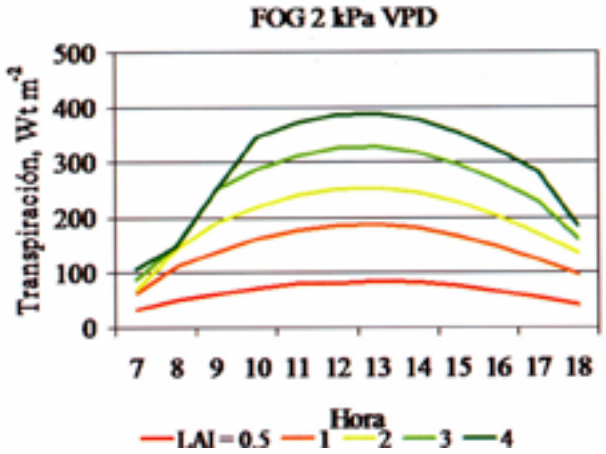
Para un día soleado en Almería, la figura muestra el aumento de temperatura para distintas tasas de renovación de aire y distintos índices de área foliar. Los resultados indican la importancia de una buena ventilación, especialmente cuando el dosel vegetal no está plenamente desarrollado. En este caso, un aumento de 20 a 30 renovaciones por hora supone una disminución de la temperatura de 5°C en un día soleado. Cuando el cultivo está totalmente desarrollado con una LA! de 4, la tasa de renovación de aire no afecta apreciablemente a la temperatura del invernadero.

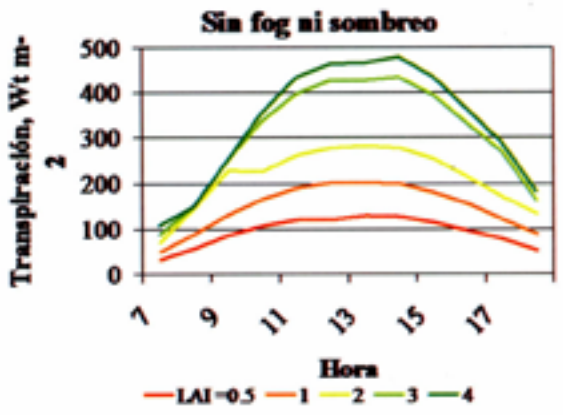
Cuando en el invernadero se maneja un sistema de nebulización, el estado de desarrollo del cultivo tiene un efecto menor sobre el clima del invernadero. Tanto la transpiración como el enfriamiento evaporativo son formas de aportar vapor de agua al aire, y ambos convierten calor sensible en calor latente. Por esta razón no se muestra el efecto del LA! sobre la temperatura de un invernadero equipado sobre un sistema de nebulización.

Por otra parte la influencia de la humedad del aire exterior sobre el clima del invernadero es clara. En un día soleado (radiación solar de 90Ow/m2) y con una humedad relativa del 38%, con una ventilación adecuada se puede conseguir temperaturas en el interior del invernadero 6°C por debajo de la temperatura exterior. Cuando los días son húmedos los' invernaderos están normalmente a temperaturas cercanas a las del aire exterior. Es bien sabido que en días secos el potencial de evaporar agua hasta el punto de saturación es mucho más alto que en días húmedos.

Se puede concluir entonces que los sistemas de nebulización son útiles en climas secos cuando no hay disponibilidad de otros sistemas de enfriamiento (ventilación pobre, sin sombreo y con un dosel vegetal escaso).En los países del Sur del Mediterráneo se conseguirán efectos mayores sobre la reducción de la temperatura a final de Julio y Agosto, cuando tiene lugar el trasplante para los ciclos del invierno.

La nebulización dismim1ye la transpiración de un 11 a un 50% en función de la LAI.A medida que el LAI aumenta el efecto de la nebulización sobre la reducción de la transpiración disminuye, dado que el nivel de humedad en un invernadero con un cultivo plenamente desarrollado es mayor y la nesecidad de aportar vapor del agua al aire menor.




Transpiración para distintos LA! y sistemas de control de clima (Montero)). 1.) y col. 2003)

En el caso de tener aguas salinas) la reducción del rendimiento es menor en un invernadero dotado de un sistema de nebulización) lo que significa que el efecto negativo de la sanidad puede ser reducido si el DPV en un invernadero se mantiene en niveles moderados.

En zonas en que los invernaderos se encuentran localizados donde la humedad al exterior está cerca del óptimo para muchas especies hortícolas. Es mejor actuar sobre la ventilación que no aplicar sistemas de enfriamiento evaporativo.

## *Sombreo*

Una alta intensidad de radiación da lugar a excesos térmicos. Se pueden registrar temperaturas superiores a 40°C proporcionadas por las bajas tasas de renovación del aire interior. Esto es consecuencia de una superficie de ventilación demasiado baja) agravada por las mallas anti-insecto.

Las temperaturas que sobrepasan el umbral óptimo inciden negativamente sobre la asimilación meta de carbono al aumentar la respiración. Cuando se aplica un sombreo excesivo sobre la cubierta del invernadero para tratar de conseguir unos niveles térmicos más adecuados) lo que a menudo provoca reducciones drásticas de radiación que merman la capacidad de asimilación potencial de los cultivos.

Entre los principales determinantes de la producción están: la cantidad de energía luminosa

depende de la radiación incidente sobre el dosel vegetal y el segundo está relacionado con el valor que adoptan los parámetros climáticos (intensidad de radiación) temperatura) déficit de presión de vapor) concentración de C02) y con el estado hídrico y nutricional del cultivo.

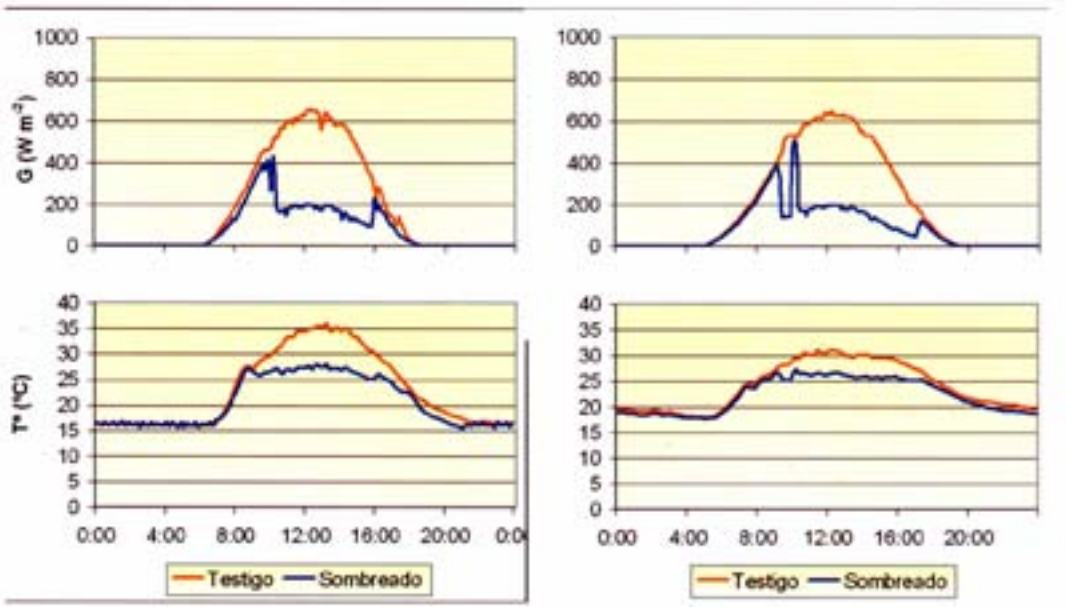
La mayoría de las especies hortícolas que se cultivan en el invernadero) son de alta saturación lumínica) cuyo dosel vegetal no llega a saturarse. Los sistemas de sombreado aplicados sobre estos cultivos tienen como objetivo mejorar la temperatura y el DPV y por tanto la materia seca) reduciendo lo imprescindible la luz incidente sobre el dosel vegetal.

Sistemas de sombreado pasivos o estáticos: Basados en la aplicación de un porcentaje fijo de reducción de transmisión de la luz sobre el cultivo con independencia de la variación de la intensidad de radiación durante el ciclo diario. Este sombreado se consigue mediante el blanqueo o la colocación de mallas de sombreo fijas.

**Sistemas de sombreado activos o dinámicos:** Basados en la aplicación de un porcentaje variable de reducción de transmisión de la luz sobre cultivo en relación a la variación de la intensidad de radiación y de temperatura durante el ciclo diario. Este sombreado se consigue mediante mallas móviles que preferiblemente se colocaran en el exterior) para no dificultad la tasa de renovación de aire. Las mallas móviles exteriores se accionan mediante consignas de intensidad de radiación y de temperatura y llevan incorporado un anemómetro como sensor de seguridad en caso de vientos fuertes.

El efecto de sombreado sobre el clima del invernadero) es eficaz como método de refrigeración dependiendo de diversos factores) especialmente de la capacidad del cultivo para disipar energía) es decir) en las primeras fases del cultivo cuando este tiene un bajo LA! el sombreado es más efectivo. En un cultivo de tomate con sombreado móvil se puede obtener una reducción de la temperatura del invernadero) al mediodía solar) de 7°C y de 2.2KPa de DPV respeto a un invernadero semejante dotado de ventilación natural. Cuando el LA! aumentó a 3.5 en condiciones semejantes de radiación) el efecto de sombreado fue menor.

El efecto de sombreado sobre la temperatura es menor cuando se mejora la ventilación del invernadero.




El sombreado estático sobre las plantas de alta saturación l{¡mínica suelen dar lugar a pérdidas productivas. El sombreado móvil) con una reducción del 36.4% de la radiación global incidente) a dado lugar a la misma producción comercial de tomate que en el cultivo de referencia debido a la acción conjunta de varios factores: El cultivo sombreado de hojas de mayor superficie foliar a interceptado mayor porcentaje de radiación) por otra parte el sombreado a mejorado las condiciones microclimáticas lo que ha incrementado la eficiencia en la conversión de la radiación en materia seca) debido en gran medida a la reducción de la foto respiración y por último el sombreado a reducido considerablemente la necrosis apical en el fruto de tomate.

El sombreado también ha reducido notablemente la absorción hídrica del cultivo al disminuir la transpiración del dosel vegetal ya mejorado ampliamente la eficiencia en el uso del agua.

| | Fruto no comercial | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Necrosis Apical | | E. Sombreo | Otros | | E. Sombreo |
| | Control | Sombreado | | Control | Sombreado | |
| CE 3,1 dS $m^{-1}$ | 8,9 | 2 78% | * | 1,9 | 1,5 | n.s. |
| CE 5,1 dS $m^{-1}$ | 27,8 | 13,2 53% | * | 1,6 | 0,9 | n.s. |
| Efecto CE | * | * | | n.s. | n.s. | |

Reducción de necrosis apical en tomate (Lorenzo, P.,y col.2003)

# CONTROL CLIMÁTICO. CALEFACCIÓN

El metabolismo de las plantas y la tasa de las reacciones metabólicas se ven afectados por la temperatura) llegando a duplicarse la tasa de crecimiento para muchos cultivos expuestos a frío) al incrementar la temperatura 10°C.

Cuando la temperatura desciende por debajo de lO-12°C) las especies termófilas (entre las que podemos considerar la mayoría de las hortalizas que se cultivan bajo invernadero en clima mediterráneo) presentan las siguientes alteraciones:

- Reducción del crecimiento.
- Disminución de la tasa de asimilación neta.
- Depresión de la respiración.
- Reducción del transporte y distribución de asimilados.
- Disminución de la absorción de agua y sales.
- Cambios anatómicos y morfológicos.
- Pérdida de fertilidad.
- Envejecimiento precoz del tejido fotosintético por necrosis celular

Los niveles de temperatura que maximizan la producción se sitúan entre 16-20°C para el período nocturno y 22-30°C para el diurno. Sin embargo) normalmente divergen del óptimo económico debido a los elevados consumos de energía que ellos suponen.

El aporte de calor necesario para mantener una temperatura de consigna dentro del invernadero dependen básicamente de: A) Material de cubierta; B) Sistema de calor; C) Condiciones externas de temperatura) viento) etc.

## Sistemas de calefacción por convección

Son sistemas en los que el elemento conductor del calor es el aire. Debido a su poca inercia) proporcionan un aumento rápido de la temperatura del aire) enfriándose de igual forma al dejar de actuar. Generan importantes gradientes térmicos y pérdidas de calor al ir localizados) normalmente sobre el cultivo.

Entre los sistemas convectivos, los generadores de aire caliente de combustión indirecta y los de combustión directa son los más utilizados.

## Sistemas de calor por conducción

Estos sistemas están diseñados para proporcionar una temperatura adecuada en la zona radicular. Desde un punto de vista físico, uno de los objetivos de la calefacción del suelo es utilizar, la superficie de intercambio con el aire que ofrece el suelo del invernadero, siendo esta superior a la de los sistemas de calefacción aéreos.

La incorporación de los sustratos como medio de cultivo, facilitó la localización de los cambiadores de calor, bajo los sustratos.

## Sistemas de calefacción por convección y radiación

La transferencia de calor se realiza a través de tuberías, aéreas o dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente, pudiendo trabajar a altas (hasta 90°C) o baja temperatura (entre 30-S0°C) en función del material utilizado (metal o plástico).

Estos sistemas modifican la temperatura del aire, al calentarse por convección al contacto con los tubos, y la de los objetos (suelo, planta, cubierta del invernadero, etc.) que se encuentran a su alrededor por intercambio radiactivo. La distribución del calor es más uniforme que en los sistemas por aire, al situar las tuberías cerca del cultivo y mantener unos gradientes térmicos bajos.

La mayor inercia de los sistemas de agua frente a los de aire, permiten un mejor control del clima siendo una ventaja, salvo en caso de una parada del sistema, donde al enfriarse, tardará más en recuperar la temperatura de consigna.

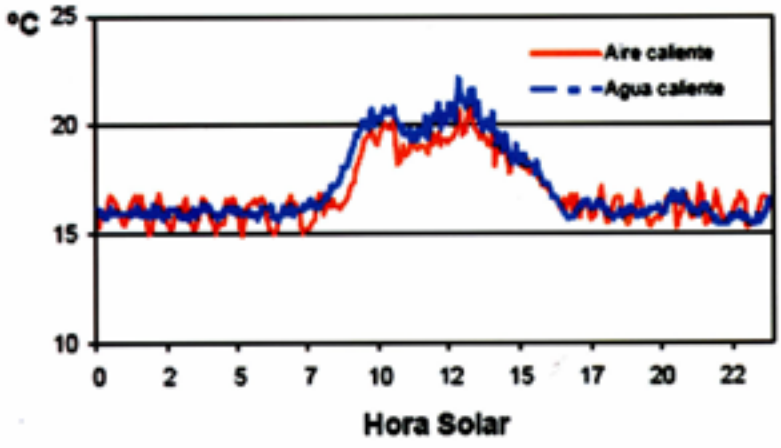



*Figura 1. Evolución de la temperatura del aire (2 m) para dos sistemas de calor: aire y agua.*

Antes de instalar un sistema de calefacción hay que tener en cuenta el coste de la instalación del sistema de calefacción, y más importante es hacer un seguimiento continuo de la rentabilidad, debido a las incertidumbres de los precios de los productos hortícolas y la de los combustibles.

# ENRIQUECIMIENTO CARBÓNICO

Uno de los factores determinantes de la producción de los cultivos protegidos es la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera del invernadero. La actual concentración de C02 ambiental se sitúa en torno a 370 [!mol mol-1, en la zona no saturante de la relación que existe entre la asimilación neta y la concentración de C02 (Figura siguiente ), siendo infra óptima para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos hortícolas. Los resultados experimentales muestran rendimientos productivos superiores cuando se aplica la técnica de enriquecimiento carbónico a concentraciones entre el rango de 700-900 [!mol mol-1 (Papadopoulos et al, 1997).

El cultivo en invernadero se desarrolla en un ambiente semicerrado y está sujeto a una concentración de C02 fluctuante consideran que durante .1/3 del periodo de iluminación, la concentración de C02 en el interior del invernadero se mantiene por debajo del nivel atmosférico exterior.

El agotamiento de dióxido de carbono se incrementa cuando la tasa de asimilación neta del cultivo es elevada (alta radiación, dosel vegetal cerrado) y la renovación del aire en el interior de las estructuras es baja (velocidad del viento en el exterior inferior a 1,5 m s-l y reducido gradiente térmico interior- exterior). En estas circunstancias es habitual registrar valores entre 205-270 [!mol mol-1 (Lorenzo, 1990), que al mismo tiempo que reducen la asimilación neta de carbono, incrementan la conductancia estomática y pueden originar un desequilibrio hídrico transitorio en el cultivo.

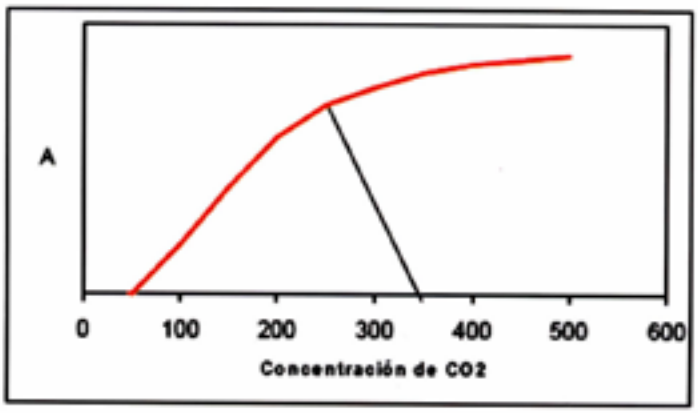



***Figura 1. Representación generalizada de la relación entre la concentración de $CO_2$ intercelular y la tasa de asimilación neta. (Adaptado de Farquhar y Sharkey, 1982).***

Actualmente la incorporación de mallas anti-insecto en las ventanas del invernadero para proteger los cultivos de plagas y enfermedades es una práctica generalizada adoptada en la horticultura del sudeste mediterráneo. Muñoz et al. (1998) han cuantificado reducciones considerables de la tasa de ventilación del invernadero (descensos porcentuales del coeficiente de descarga de hasta e135 % y el 52% para mallas anti-pulgón y anti-trip, respectivamente). Por tanto, estas barreras físicas dificultan el intercambio de aire interior-exterior y la renovación de la concentración de C02 La ventilación natural, aunque es un método paliativo, resulta insuficiente para restablecer la concentración de C02 en el interior de estructuras de cultivo, especialmente cuando se producen altas tasas de asimilación.

El enriquecimiento carbónico da lugar a respuestas productivas variables) aumentos que van entre el 14 y el 61 %. Las causas de esta variación son diversas: las condiciones en las que se desarrolla el cultivo) la técnica de incorporación de C02 utilizada (fuente) régimen y concentración)) el aporte de carbono total) la aclimatación del cultivo) la relación fuente-sumidero) etc.

## *Resultados Experimentales:*

La climatología de esta área productiva) derivada del régimen de insolación incidente en las estructuras de cultivo) origina el agotamiento de dióxido de carbono en el interior del invernadero durante el periodo de iluminación por el elevado consumo foto sintético. El de cremento de C02 aumenta a medida que se desarrolla el dosel vegetal) se han registrado reducciones del 55% con respecto a la concentración ambiental cuando el invernadero permanece cerrado (Sánchez Guerrero) 1999). Registros continuos realizados durante todo el ciclo de producción indican que la concentración de C02 más habitual) analizada por clases de frecuencia) es de 250 a 300 [!mol mol-1 durante el periodo de iluminación cuando opera la ventilación pasiva (Sánchez-Guerrero) 1999) (Figura siguiente).

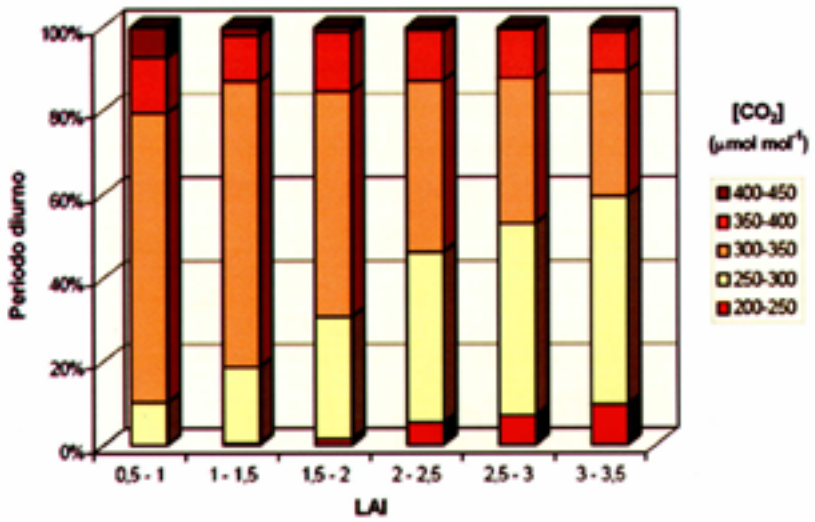



***Figura 2. Evolución de la concentración de $CO_2$ en el interior del invernadero durante el periodo diurno. Distribución por clases de frecuencia a lo largo del desarrollo de un cultivo de pepino. (Sánchez-Guerrero, 1999).***

En invernadero parral tradicional de Almería se ha aportado dióxido de carbono generado a partir de la combustión de parafina sobre cultivo de judía de crecimiento indeterminado. Se ha mantenido un rango fijo entre 350y 600 [!mol mol-1 durante el periodo diurno (Sánchez-Guerrero) 1999). Los incrementos productivos obtenidos oscilan entre 12% y 17% en los ciclos de primavera y otoño--invierno) respectivamente. La distribución de materia seca entre las fracciones aéreas de la planta muestra un incremento relativo hacia la fracción de fruto.

Las experiencias realizadas en invernaderos tipo parral mejorado y multitúnel) dotados con equipos para el control climático) han permitido establecer una estrategia dinámica vinculada a la ventilación del invernadero y al régimen de viento) consistente en enriquecer la atmósfera del invernadero al doble de la concentración exterior (700 [!mol mol-I) cuando las ventanas permanecen cerradas y próxima a la ambiental (350 [!mol mol-I) cuando opera la ventilación) ya sea por exceso térmico o higrométrico) con objeto de reducir el gradiente interior/exte-

rior y evitar pérdidas innecesarias (Lorenzo, 1997) (Figura 3, 4 Y 5). En los ciclos de primavera la ventilación permanece activa buena parte del día con la finalidad de controlar la temperatura, por lo que la incorporación de C02 es menor que en el ciclo de invierno. Como consecuencia, también lo es su efecto. Los resultados que se han obtenido en esta dirección están en la línea de las observaciones de Nederhoff (1994), quien argumenta que la respuesta productiva obtenida guarda relación directa con la cantidad de dióxido de carbono aportado.

Cuando se ha aplicado esta estrategia con C02 puro en diferentes ciclos de cultivo de pepino, los incrementos de la producción acumulada de fruto obtenidos oscilan entre 19% y 25%. El enriquecimiento carbónico ha producido un aumento sobre la eficiencia hídrica referida a la producción de fruto de pepino del 40%. Esto se debe por una parte al incremento productivo y por otra a la reducción del aporte hídrico del 15% para mantener una conductividad eléctrica en el entorno radicular semejante a la del cultivo testigo (Lorenzo, 1998) (Figura 6). Al aumentar la concentración de carbono en la atmósfera del invernadero se produce un aumento de la tasa fotosintética, lo que lleva implícito un aumento de la absorción de iones. Por tanto, es necesario adecuar la gestión de la fertirrigación para mantener la misma concentración de nutrientes en el entorno de la raíz, y se debe incrementar su aporte con objeto de restablecer el equilibrio. Segura et al. (2000) han analizado la absorción de nutrientes de un cultivo de pepino enriquecido respecto al control y han observado un aumento principalmente de N, K, Ca y Mg.

La asociación de enriquecimiento carbónico y apoyo térmico en estas estructuras ha dado lugar a aumentos de la producción acumulada de pepino en cultivo sin suelo del 56 % respecto al control. Se han comparado los resultados obtenidos en los invernaderos con diferente nivel de control climático. Un aumento del 24% se ha atribuido a la aplicación de calor, mientras que el resto se debe al aporte de carbono (Sánchez-Guerrero, 2000).

El aporte de dióxido de carbono mejora la eficiencia hídrica del cultivo, fundamentalmente debido a la mayor producción de fruto y en menor medida por la reducción del aporte de agua que requiere el sistema.

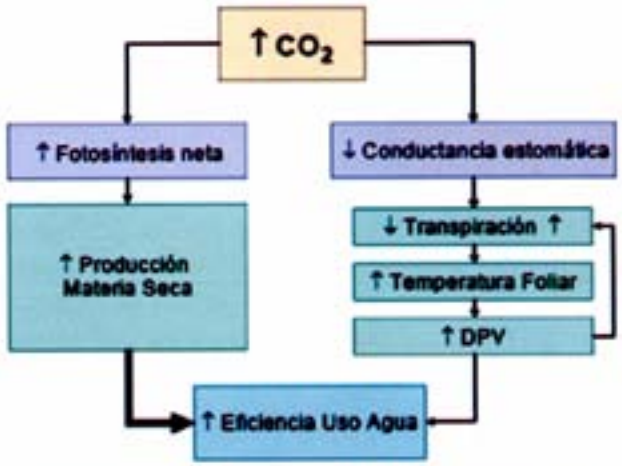



***Figura 6. Efecto del aumento de la concentración de $CO_2$ en la atmósfera del invernadero sobre la eficiencia en el uso del agua.***

# LUZ

La importancia del papel que juega la luz en la producción hortícola está fuera de duda. Los invernaderos deben conectar el máximo de radiación solar durante todo el día en invierno y durante el resto del año deben aprovechar la radiación de la mañana y de la tarde} para lograr un balance térmico favorable y activar la fotosíntesis al trasmitir parte del espectro visible.

En el N de Europa a mayor inclinación de la cubierta} mayor transmisión de radiación. Además la orientación de E a O aumenta la cantidad de energía colectada en invierno.

En la región mediterránea} comprendida entre la latitud del Cairo (30°) Y la de Aviñón (45°)} el problema no es tan importante como en Bélgica o en Holanda.

La luz global recogida por una superficie horizontal el día 15 de diciembre (solsticio de invierno)} cuando el día es claro y la nebulosidad es la promedio} nos conduce a hacer las siguientes observaciones:

La insolación potencial de la latitud de Niza es exactamente el doble que la de Bruselas o de la zona O de Holanda.

En Argel} Almería y Málaga es tres veces mayor que en Bruselas. En Agadir y el Cairo es más de 4 veces mayor.

Tabla: Iluminación solar global (sol y cielo) bajo cielo claro recibida el15 de diciembre en función de la latitud (W.h./m2.d) nebulosidad media y superficie horizontal. Según Nijskens.

| Latitud | 52° | 43.SO | 42° | 37° | 35.5° | 30° | 23° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bruselas Naaldwijk | Avignon Niza | Roma Skopje | Argel Túnez Almería Málaga | Creta | Cairo Kuwait | Meca |
| Sol | 419 | 1166 | 1331 | 1954 | 2130 | 2875 | 4265 |
| Cielo | 399 | 470 | 492 | 564 | 587 | 699 | 859 |
| TOTAL | 818 | 1636 | 1823 | 2518 | 2717 | 3574 | 5124 |

La radiación recibida en Holanda a partir de121 de marzo} parece ser el valor umbral a partir del cual las variaciones de luminosidad juegan un valor secundario.

La iluminación potencial en un día claro} el 15 de marzo} medido en superficie horizontal en condiciones de turbidez media en Holanda es de 3.694 vatios hora metro cuadrado y día} esta es la misma que se registra en el Mediterráneo S en el solsticio de invierno. En el Mediterráneo N no se alcanza este valor} pero la falta de luz es mucho menor que en Holanda y se extiende durante un período de tiempo más corto.

La trasmisión de luz del invernadero es un factor secundario en relación con otros como:

- El grado de suciedad de la cubierta plástica. El polvo puede disminuir la penetración de luz en un 30 a un 50 % Y reducir seriamente la fotosíntesis} la naturaleza del plástico y sus cualidades electrostáticas son factores más fundamentales que la forma y la orientación de la estructura.
- Las maneras de controlar las pérdidas de calor} especialmente si se utilizan plásticos dobles.

El uso de la segunda película instalada de manera permanente o de la pantalla térmica durante las primeras horas de la mañana, pueden llegar a doblar las perdidas de luz.

# HUMEDAD

La humedad es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. La influencia de la humedad no ha sido investigada con la misma profundidad que la de otros factores ambientales, quizás debido a la dificultad del control y de la medida precisa de esta variable.

Durante la noche la evapotranspiración tiene poca importancia debido a que la transpiración queda reducida por causa del cierre de estomas y la evaporación del suelo es insignificante porque el déficit de presión de vapor es pequeño. Conforme la temperatura decrece en el invernadero y puesto que la humedad relativa h.r. varía inversamente con la temperatura para un contenido absoluto de vapor de agua constante en el aire, la h.r. aumenta y puede alcanzar valores próximos a la saturación.

Durante el día por efecto de la calefacción solar, la humedad absoluta del aire aumenta puesto que la apertura de los esto mas hace aumentar la transpiración. Al mismo tiempo la humedad relativa puede disminuir con el aumento de la temperatura y en muchos casos puede alcanzar valores muy bajos, especialmente si el invernadero está bien ventilado. El cultivo tiene una influencia clara en la humedad ambiental: El tomate puede evaporar en condiciones óptimas hasta lS gr de agua por metro cuadrado y minuto, esto es aproximadamente un litro por cada metro cuadrado y hora.

Las plantas tienen que transpirar agua para trasportar nutrientes, para refrigerarse y para regular su crecimiento. La transpiración depende del déficit de saturación entre las estomas y el aire.

Cuando los déficits de saturación son demasiado altos o demasiados bajos influyen en la fisiología del cultivo y en su desarrollo.

Si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado, reduciéndose la transpiración' y por consiguiente la absorción de nutrientes.

Si la humedad ambiental es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis.

La humedad ambiental puede favorecer el desarrollo de enfermedades. Si la temperatura del cultivo cae por debajo de la temperatura del rocío del aire, se condensa el agua y se favorece el desarrollo de enfermedades por hongos.

## *Definiciones:*

La concentración de vapor de agua en el aire se expresa como la presión parcial del vapor de agua,

e, mb o kPa=10 mb.

e = es-(O.00066.(1+(O.00115.Th).(Ts-Th).P)

Presión máxima de vapor, es, la presión del vapor de agua si la masa de aire estuviera completamente llena, saturada de vapor de agua.

es= 6.108*exp(X(17.27*Ts)/(Ts+237.3»

Déficit de presión de vapor, DPV; es la diferencia entre la presión de vapor de saturación para la temperatura actual y la presión de vapor del momento, se mide en mb o kPa.

DPV= (es-e)

Humedad relativa, es la humedad actual del aire relacionada con la máxima que puede existir a una temperatura determinada, se mide en %.

HR=100*e/es

Humedad absoluta, contenido en masa de vapor de agua en un volumen de aire, gr m-3.

V=ra.cp/g L.e

Humedad específica, contenido en masa de vapor de agua en masa de aire, gr gr-l.

w= 0.622*e/(P-e)

Temperatura del punto de rocío, Td, es la temperatura ala cual el vapor de agua empieza a condensarse, por tanto e = es

Td=237.3*LN (e/6.108) 117.27 I (I-LN (e/6.108) I 17.27)

Condensación, el vapor de agua pasa a forma líquida. Las gotas de agua se depositarán en cuerpos más fríos, el material de cubierta, los frutos,

Si la temperatura es de 20°C y la h.r. es del 60 % el poder de evaporación es doble que cuando las condiciones son de 20°C y 80 % de h.r. (d.p.v.= 7,02 y 3,51 mm de mercurio).

Si la h.r. es del 60 %, el d.p.v.es 7,02 mm de mercurio si la temperatura es de 20°C y 12,74 mm de mercurio si es de 30°C. Por consiguiente la tasa de evaporación es el doble para la temperatura de 30° que la de 20°C, si la h.r. es en ambos casos del 60 %.

Si la temperatura del aire es de 20° C y su h.r. 60 %, su d.p.v. es de 7,02 mm de mercurio. Si la temperatura del aire aumenta hasta 30° C. sin variar el contenido absoluto de vapor de agua, el d.p.v. aumenta desde 7,02 hasta 21,32 mm. de mercurio y por tanto la tasa de transpiración se triplica.

Si la masa de aire del invernadero se mantiene a una temperatura superior a la de la temperatura del material de cubierta, la humedad relativa es inferior a la de saturación. Esto puede ilustrarse sobre una carta psicométrica, (ver Fig. siguiente). Según la figura, el aire a 21,1 °C y al 90 % de humedad relativa (punto a) es refrigerado hasta la temperatura de 10°C. Por debajo de la temperatura de 17,5 °C (punto b) se produce la deshumidificación (línea bbx) Si este aire es después recalentado hasta alcanzar 21, 1°C, sin adición de humedad, la humedad relativa es 49 % (punto c).

La condensación se produce en los plásticos de cubierta incluso durante el día, en invernaderos cerrados, si la temperatura exterior es inferior a la interior. Como resultado se produce el proceso de deshumidificación del aire.

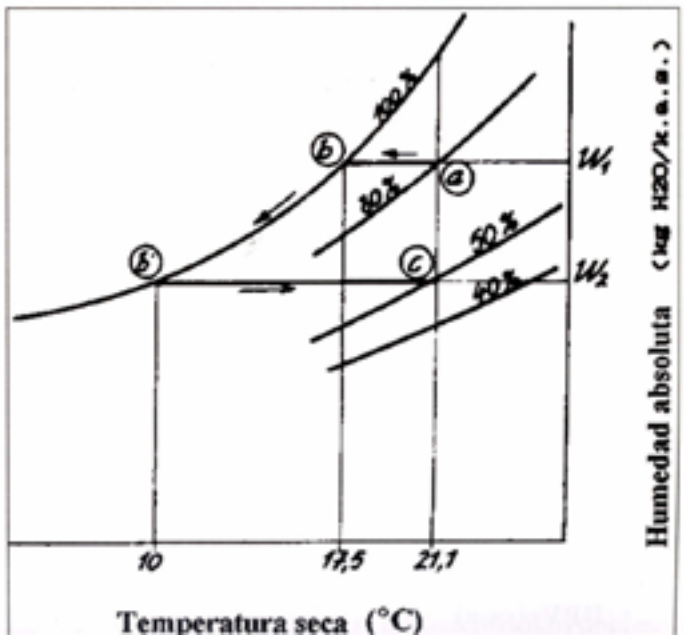



Figura: Ilustración psicométrica esquemática de un proceso de deshumidificación y refrigeración con posterior recalentamiento. (Estudio FAO 90, 2002)

## *Influencias de la humedad*

Se ha comprobado que la condensación reduce de una manera significativa la transmitancia térmica de algunos materiales de cubierta como el polietileno, debido a la absorción de las pérdidas de radiación.

La reducción de trasferencias de calor radiante no es completa porque la película de plástico no queda recubierta de una manera uniforme por las gotas de condensado. Los datos experimentales demuestran que el área efectiva ocupada por las gotas es del 70% cuando la condensación es abundante y del 25% cuando es ligera. El movimiento de aire producido por ventiladores eléctricos reduce o elimina totalmente la formación de condensación.

Cuando el aumento de la humedad relativa del invernadero se aproxima al punto de saturación generalmente se producen problemas de desarrollo de enfermedades en las hojas, pero si la humedad es menor del 75% estos problemas son de menor importancia.

Se ha hecho un experimento para comprobar la incidencia de las enfermedades por hongos en el tomate, cultivado en tres regímenes de humedad:

A) Sin control de la humedad relativa; B) con control de la humedad relativa hasta e190% y C) control de la humedad relativa hasta el 75%. En el tratamiento A se observó una infección considerable de Cladosporium fulvum, siendo muy inferior en el tratamiento B y prácticamente inexistente en el tratamiento C. Se observaron resultados similares en la incidencia de Botrytis cinerea.

# BIBLIOGRAFÍA


ALPI,A; TOGNONI, F. 1999. Cultivo en invernadero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 347 pp. BAEZA, E.)., PÉREZ-PARRA, J., MONTERO,). 1. 2005. Effect of ventilador size on natural ventilation in parral greenhouse byjeans of CFD simulation. "Greensys" Sustanaible Greenhouse Systems. Acta Horticulturae 691:465-472.

BAEZA, E., PÉREZ-PARRA,)., LÓPEZ, J. c., GÁZQUEZ,). C. 2007. LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN NATURAL EN INVERNADERO. XXXVII Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura. Almería, del 26 al 30 de noviembre de 2007.

FAO, Grupo cultivos Hortícolas. 2002. El cultivo protegido en clima Mediterráneo. N° 90. LÓPEZ, J.c. 2001. Sistemas de calefacción. Incorporación de tecnología al invernadero Mediterráneo. Ed Cajamar.

LORENZO, P., SANCHEZ-GUERRERO, M.C., MEDRANO, E., ESCO- BAR, 1., GARCIA, M. 1997. Gestión del clima en la horticultura in ten si- va del sur mediterráneo. Horticultura 119:80-83.

LORENZO, P. 1998. Los factores ambientales en el manejo del cultivo sin suelo. En: Cultivo sin suelo Il. Curso Superior de Especialización. 149-173. Eds: Fernández M., Cuadrado 1. M., D.G.1.F.A, FIAPA Y C.Rural.

LORENZO, P., SANCHEZ-GUERRERO, M.C., MEDRANO, E. 2000.

Comparación de calefacción por aire caliente con combustión indirecta frente a tubería radiante con agua caliente a baja temperatura. En: Cale- facción de invernaderos en el sudeste español. 35-44. Edita Caja Rural de Almerla, Almerla (España).

LORENZO, P. 2001. Enriquecimiento Carbónico .. Incorporación de tecnología al invernadero Mediterráneo. Ed Cajamar.

MONTERO,).1., ANTÓN, A., MUÑOZ, P. 2001. Refrigeración de invernaderos I: Ventilación Natural.

MONTERO, ].1., ANTÓN, A., MUÑOZ, P. 2003. Nebulización: Efectos sobre el microclima, producción y eficiencia en el uso del agua. Curso de Superior de Especialización: Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Ed. Junta de Andalucía y Cajamar. Almeria pp: 231-243.

MUÑQZ, P, MONTERO, ].1., ANTON, A. 1998. Ventilación natural de invernadero. En:

Tecnología de Invernaderos n. Curso Superior de Especialización. 267-311. Eds: Pérez]., Cuadrado 1. M., D.G.1.F.A, FIAPA Y C.Rural.

PAPADOPOULOS, A. P., PARARAJASINGHAM, S., SHIPP, ]. L., JARVIS, WR., JEWE1T, T.]. 1997. Integrated Management of Greenhouse Vegetable Crops. Horticultural Reviews 21: 1¬39.

PÉREZ-PARRA, ]. 2002. Ventilación Natural de invernaderos tipo parral. Tesi Doctoral. Universidad de Córdoba.

SANCHEZ-GUERRERO,M.C., LORENZO, P., MEDRANO, E., GARCIA, M., ESCOBAR, 1. Heating and C02 enrichment in improved low-cost greenhouses. International Symposium on protected cultivation in mild winter climates: current trends for sustainable technologies. Cartagena. Murcia. Marzo 2000. Acta Horticulturae.

TOGNONI, F. 2003. El desarrollo de los sistemas de cultivo en horticultura protegida. Curso de Superior de Especialización: Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Ed. Junta de Andalucía y Cajamar

# CULTIVOS SIN SUELO

.....-.....

## *DEFINICIÓN*

.....

Por cultivo sin suelo, se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sus trato con adición de solución nutriente.

Fue el Dr.WF.Gericke el que acuñó la palabra "hidropónico" para designar este tipo de cultivo. Cultivo hidropónico procede de las letras griegas "hydro" (agua) y "panas" (trabajo), literalmente trabajo en agua. Se considera sistema de cultivo hidropónico, aquellos que se desarrollan en una solución nutritiva o en sustratos totalmente inertes y a los sistemas que cultivan en sustratos orgánicos, como cultivos sin suelo.

Por solución nutritiva se entiende, el agua con oxígeno y todos los nutrientes esenciales para las plantas, disueltos en una forma inorgánica completamente disociada, aunque en la solución pueden existir formas orgánicas disueltas, procedentes de los micra elementos en forma de quelato.

## *ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL*

.....

Los cultivos hidropónicos tal y como los conocemos en la actualidad, fueron impulsados en 1.930 por Gericke de la Universidad de California, introduciendo el sistema de cultivo sin suelo de forma comercial para tomate, desarrollando los cultivos en balsas de arena.

El gran despliegue en cultivos protegidos se produce en los años 60, con la difusión de los plásticos como material de cubierta en los invernaderos. La aparición de nuevos plásticos para la conducción de riegos, el desarrollo de los riegos localizados, la incorporación de los programadores de riego, ordenadores para su manejo y el desarrollo de distintos sustratos inertes, permitió la implantación de los sistemas de cultivos sin suelo.

## *COMPARATIVA SUELO-SUSTRATO-HIDROPÓNICO*

.....

El comportamiento de una planta viene condicionado por el conjunto de variables que configuran el micra clima y rizosfera en donde se desarrolla. Los valores óptimos de cada un de estos factores permiten la máxima respuesta vegetativa y productiva condicionada a su dotación genética. Conforme el valor de cada variable se vaya alejando del óptimo considerado, la planta se ve sometida a un estrés que se traduce en un respuesta negativa respecto al máximo establecido, alejándose tanto más de ella cuanto mayor sea el grado de estrés a que se ve sometida.

La raíz absorbe y suministra a la planta el agua y los nutrientes minerales que esta necesita a la vez que esta sintetiza y trasloca diversos reguladores. De la parte aérea recibe los carbohidrato s que le proporcionaran la energía necesaria para sus funciones) liberada por oxidación en los procesos respiratorios para los que necesita disponer del oxígeno necesario.

La raíz alcanzará su óptima actividad a una determinada temperatura. Por debajo de la mis mazo alcanzará el nivel de funcionamiento óptimo y por encima consumirá excesiva energía.

Suponiendo la rizosfera libre de toxicidades o infecciones) cuatro tipos de estrés principales puede sufrir la raíz: hídrico) nutricional) de temperatura y de oxígeno. La posibilidad) facilidad y seguridad de evitar o controlar este estrés nos dará la evaluación más fiable y exacta de la bondad de un determinado sistema de cultivo.

## *Estrés Hídrico*

*.....*

La absorción del aguador la raíz se ve dificultada principalmente por dos fuerzas contrarias) una es la fuerza con que es retenida el agua por el sistema (potencial métrico) y la otra es debida a la presión osmótica ocasionada por los iones disueltos.

Considerando los valores más favorables en cada sistema las fuerzas de retención del agua estarían entre 5-30 K.Pa en el suelo) 1-5 K.Pa en un sustrato y O K.Pa en un hidropónico puro.

El segundo factor inductor de estrés hídrico es la presión osmótica del agua que rodea la raíz. El agua es absorbida a favor del diferencial osmótico interior/exterior a la raíz y al aumentar la concentración iónica del agua exterior el diferencial disminuye y la toma de agua se dificulta.

Los iones presentes en la solución de la rizosfera provienen tanto de los aportes directamente por el agua de riego) como los abonos incorporados) así como los posibles que pueda aportar el suelo o sustrato.

Si comparamos los valore de Potencial osmótico con el potencial mátrico) observamos que los debidos al potencial osmótico son de un valor relativo mucho más elevado) lo que nos indica que la razón más importante para un buen manejo del riego es la de evitar la concentración salina.

Suponiendo un manejo correcto en cada caso) también en cuanto al potencial osmótico el sistema más favorable es el hidropónico puro que permite un nivel estable de potencial osmótico en la solución. En los sustratos la CE en el entorno de la raíz suele ser más elevada que en la solución entrante. En el suelo se presenta un proceso similar aunque más acentuado debido a sus características y al manejo del riego necesariamente diferente.

La relación entre potencial osmótico y comportamiento de la planta no es directa e inflexible como podría interpretarse. Así los cambios morfológicos (reducción foliar) densidad estomática) adaptación de la raíz) etc.) y las características ambientales (temperatura) HR) Radiación) influyen directamente en la facilidad de absorción de agua así como en las tasas de transpiración.

Se observa que una planta en suelo desarrolla una raíz mucho más larga y fina que le permite resistir mejor el estrés hídrico) mientras que en un sistema hidropónico las raíces son menos numerosas y más gruesas) adaptadas a una más fácil absorción de agua por lo que su resistencia al estrés es menor y se adapta a él emitiendo nuevas raíces muy numerosas y cortas para contar con una mayor superficie radicular de mayor permeabilidad como son los ápices de las raíces.

Las condiciones ambientales también juegan un rol importante y así vemos como la planta soporta mucho mejor el estrés hídrico cuando la tasa de transpiración es más baja} lo que sucede con alta HR y baja temperatura y radiación.

El suelo es el medio que mejor se comporta anta la aparición de un estrés hídrico o cuando este alcanza ni-

veles muy altos. Esto es debido a que la raíz se encuentra en condiciones menos favorables} bajo el efecto de estrés de poca intensidad} lo que ocasiona un cierto proceso de adaptación que le hace soportar condiciones estresantes más intensas mucho mejor que aquellas plantas que cultivadas en hidroponía no habían soportado hasta entonces el más mínimo estrés. Esto lo podemos observar claramente con la presencia} por ejemplo} de vientos de levante cálidos y secos o con la presencia en primavera de días despejados y calurosos tras varios días cubiertos y lloviznado.

## *Estrés Nutricional*

*.....*

Las deficiencias o toxicidades nutricionales no deberían aparecer en ningún tipo de cultivo bien conducido.

La baja movilidad de los nutrientes en un medio sólido (suelo o sustrato) en que la solución está inmóvil} puede ocasionar déficit localizado de algún elemento} contrariamente a lo que sucede en hidropónicos puros en que las concentraciones iónicas son homogéneas. También la CCC actúa como poder tampón y reserva de cationes mientras en el medio hidropónico las concentraciones varían directamente con los aportes o consumos.

Estas características hacen que sea mucho más fácil jugar con los equilibrios iónicos en los hidropónicos puros} en donde} entre ciertos límites bastante amplios} la capacidad selectiva de la raíz es suficiente para la absorción de cada elemento en las cantidades adecuadas. Así la presencia de elementos antagónicos en diferentes relaciones y concentraciones influye menos de lo que cabría esperar en la relación de absorción de los mismos. No obstante} antagonismos como Cl-/N03- o Na+/K+/Ca++/Mg++ deben ser tenidos en cuenta al formular la solución nutritiva y aún otros como Ca++ /NH4+} que en el suelo tienen una importancia muy pequeña al ser regulado el amonio por la capacidad de cambio del suelo} mientras en los hidropónicos interfiere directamente con la absorción del calcio.

El estrés nutricional es más fácil de controlar en un sistema hidropónico puro que en un cultivo en sus trato y en ambos más que en un cultivo en suelo} y será más fácil de provocar en un sus trato inerte que en el suelo debido a su C.I.C; y que en un hidropónico puro en donde las concentraciones relativas tienen menor importancia.

## *Estrés por falta de Oxígeno*

.....

La raíz necesita oxígeno para respirar; absorber agua y nutrientes y otras actividades metabólicas. En el suelo el aire se encuentra en los macroporos; mientras el agua ocupa la porosidad más fina. La existencia de oxígeno a disposición de la raíz estará asegurada cuando haya una renovación suficiente del aire de estos macroporos que permita la evacuación de C02 de la respiración y el mantenimiento del nivel de oxígeno. Esto dependerá de la capacidad de difusión del oxígeno exterior al interior de los macroporos.

Después de un riego los macroporos son ocupados por el agua y la raíz atraviesa por un período de hipoxia que desaparece cuando el agua desocupa los macroporos conforme se restablece el equilibrio de capacidad de campo.

En los cultivos en sustrato, la porosidad de este es en general lo suficientemente alta y gruesa para permitir al aire ocupar un mínimo del 25-30% del volumen total inmediatamente después de un riego. Esto asegura a la raíz el oxígeno necesario sin que prácticamente tenga que soportar períodos de hipoxia como en el suelo. Debido a esto es factible dar en estos sistemas un número muy alto de riegos que compensen su poca capacidad absoluta

de retención de agua por su pequeño volumen. En el suelo esto sería imposible.

En los hidropónicos puros la raíz se encuentra en el agua y el aporte de oxígeno a la misma se presenta como uno de los problemas más graves a solventar en estos sistemas.

Desde el punto de vista del oxígeno los sistemas más favorables son los de cultivos en sustrato (si exceptuamos la turba o algún otro de porosidad muy fina), a continuación podríamos catalogar los suelos de buen drenaje y, como más problemáticos, la mayoría de los hidropónicos.

## *Estrés por Temperatura*

*.....*

La temperatura, tanto de la parte aérea como de la raíz, es fundamental para el desarrollo de las plantas. La mayoría de las funciones fisiológicas son controladas por mecanismos dependientes de la temperatura ya que se basan en reacciones bioquímicas.

La raíz altamente dependiente de las temperaturas tanto en su actividad biológica, desarrollo y crecimiento como en su actividad funcional, principalmente absorción de agua y nutrientes.

La mayoría de las plantas de las zonas templadas pueden soportar un amplio margen de temperaturas en la raíz que va desde los 5°C a los 40°C. Esto, claro está, es generalizando mucho pues hay plantas que soportan mejor el frío, como la lechuga, cuya actividad de raíz cero se establece en los 40C y 35°C, mientras otras más calientes, como el melón, la alcanzan a 10°C y 42°C. A partir de la temperatura mínima la actividad de la raíz crece de forma prácticamente lineal hasta alcanzar su máximo alrededor de los 25°C (20°C-30°C para especies extremas) ya partir de ahí la actividad radicular cae drásticamente pues la mayoría de las reacciones bioquímicas se paralizan a las temperaturas máximas.

El efecto de la temperatura sobre la raíz se manifiesta principalmente en el desarrollo de la misma, más rápido en longitud y ramificaciones debido a una mayor división y crecimiento celular.

En general, la temperatura óptima de la raíz se establece en unos 5°C inferior a la aérea, aunque lo verdaderamente importante es que la diferencia no aumente bruscamente, pues en este caso la raíz no podría suministrar el agua perdida por el aumento de transpiración y la planta sufriría un estrés por déficit hídrico.

Desde el punto de vista de la temperatura, el suelo es el sistema de cultivo más favorable debido a su gran inercia térmica.

Los cultivos en sustratos presentan una inercia muy pequeña debido a su poco volumen, alto índice de transmisión térmica y la práctica inexistencia de material aislante separador del ambiente. La temperatura del sustrato sigue las oscilaciones de la temperatura ambiente con un diferencial de 7-8°C en defecto durante el día y de 4-5°C en exceso durante la noche.

En los hidropónicos puros la inercia es aún mucho menor y los diferenciales respecto alas temperaturas ambientales son muy pequeños) por lo que su comportamiento ante el estrés térmico es el menos favorable. No obstante) es precisamente su falta de inercia lo que permite una actuación más fácil encaminada a la corrección del estrés. Por ejemplo) calentar el medio radicular es sencillísimo por medio de la calefacción de la solución nutritiva) mientras que la calefacción de un suelo resulta complicada y carísima.

## *PRINCIPALES SUSTRATOS. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES*

Se pueden clasificar los distintos sustratos utilizados en los sistemas de cultivos sin suelo en:

Sustratos orgánicos) de origen natural como las turbas o subproductos de la actividad agrícola como la fibra de coco.

Sustratos inorgánicos) de origen natural) que no requieren de un proceso de manufacturación como son la arena) las grabas y las tierras volcánicas. Aquellos que pasan por un proceso de manufacturación como la lana de roca) la perlita) vermiculita) arcilla expandida.

### *Propiedades físicas*

Las propiedades físicas de un sustrato son más importantes que las químicas) puesto que las segundas las podemos modificar mediante el manejo de las soluciones nutritivas) siendo las primeras más difíciles de modificar.

La disponibilidad de agua de un sustrato y su relación con las plantas queda perfectamente explica en la curva de liberación de agua.

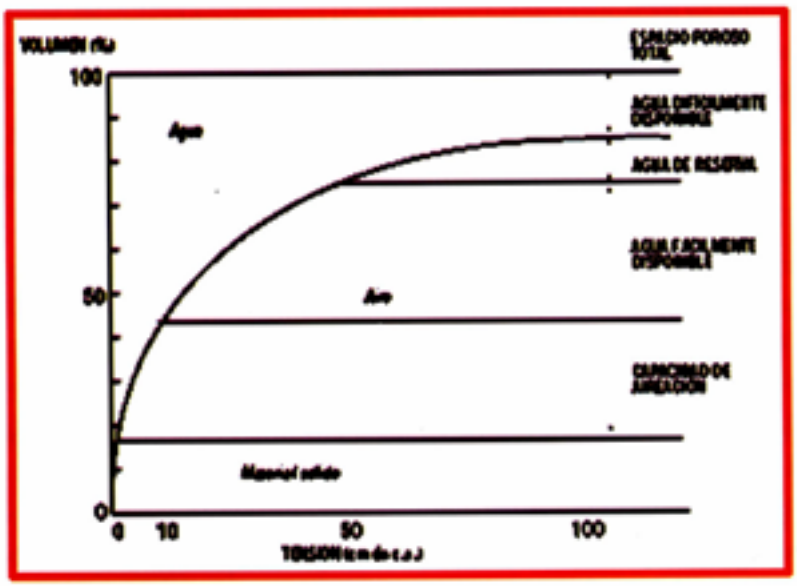



Figura 1. Curva de liberacion de agua de un sustrato de cultivo. (Elaboracion a partir de De Bood.et al., 1974: Handreck y Black, 1991).
Fuente: Abad. M.: Noguera. P.. Fertirrigacion. Cultivos horticolas y ornamentales.

Porosidad total: Es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas o minerales. El valor óptimo de porosidad es superior al 85%, razón por la cual podemos cultivar con volúmenes reducido de sustrato, dejando un gran volumen disponible al aire y a la solución nutritiva. El total de poros se mide en microporos, que son los encargados de retener el agua, y los macroporos que permiten la correcta aireación y drenaje del sustrato.

Capacidad de aireación: Es la proporción de volumen de sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar (tensión de 10cm de columna de agua). El valor óptimo se sitúa entre el 20 y el 30% siendo dicho valor el encargado de suministrar aire y por tanto, oxigeno a las raíces de la planta. Un mismo volumen de sustrato retendrá más agua cuanto menor sea la altura del contenedor, debiendo adecuar la altura al tipo de sustrato empleado.

Agua fácilmente disponible: Es la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar y la cantidad de agua presente en dicho sustrato tras una succión de 50cm de columna de agua. Como bien dice el nombre, es la succión efectuada por la planta en su alimentación sin necesidad de realizar un gran esfuerzo. El valor óptimo es 20-30%.

Agua de reserva: Es la cantidad de agua (% de volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100cm de columna de agua de deserción. Valor óptimo es del 4-10%.

Agua total disponible: Viene dada por la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. Nivel óptimo se encuentra entre el 24 y el 40% de volumen.

Agua difícilmente disponible: Es el volumen de agua retenida por el sustrato tras ser sometido a una tensión superior a 100cm de columna de agua. En muchos casos se produce una incapacidad por parte de la planta de extraer el agua del sustrato, pudiendo llegar incluso a mostrar síntomas de marchitez.

Distribución del tamaño de las partículas: La distribución del tamaño de las partículas es importante. El material más adecuado es el de textura media gruesa, con distribución de tamaños de los poros entre 30 y 300 micras, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee un adecuado contenido de aire.

## *Propiedades químicas*

En principio la inactividad química es algo deseado en un sustrato, también lo es el que no se disuelva y por lo tanto, que sean estables químicamente, que presenten una baja o nula salinidad, pH neutro o ligeramente ácido y una adecuada relación C/N.

.....

Capacidad de Intercambio Catiónico: Se define como la suma de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso de sustrato, es decir, la capacidad de retener cationes nutrientes e miliequivalentes por unidad de peso o volumen..

Disponibilidad de los nutrientes: Cuando hemos elegido un sustrato orgánico como medio para desarrollar nuestro cultivo sin suelo, será conveniente realizar un análisis del extracto de saturación. Como ejemplo tenemos la fibra de coco que inicialmente puede ser rica en potasio.

Salinidad: Hace referencia a la concentración de sales existentes en el sustrato. En aquellos que son inertes la salinidad es prácticamente nula, en sustratos orgánicos puede tener valores elevados.

pH: El pH influye en la asimilabilidad de los nutrientes por la planta. Con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y con valores superiores a 6.5 se disminuye la asimilabilidad de hierro) fósforo) manganeso) boro) zinc y cobre.

Relación C/N: El valor de dicha relación nos da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y

de su estabilidad. Un nivel del orden de 30 puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato. En sustratos para horticultura se recomiendan valores inferiores a 20.

## *PRINCIPALES SUSTRATOS UTILIZADOS EN CULTIVOS SIN SUELO DE HORTALIZAS*

.....

Las principales funciones de un sus trato dentro del sistema de cultivo sin suelo es el de proporcionar un medio ambiente "ideal" para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas

### *Lana de roca*

La lana de roca se obtiene por la fundición de un 60% de diabasa) 20% de piedra caliza y 20% de carbón de coque) que se introduce en un horno a una temperatura de 1.600°C. Sale en forma de fibras de aproximadamente 0.005mm. El producto se presenta prácticamente inerte y totalmente libre de patógenos.

Propiedades físicas:

| | |
|---|---|
| Densidad aparente | 0)08 g/ cm3 |
| Porosidad total | 96% |
| Capacidad de retención de agua fácilmente disponible | 30% |
| Capacidad de aireación | 35 - 45% |
| Agua de reserva | 0)9 % |

Más del 95% del agua retenida por la lana de roca es fácilmente asimilable) el material no tiene prácticamente agua de reserva ni agua difícilmente disponible) con lo que la planta puede disponer de casi la totalidad del agua retenida en la tabla con una gran facilidad) aspecto que resulta conveniente en la medida en que la planta debe esforzarse muy poco para tomar la solución nutritiva) al mismo tiempo en su manejo se deben tomar las precauciones oportunas) evitando dejar sin suministro de solución nutritiva durante un período largo.

Propiedades químicas: Es un material químicamente inerte. Su capacidad de intercambio catiónico y su poder tampón son prácticamente nulo.

Con la solución nutritiva tiene baja inercia térmica.

Existen diversas dimensiones de tablas de lana de roca y disposición de las fibras (en vertical) crespada y horizontal). La fibra vertical permite un mejor ajuste de los niveles de agua) una mejor restauración de la tabla) es mas rígida) de mayor densidad) durabilidad y permite una disminución de los drenajes.

## *Perlita*

.....

La perlita es un silicato de aluminio de origen volcánico, transformado industrialmente mediante un tratamiento térmico. Se obtiene un material muy ligero con una alta porosidad.

Existe en el mercado diferentes tamaños de partícula, siendo unos de los más comerciales el tipo B-12.

Propiedades físicas de perlita tipo B-12:

| | |
|---|---|
| Porosidad total (% vol.) ..... | 85,9% |
| Densidad aparente ..... | 0,143 g./ cm3. |
| Agua fácilmente disponible (% vol.) ..... | 24,6% |
| Agua de reserva (%vol.)..... | .7% |
| Agua dificilmente disponible (%vol.) ..... | 25,2% |
| Agua total disponible (%vol.) ..... | 31,6% |
| Posee una porosidad ocluida de ..... | 8,1 % |

Propiedades químicas: Es también un material inerte que a pH inferiores a S puede producir una solubilización del aluminio y provocar fototoxicidad. Su salinidad es muy baja. Tiene muy baja CIC y poca capacidad tampón.

| | Densidad Aparente (g/cm³) | Porosidad Total (%) | Porosidad Ocluida (%) | Capacidad retención agua fácilmente disponible (%) | Agua fácilmente asimilable (%) | Agua difícilmente disponible (%) | Agua de reserva (%) | Capacidad Aireación (%) | Inerte | Reacción | C.I.C. (meq/100g) | Poder Tampón |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Perlita (B-12) | 0,143 | 85,9 | 8,1 | 24,6 | >25 | 25,2 | 7,0 | 29,1 | Si | Neutra-Ligeramente Alcalina | 1,5-2,5 | Muy bajo |

## *Arenas*

.....

Es un material de naturaleza silícea y de composición variable, dependiendo de la roca silícea original.

Es un material de naturaleza silícea y de composición variable, dependiendo de la roca silícea original. Procede de canteras (granito, gneis, basalto, etc.), o en ríos procedente de depósitos de formación aluvial, más o menos reciente.

Deben estar exentas de limo y arcilla. Los niveles de carbonato cálcico no deberán ser superiores al 10%. El tamaño de las partículas debe estar comprendido entre 0,02 y 2 mm y una adecuada distribución de los tamaños.

Tiene una densidad aparente de l,5 g/ cm3, un espacio poroso <50%. Con tamaños de partícula inferiores a 0,5 mm la capacidad de retención de agua es alta. Con los tamaños aconsejados presenta un buen drenaje.

Si está exenta de limo, arcilla y carbonato cálcico, es inerte químicamente y presenta una capacidad de intercambio catiónico muy baja < S meq/100 g.

Por su gran resistencia mecánica es un sustrato permanente.

| | Densidad Aparente (g/cm³) | Porosidad Total (%) | Porosidad Ocluida (%) | Capacidad retención agua fácilmente disponible (%) | Capacidad Aireacion (%) | Inerte | Reaccion | C.I.C. (meq/100g) | Poder Tampón |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Arena | 1,500 | <50 | :0 | Alta | <7,2 | Puede | Alcalina | <5 | Bajo |

Tabla. Características Arena.

## *Turbas*

.....

La turba es un sus trato orgánico de origen natural, son vegetales fosilizados.

Existen distintos tipos de turbas y por su grado de descomposición podemos encontrar: las rubias, que están ligeramente descompuestas, de color más claro y de un mayor contenido en materia orgánica. Presenta unas excelentes propiedades físicas y químicas, con una estructura mullida, alta porosidad, alta capacidad de retención de agua, aceptable contenido de aire, baja densidad aparente, alta capacidad de intercambio catiónico y baja salinidad. La turba negra es de color oscuro y está fuertemente descompuesta. Es de calidad inferior a la turba rubia.

Está poco extendida como sustrato de cultivo sin suelo de hortalizas, aunque es empleada en semilleros y cultivos de planta en maceta.

## *Fibra de coco*

.....

Es un material vegetal procedente de los desechos de la industria del coco, tras la extracción de las fibras más largas del mesocarpo que son utilizadas para la fabricación de cuerdas, cepillos, etc., se aprovechan las fibras cortas y el polvo de tejido medular en proporciones variables como sustrato.

La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93%. Presenta cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y está bien aireado. La fibra de coco se contrae poco cuando se deja secar (Abad et al, 1997).

La fibra de coco posee un bajo poder tampón (aunque superior a la lana de roca). La salinidad es debida, principalmente a niveles altos de cloruro sódico y potasio.

Como en el caso de la turba, estos sustratos poseen un cierto carácter estimulador del crecimiento sobre la planta.

## *Picón*

.....

El picón es un sus trato natural granular, de forma irregular, con superficie rugosa y poros en su interior, es de origen volcánico, con tamaño de partícula inferior a 16 mm.

Presenta una alta heterogeneidad en sus características, que dificulta su manejo.

Tiene un porcentaje de partículas mayores de 1 mm superior al 80%. Porosidad efectiva de 50-60%

Porosidad ocluida 8 a 13%

30-40% de capacidad de aireación.

Baja retención de agua 100 a 150 cm3/litro.: < 2% de agua de reserva.

4-5% de agua fácilmente disponible. 5-7% de agua difícilmente disponible.

El picón negro, que es el más usado, tienen una baja CIC: 5 meq/ 100 g, CE < 0,1 mS/ cm en extracto 1:6 (vol/ vol) y pH alcalino 7,5 y 8,5.

| | Densidad Aparente (g/cm³) | Porosidad Total (%) | Porosidad Ocluida (%) | Capacidad retencion agua facilmente disponible (%) | Agua facilmente asimilable (%) | Agua difícilmente disponible (%) | Agua de reserva (%) | Capacidad Aireacion (%) | Inerte | Reaccion | C.I.C. (meq/100g) | Poder Tampon |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Picon | 0,7-0,8 | 50-60 | 8-13 | 10-15 | 4-5 | 5-7 | <2 | 30-40 | Si | Alcalina | 5 | Bajo |

Tabla. Características Picón.

# SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO

El sistema viene influenciado claramente por la elección del sustrato, empleando los volúmenes aconsejados, las dimensiones de saco, salchicha o contenedor más adecuados, con una correcta instalación que permita la evolución más favorable del cultivo.

En la transformación del invernadero caben distintas posibilidades y la elección de cada una de ellas dependerá del coste de ejecución, de la maquinaria disponible, del tipo de sustrato empleado y de la disposición del mismo.

En España, por la heterogeneidad de los sistemas, las instalaciones, en general, se han simplificado. En la mayoría de las instalaciones de cultivo sin suelo, se ha reducido notablemente el volumen de sus trato empleado, respecto a los invernaderos de centroeuropa, permitiendo disposiciones, más sencillas y prácticas.

En sistemas cerrados, se recoge el drenaje producido en el invernadero, impidiendo la entrada de luz, para evitar la proliferación de algas, hasta un depósito desde donde bombear para su mezcla o para destinar a otras parcelas.

## Instalación de puntos de control

La instalación del punto o puntos de control del invernadero) serán referencia del funciona- miento del sistema) dichos puntos serán visitados al menos una vez al día) para tomar las mediciones de riego aportado) volumen de drenaje) mediciones de pH y conductividad eléctrica.

## Sistemas de cultivo en Lana de roca

.....

Es el sistema que más se utiliza en Europa y del que más información y experiencia se dispone. Por sus excelentes características físicas y químicas como sus trato para cultivo de hortalizas) lo convierte en uno de los sistemas ideales para el manejo de cultivo sin suelo.

Las tablas van embolsadas con un polietileno de color blanco exteriormente y negro en el interior) para evitar la proliferación de algas) de 500 galgas de grosor que permite una duración mínima de dos años. Las dimensiones más comunes son las de tablas de 100 cm de largo) 1 S a 24 cm. de ancho y entre 7)5 a 10 cm. de alto. Presentan diferentes densidades de lana de roca) a mayor densidad mayor duración del material) oscilando las densidades aparentes desde 100 mg/l hasta 47 mg/l.

Para cultivos hortícolas) se emplean densidades de plantación comprendidas entre 2 y 6 plantas por tabla.

## Sistemas de cultivo en Perlita

.....

La perlita se comercializa en sacos casi cilíndricos de 120 cm de longitud y 22 cm de diámetro) conteniendo un volumen de 40 litros de perlita B-12. El polietileno utilizado es de 800 galgas de espesor) blanco y negro) con una duración garantizada de 2 años. Cada saco es capaz de retener unos 23 litros de solución nutritiva. Se recomienda para un máximo de 6 plantas en cada saco y una densidad de 3.334 sacos por hectárea.

La perlita la podemos emplear con sistema de sacos) que es el más extendido) se puede adquirir a granel para rellenar contenedores de poliestireno expandido) o bien) en contenedores continuos) encareciendo la instalación en estos dos últimos respecto al cultivo en sacos) por la adquisición de dichos contenedores.

## Sistemas de cultivo en Arena

.....

Se emplea arena lavada de río) que se dispone en sacos de polietileno a modo de salchichas) e incluso en algunas explotaciones se rellenan contenedores de plástico rígido.

Para la fabricación de la salchicha se emplea polietileno coextrusionado blanco y negro) de un espesor de 400 a 600 galgas) de 1)5 m. de ancho y longitud de 30 a 50 m.) dependiendo de la longitud del invernadero. La dimensión del saco que nos queda) es de unos 40 cm de ancho y entre 20 a 25 cm de alto) se emplea un total de 250 m3/ha.) repartidos en 4.000 a 5.000 m. lineales.

Presenta como ventaja el bajo coste del sistema) la longitud de la salchicha puede ver compensada el posible ~al funcionamiento de algún gotero.

Como inconveniente presenta la falta de estandarización) posibles problemas de contaminación por transmisión de enfermedades entre plantas.

## *Sistemas de cultivo en Fibra de coco*

.....

En los últimos años se viene comercializando la fibra de coco disgregada o en balas prensadas en bolsas de polietileno, de similares características a las de los sacos de perlita o lana de roca.

Se puede utilizar contenedores de 16 a 241. de capacidad, en los que se introducirán la Fibra de coco. Se recomienda emplear un volumen de 85 a 130 m3/ha. de sustrato.

Como ventaja presenta su efecto estimulante sobre el crecimiento de la planta, elevada porosidad total, retiene cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y es fácil de manejar. Como inconvenientes presenta la falta de homogeneidad de las distintas partidas, procedencias y modalidad de presentación, alta salinidad de algunos lotes, su elevada relación C/N que puede producir sobre el cultivo el hambre de nitrógeno.

## *Sistemas de cultivo en Agua*

El sistema más conocido es el NFT que corresponde a las siglas de nutrient film technique, que fue desarrollado a finales de 1960 por el Dr. Allan Coopero Está basado en mantener una delgada lámina de solución nutritiva que continuamente se encuentra en re circulación, pasando a través de las raíces de la planta aportando agua, nutrientes y oxígeno. Para la instalación se emplean canales perfectamente nivelados, por los que circula dicha solución, dejando una cámara de aire y cerrando dicho canal con un plástico flexible que impide la entrada de luz.

## *SOLUCIÓN NUTRITIVA*

•••••••

tran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los microelementos.

Las sustancias que son capaces de liberar iones (H+) (protones) son ácidas y las que pueden liberar OH- dan reacciones básicas. El ácido nítrico tiene reacción ácida puesto que libera H+.

Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7,5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales.

Por encima de 6,5 se pueden producir precipitados y por debajo de 5 puede verse deteriorado el sistema radicular de la planta, y más en sistemas de cultivo sin suelo en los que se emplean sustratos con bajo poder tampón.

En el agua de riego el pH suele ser básico y para bajado generalmente hacemos uso de ácidos, como puede ser el ácido fosfórico o el nítrico, encargados de neutralizar al ión bicarbonato.

El bicarbonato actúa de elemento tampón, debiendo mantener en las soluciones nutritivas finales unos 0,5 mmol/litro para evitar caídas bruscas de pH.

Sobre el pH tiene influencia la forma de nutrirse la planta, principalmente en cómo toma los cationes o los aniones. Generalmente, un exceso de absorción de cationes sobre aniones provoca un descenso del pH, mientras que un exceso de absorción de aniones sobre cationes produce una subida del pH, ello se explica con el caso del nitrógeno, según las formas nítricas o amoniacales afectando sobre el pH final.

## *Salinidad. Conductividad Eléctrica*

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0,7 o 0,9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. La CE expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica.

.....

Tan importante es conocer la CE de un agua de riego o de una solución nutritiva, como la concentración de sus iones, puesto que los puede haber en niveles de concentración que pueden resultar fitotóxico.

En general, podemos decir que un agua es de buena calidad cuando su valor de CE es inferior a 0,75 mS/cm, permisible con valores de 0,75 a 2 mS/cm, dudosa con valores entre 2 y 3 mS/cm, e inadecuada cuando la CE es superior a 3 mS/ cm. Por otra parte, los cultivos hortícolas son más o menos resistentes a la salinidad y así tenemos que: el tomate, el melón, la sandía, la berenjena son cultivos medianamente tolerantes a la salinidadj el fresón y la judía son sensibles.

Los iones disueltos están formados por: aniones, que son los iones de carga negativa y los cationes, que son los de carga positiva. Puesto que la electronegatividad de la solución nutritiva se mantiene siempre, el sumatorio de las concentraciones de aniones y cationes expresadas en meq/l., deben ser ° ó <5%. La relación entre la CE y la suma de aniones o cationes en meq/l. debe ser aproximadamente 10. Esta relación es más baja en aguas que predominan los sulfatos y/o bicarbonatos y mayor de 10 cuando predominan los cloruros.

## *Unidades de concentración*

.....

La concentración a la que se encuentran los distintos iones se puede expresar de distintas formas, siendo en los sistemas de cultivo sin suelo la de mmol/l. o meq/l, la más común para el caso de los macroelementos y la de ppm, para la de los microelementos.

| Elementos | Peso atómico | Elementos | Peso atómico |
|---|---|---|---|
| N | 14 | Na | 23 |
| P | 31 | Cl | 35,5 |
| K | 39,1 | Fe | 55,9 |
| Ca | 40,1 | Mn | 54,9 |
| Mg | 24,3 | Zn | 65,4 |
| S | 32,1 | B | 10,8 |
| O | 16 | Cu | 63,6 |
| H | 1 | Mo | 95,9 |
| C | 12 | Si | 28,1 |

Tabla 7. Pesos atomicos de los elementos redondeados en el primer decimal.

Los iones disueltos en el agua los utiliza la planta en su nutrición, la concentración de cada uno de esos iones esenciales nos determinará la solución nutritiva, que como hemos visto, puede variar en función de la especie cultivada, de las condiciones climáticas y de las condiciones del agua de partida.

El bicarbonato HC03 no es un nutriente para la planta, aunque como se ha indicado, la acumulación puede incrementar el nivel de pH. La concentración de bicarbonato se neutraliza mediante el empleo de ácido fosfó'rico y/o nítrico.

## *Cálculo de Solución Nutritiva*

Relación entre la concentración en mmol/L, mg/L y me/L.

| Ion | mmol/L | mg/L | me/L |
|---|---|---|---|
| $NO_3$ | 1 | 62.0 | 1 |
| $H_2PO_4$ | 1 | 97.0 | 1 |
| K | 1 | 39.102 | 1 |
| Ca | 1 | 40.08 | 2 |
| Mg | 1 | 24.312 | 2 |
| $SO_4$ | 1 | 96.1 | 2 |
| Na | 1 | 23.0 | 1 |
| Cl | 1 | 35.453 | 1 |
| $HCO_3$ | 1 | 61.0 | 1 |

1 mmol de $Ca(NO_3)_2$ aporta 1mmol de Ca y 2 mmol de $NO_3$.
1mmol de $K_2SO_4$ aporta 2mmol de K y 1 mmol de $SO_4$.

| Nombre fertilizante | Forma comun de la sal | Peso molecular | Forma ionica | Peso ionico |
|---|---|---|---|---|
| Acido nitrico 100% | $HNO_3$ | 63 | $NO_3^-$ | 62 |
| Acido nitrico 37% | | 170.3 | $NO_3^-$ | 62 |
| Nitrato amónico | $NH_4NO_3$ | 80 | $NO_3^-$ . $NH_4^+$ | |
| Acido fosforico 100% | $H_3PO_4$ | 98 | $H_2PO_4^-$ | 97 |
| Acido fosforico 37% | | 264.9 | | |
| Fosfato monoamónico | $NH_4H_2PO_4$ | 115 | $NH_4^+$ . $H_2PO_4^-$ | |
| Fosfato monopotasico | $KH_2PO_4$ | 136 | $K^+$ . $H_2PO_4^-$ | |
| Nitrato potásico | $KNO_3$ | 101 | $K^+$ | 39 |
| Sulfato potásico | $K_2SO_4$ | 174 | $SO_4^-$ | 96 |
| Nitrato cálcico | $Ca(NO_3)_2$ | (181) | $Ca^{++}$ | 40 |
| Sulfato magnesico | $MgSO_4$ 7 $H_2O$ | 246 | $Mg^{++}$ | 24 |
| Nitrato magnesico | $Mg(NO_3)_2$ 6 $H_2O$ | 256 | $NO_3^-$ . $Mg^{++}$ | |
| | | | $Cl^-$ | 35.5 |
| | | | $Na^+$ | 23 |
| | | | $HCO_3^-$ | 61 |

Tabla 8. Abonos mas empleados en agricultura, en sistemas de fertirrigacion.

Para calcular la solución nutritiva necesitamos primero un análisis del agua de riego que vamos a utilizar, la misma tendrá una determinada concentración de iones, alguno de los cuales podrá ser utilizado por la planta y otros se encontrarán en exceso que deberemos considerar en nuestros cálculos.Partiendo de la solución nutritiva que queremos formular y por diferencia con el agua de riego, corregiremos para añadir los fertilizantes que nos permitan el ajuste de dicha solución.

Los cálculos los vamos a realizar para obtener la cantidad de abono que necesitaremos aportar a un depósito de solución madre de 1.000 l., que está 100 veces concentrada.

## Formulación de solución nutritiva

Cultivo: Fecha:

| | | Aniones mMol/l | | | | | Cationes mMol/l | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | Orden de ajuste de los elementos | 8 | 1 | 5 | 2 | | 7 | 6 | 3 | 4 | | | |
| | | $NO_3^-$ | $H_2PO_4^-$ | $SO_4^{2-}$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $NH_4^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | pH | CE mS/cm |
| a | Agua de riego | | | | | | | | | | | | |
| b | Solución ideal | | | | | | | | | | | | |
| b-a | Aportes previstos | | | | | | | | | | | | |

| Fertilizantes | mMol/l | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_3PO_4$ | | | | | | | | | | | |
| $HNO_3$ | | | | | | | | | | | |
| $Ca(NO_3)_2$ | | | | | | | | | | | |
| $KNO_3$ | | | | | | | | | | | |
| $NH_4NO_3$ | | | | | | | | | | | |
| $K_2SO_4$ | | | | | | | | | | | |
| $MgSO_4$ | | | | | | | | | | | |
| $NH_4H_2PO_4$ | | | | | | | | | | | |
| $KH_2PO_4$ | | | | | | | | | | | |
| $Mg(NO_3)_2$ | | | | | | | | | | | |
| e Aportes reales | | | | | | | | | | | |
| a+e Solución nutritiva final mMol/l | | | | | | | | | | | |
| g Solución nutritiva final meq/l | | | | | | | | | | | |
| Aniones | | | | | | | | | | | |
| Cationes | | | | | | | | | | | |
| ppm | | | | | | | | | | | |
| CE prevista | | | | | | | | | | | |

**Fertilizantes para 1.000 lts. de solución madre 100 veces concentrada.**

| h Fertilizante | Mmol/lt. | | Total Abono |
|---|---|---|---|
| Acido nítrico (37%) | | x 13,8 | litros |
| Acido nítrico (59%) | | x 7,8 | litros |
| Acido fosfórico (37%) | | x 21,2 | litros |
| Acido fosfórico (75%) | | x 8,2 | litros |
| Nitrato potásico | | x 10,1 | kilos |
| Nitrato cálcico | | x 18,1 | kilos |
| Nitrato amónico | | x 8,0 | kilos |
| Sulfato potásico | | x 17,4 | kilos |
| Sulfato magnésico | | x 24,6 | kilos |
| Fosfato monoamónico | | x 11,5 | kilos |
| Fosfato monopotásico | | x 13,6 | kilos |
| Nitrato magnésico | | x 25,6 | kilos |
| i Complejo de microelementos | | | kilos |

a) En la primera fila copiaremos el resultado del análisis de nuestra agua de riego expresada en mmol/1.

b) En la segunda fila, anotaremos la solución nutritiva que queremos formular para nuestro cultivo.

c) La fila correspondiente a los aportes previstos la obtendremos por diferencia de las dos anteriores. Puede que nos encontremos con iones en exceso, procedentes del agua de riego. En el caso de los bicarbonatos, hemos visto cuando hemos definido el pH, que son en gran medida los causantes de pH alto y que se neutraliza mediante el empleo de ácidos, dejando O,S mmol/l conseguimos mantener un pequeño poder tampón, al tiempo que nos permitirá estimar la cantidad de ácido que deberemos emplear.

d) Ajuste de los macroelementos, escogiendo para ello los abonos más convenientes. Por comodidad en el cálculo, es recomendable seguir el siguiente orden:

Comenzar ajustando el fósforo (con ácido fosfórico o si los niveles de bicarbonatos son muy bajos con fosfato monopotásico), terminar de neutralizar los bicarbonatos empleando ácido nítrico, ajustar el calcio con el empleo de nitrato cálcico, ajuste del magnesio empleando nitrato de magnesio y/o sulfato en caso de necesitar incrementar los sulfatos y por último, terminar de ajustar los niveles de potasio, nitratos, amonio y sulfatos restantes, intentando cuadrar lo mejor posible los aportes previstos.

e) Cálculo de los aportes reales, que pueden diferir ligeramente de los previstos.

f) Cálculo de la solución nutritiva final, que se obtendrá de la suma de las concentraciones del agua de riego más los aportes reales.

g) Como comprobación y para el cálculo de la CE final, emplearemos el método de los miliequivalentes, para lo cual la concentración de los iones los pasaremos a meq/l, multiplicando los mmol/l por la valencia del ión, calcularemos el sumatorio de aniones y el de cationes, que deberá ser muy similar. El sumatorio de los cationes o el de aniones dividido entre un factor que varía entre 10 para conductividades bajas y 12 para conductividades altas, nos dará el valor de la CE expresado en mS / cm de la solución fina1. Otro método para calcular la CE es pasar la concentración de mmol/l a ppm multiplicando por el peso del ión, calcular el sumatorio de iones y dividido por el factor 0,7 para aguas de baja CE y 0,9 para soluciones de alta CEo

h) Obtendremos la cantidad de kilos o litros del abono a diluir en un depósito de 10001 de solución madre 100 veces concentrada. Para ello emplearemos la segunda parte de la tabla, en donde para obtener los kilos o litros de abono comercial en estas condiciones multiplicaremos los mmol/1. de abono que necesitamos por el peso molecular/lO, teniendo en cuenta en el caso de líquidos la densidad para pasada a litros.

i) Aportaremos la cantidad de 2 a 2,S kilos de un complejo de microelementos comerciales aconsejados para sistemas de cultivo sin suelo en el depósito de 1000 litros.

La solución madre se prepara en dos o tres tanques que los vamos a denominar como tanque A y tanque B. Los cálculos se realizan para tanques con una capacidad de 1.000 litros y en donde la solución que prepararemos estará 100 veces concentrada.

Cuando se preparan las mezclas debemos evitar la adición en un mismo depósito de sulfatos y calcio, con fosfatos, el complejo de microelementos los podemos incorporar en el mismo tanque en el que pongamos el nitrato de cal, añadiéndolos antes de mezclar la cal. Intentaremos que los dos depósitos tengan la misma cantidad de abono en kilos, pudiendo utilizar el nitrato potásico para igualar dichos pesos.

| Nitrato Amonico | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Fosfato Monoamonico | | | | | | | | |
| C | C | Fosfato Monopotasico | | | | | | | |
| C | C | C | Nitrato Potasico | | | | | | |
| C | C | C | C | Sulfato Potasico | | | | | |
| C | I | I | C | I | Nitrato Calcico | | | | |
| C | C | C | C | C | I | Sulfato Magnesico | | | |
| C | I | I | C | C | I | C | Nitrato Magnesico | | |
| C | C | C | C | C | C | C | C | Acido Nitrico | |
| C | C | C | C | C | I | I | I | C | Acido Fosforico |

Tabla 9. Compatibilidad de las mezclas de los principales abonos. (C: Compatible; I: Incompatible)

Se exponen dos ejemplos de cálculo de solución nutritiva, el primero empleando un agua de riego de buena calidad y el segundo a partir de una agua con altos niveles de salinidad, para un supuesto cultivo de tomate.

**Formulación de solución nutritiva**

Cultivo: Fecha:

| | | Aniones mMol/l | | | | | Cationes mMol/l | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | Orden de ajuste de los elementos | 8 | 1 | 5 | 2 | | 7 | 6 | 3 | 4 | | | |
| | | $NO_3^-$ | $H_2PO_4^-$ | $SO_4^{2-}$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $NH_4^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | pH | CE mS/cm |
| a | Agua de riego | 0,70 | 0,00 | 1,88 | 0,56 | 1,90 | 0,00 | 0,11 | 1,52 | 0,54 | 0,90 | 8,46 | 0,47 |
| b | Solución ideal | 13,75 | 1,50 | 3,75 | 0,50 | 0,00 | 0,50 | 8,75 | 4,25 | 2,00 | 0,00 | | |
| c=b-a | Aportes previstos | 13,05 | 1,50 | 1,87 | -0,06 | -1,92 | 0,50 | 8,64 | 2,73 | 1,46 | -0,90 | | |

| Fertilizantes | mMol/l | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_3PO_4$ | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | | | | | |
| $HNO_3$ | 0,06 | 0,06 | | | -0,06 | | | | | | |
| $Ca(NO_3)_2$ | 2,73 | 6,01 | | | | | 0,55 | | 2,73 | | |
| $KNO_3$ | 6,98 | 6,98 | | | | | | 6,98 | | | |
| $NH_4NO_3$ | 0,00 | 0,00 | | | | | 0,00 | | | | |
| $K_2SO_4$ | 0,08 | | | 0,08 | | | | 0,16 | | | |
| $MgSO_4$ | 1,46 | | | 1,46 | | | | | | 1,46 | |
| $NH_4H_2PO_4$ | 0,00 | | 0,00 | | | | 0,00 | | | | |
| $KH_2PO_4$ | 1,50 | | 1,50 | | | | | 1,50 | | | |
| $Mg(NO_3)_2$ | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | 0,00 | |
| e Aportes reales | | 13,50 | 1,50 | 1,54 | -0,06 | 0,00 | 0,55 | 8,64 | 2,73 | 1,48 | 0,00 |
| f=a+e Solución nutritiva final mMol/l | | 13,75 | 1,50 | 3,42 | 0,50 | 1,92 | 0,55 | 8,75 | 4,25 | 2,00 | 0,90 |
| g Solución nutritiva final meq/l | | 13,75 | 1,50 | 6,84 | 0,50 | 1,92 | 0,55 | 8,75 | 8,50 | 4,00 | 0,90 |
| Aniones | 24,506 | | | | | | | | | | |
| Cationes | 22,896 | | | | | | | | | | |
| ppm | | | | | | | | | | | |
| CE prevista | 2,45 | | | | | | | | | | |

| Fertilizantes para 1.000 lts. de solución madre 100 veces concentrada. | | | |
|---|---|---|---|
| **Fertilizante** | **Mmol/lt.** | | **Total Abono** |
| Acido nitrico (37%) | 0,06 | x 13,8 | 0,83 litros |
| Acido nitrico (59%) | 0,06 | x 7,8 | 0,47 litros |
| Acido fosforico (37%) | 0,00 | x 21,2 | 0,00 litros |
| Acido fosforico (75%) | 0,00 | x 8,2 | 0,00 litros |
| Nitrato potásico | 6,98 | x 10,1 | 70,50 kilos |
| Nitrato cálcico | 2,73 | x 18,1 | 49,41 kilos |
| Nitrato amónico | 0,00 | x 8,0 | 0,00 kilos |
| Sulfato potásico | 0,08 | x 17,4 | 1,93 kilos |
| Sulfato magnesico | 1,46 | x 24,6 | 35,92 kilos |
| Fosfato monoamonico | 0,00 | x 11,5 | 0,00 kilos |
| Fosfato monopotásico | 1,50 | x 13,6 | 20,40 kilos |
| Nitrato magnesico | 0,00 | x 25,6 | 0,00 kilos |
| Complejo de microelementos | | | 2,00 kilos |

**Conductividad eléctrica:** 2.4 mS/cm (por ser un agua de buena calidad)
**pH:** 5.5

**Tanque A**

Fosfato monopotasico: 20,4 kg.
Sulfato Magnesico: 35,9 kg
Sulfato Potasico: 1,4 kg.
Nitrato Potasico: 32,1 kg.

**Tanque B**

Nitrato Cal: 49,4 kg.
Microelementos: 2 kg.
Nitrato Potasico: 38,4 kg.

**Formulación de solución nutritiva**

Cultivo: Fecha:

| | | Aniones mMol/l | | | | | Cationes mMol/l | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | Orden de ajuste de los elementos | 8 | 1 | 5 | 2 | | 7 | 6 | 3 | 4 | | | |
| | | $NO_3^-$ | $H_2PO_4^-$ | $SO_4^{2-}$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $NH_4^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | pH | CE mS/cm |
| a | Agua de riego | 6,00 | 0,00 | 2,88 | 2,66 | 6,73 | 0,00 | 0,08 | 6,30 | 3,19 | 5,00 | 7,86 | 2,27 |
| b | Solución ideal | 13,75 | 1,50 | 3,75 | 0,50 | 0,00 | 0,50 | 8,75 | 4,25 | 2,00 | 0,00 | | |
| c=b-a | Aportes previstos | 7,75 | 1,50 | 0,95 | -2,16 | -6,73 | 0,50 | 8,67 | -2,05 | -1,19 | -5,00 | | |

| Fertilizantes | mMol/l | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_3PO_4$ | 1,50 | | 1,50 | | -1,50 | | | | | | |
| $HNO_3$ | 0,66 | 0,66 | | | -0,66 | | | | | | |
| $Ca(NO_3)_2$ | 0,00 | 0,00 | | | | | 0,00 | | 0,00 | | |
| $KNO_3$ | 6,77 | 6,77 | | | | | | 6,77 | | | |
| $NH_4NO_3$ | 0,50 | 0,50 | | | | | 0,50 | | | | |
| $K_2SO_4$ | 0,95 | | | 0,95 | | | | 1,90 | | | |
| $MgSO_4$ | 0,00 | | | 0,00 | | | | | | 0,00 | |
| $NH_4H_2PO_4$ | 0,00 | | 0,00 | | | | 0,00 | | | | |
| $KH_2PO_4$ | 0,00 | | 0,00 | | | | | 0,00 | | | |
| $Mg(NO_3)_2$ | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | 0,00 | |
| e Aportes reales | | 7,93 | 1,50 | 0,95 | -2,16 | 0,00 | 0,50 | 8,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| f=a+e Solución nutritiva final mMol/l | | 13,93 | 1,50 | 3,75 | 0,50 | 6,73 | 0,50 | 8,75 | 6,30 | 3,19 | 5,00 |
| g Solución nutritiva final meq/l | | 13,93 | 1,50 | 7,50 | 0,50 | 6,73 | 0,50 | 8,75 | 12,60 | 6,38 | 5,00 |

| | |
|---|---|
| Aniones | 30,16 |
| Cationes | 33,23 |
| ppm | |
| CE prevista | 3,02 |

**Fertilizantes para 1.000 lts. de solución madre 100 veces concentrada.**

| | Fertilizante | Mmol/lt. | | Total Abono |
|---|---|---|---|---|
| h | Ácido nítrico (37%) | 0,06 | x 13,8 | 0,83 litros |
| | Ácido nítrico (59%) | 0,06 | x 7,8 | 0,47 litros |
| | Ácido fosfórico (37%) | 0,00 | x 21,2 | 0,00 litros |
| | Ácido fosfórico (75%) | 0,00 | x 8,2 | 0,00 litros |
| | Nitrato potásico | 6,98 | x 10,1 | 70,50 kilos |
| | Nitrato cálcico | 2,73 | x 18,1 | 49,41 kilos |
| | Nitrato amónico | 0,00 | x 8,0 | 0,00 kilos |
| | Sulfato potásico | 0,08 | x 17,4 | 1,93 kilos |
| | Sulfato magnésico | 1,46 | x 24,6 | 35,92 kilos |
| | Fosfato monoamónico | 0,00 | x 11,5 | 0,00 kilos |
| | Fosfato monopotásico | 1,50 | x 13,6 | 20,40 kilos |
| | Nitrato magnésico | 0,00 | x 25,6 | 0,00 kilos |
| i | Complejo de microelementos | | | 2,00 kilos |

**Conductividad eléctrica:** 2,4 mS/cm (por ser un agua de buena calidad)
**pH:** 5,5

### Tanque A

Fosfato monopotásico: 20,4 kg.
Sulfato Magnesico: 35,9 kg
Sulfato Potásico: 1,4 kg.
Nitrato Potásico: 32,1 kg.

### Tanque B

Nitrato Cal: 49,4 kg.
Microelementos: 2 kg.
Nitrato Potásico: 38,4 kg.

**Formulación de solución nutritiva**

Cultivo: Fecha:

| | Orden de ajuste de los elementos | Aniones mMol/l | | | | | Cationes mMol/l | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8 | 1 | 5 | 2 | | 7 | 6 | 3 | 4 | | | |
| d | | $NO_3^-$ | $H_2PO_4^-$ | $SO_4^{2-}$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $NH_4^+$ | $K^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | pH | CE mS/cm |
| a | Agua de riego | 6,00 | 0,00 | 2,88 | 2,66 | 6,73 | 0,00 | 0,08 | 6,30 | 3,19 | 5,00 | 7,86 | 2,27 |
| b | Solución ideal | 13,75 | 1,50 | 3,75 | 0,50 | 0,00 | 0,50 | 8,75 | 4,25 | 2,00 | 0,00 | | |
| c=b-a | Aportes previstos | 7,75 | 1,50 | 0,95 | -2,16 | -6,73 | 0,50 | 8,67 | -2,05 | -1,19 | -5,00 | | |

| Fertilizantes | mMol/l | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_3PO_4$ | 1,50 | | 1,50 | | -1,50 | | | | | | |
| $HNO_3$ | 0,66 | 0,66 | | | -0,66 | | | | | | |
| $Ca(NO_3)_2$ | 0,00 | 0,00 | | | | | 0,00 | | 0,00 | | |
| $KNO_3$ | 6,77 | 6,77 | | | | | | 6,77 | | | |
| $NH_4NO_3$ | 0,50 | 0,50 | | | | | 0,50 | | | | |
| $K_2SO_4$ | 0,95 | | | 0,95 | | | | 1,90 | | | |
| $MgSO_4$ | 0,00 | | | 0,00 | | | | | | 0,00 | |
| $NH_4H_2PO_4$ | 0,00 | | 0,00 | | | | 0,00 | | | | |
| $KH_2PO_4$ | 0,00 | | 0,00 | | | | | 0,00 | | | |
| $Mg(NO_3)_2$ | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | 0,00 | |
| e Aportes reales | | 7,93 | 1,50 | 0,95 | -2,16 | 0,00 | 0,50 | 8,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| f=a+e Solución nutritiva final mMol/l | | 13,93 | 1,50 | 3,75 | 0,50 | 6,73 | 0,50 | 8,75 | 6,30 | 3,19 | 5,00 |
| g Solución nutritiva final meq/l | | 13,93 | 1,50 | 7,50 | 0,50 | 6,73 | 0,50 | 8,75 | 12,60 | 6,38 | 5,00 |

| | |
|---|---|
| Aniones | 30,16 |
| Cationes | 33,23 |
| ppm | |
| CE prevista | 3,02 |

Diversas Soluciones Nutritivas q\)e se usa de inicio en Almería a partir de la soluciones de Son¬neveld y Bik 1984 (Casas, A. 1999)

| mmol/L | Berenjena | Melón | Lechuga | Clavel |
|---|---|---|---|---|
| $NO_3$ | 12.0 | 12.25 | 9.5 | 12.0 |
| $NH_4$ | 0.5 | 0 | 0.5 | 0.5 |
| $H_2PO_4$ | 1.5 | 1.25 | 1.0 | 1.5 |
| K | 6.0 | 5.5 | 6.0 | 5.75 |
| Ca | 3.0 | 4.0 | 2.25 | 3.75 |
| Mg | 1.5 | 1.0 | 0.75 | 1.0 |
| $SO_4$ | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 1.125 |
| **mg/L** | | | | |
| Fe | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 1.4 |
| Mn | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.41 |
| Cu | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Zn | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.20 |
| B | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| Mo | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

| mmol/L | Tomate | Pepino | Judía | Pimiento |
|---|---|---|---|---|
| $NO_3$ | 10.5 | 11.75 | 12.0 | 12.25 |
| $NH_4$ | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 |
| $H_2PO_4$ | 1.5 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| K | 7.0 | 5.5 | 5.5 | 6.0 |
| Ca | 3.75 | 3.5 | 3.5 | 3.75 |
| Mg | 1.0 | 1.0 | 1.25 | 1.25 |
| $SO_4$ | 2.5 | 1.0 | 1.125 | 1.25 |
| **mg/L** | | | | |
| Fe | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| Mn | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| Cu | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Zn | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| B | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.27 |
| Mo | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

# INSTALACIÓN DE RIEGO

En principio la instalación debe estar dotada de los elementos esenciales de cualquier cabezal de riego localizado. Bomba de aspiración o impulsión del agua de riego, que nos permitirá tener agua en suficiente cantidad a una determinada presión que alimentará nuestro sistema de riego.

El cabezal estará dotado de un prefiltrado, cuando el tipo de agua empleado lo requiera, seguidamente se instalarán filtros de arena que nos permitirá eliminar las algas y materia orgánica, con un posible contra lavado para poder hacer la limpieza del filtro) manómetro a la entrada y salida del filtro, que nos permitirá detectar cuándo tenemos el filtro sucio. Una vez pasado el filtro de arena, se produce la inyección de los fertilizantes y ácidos para conseguir nuestra solución nutritiva) punto éste que trataremos en un epígrafe aparte por la importancia que tiene sobre el manejo de los sistemas de cultivo sin suelo. Una vez aportados los fertilizantes procederemos a filtrar la solución nutritiva por medio de filtros de mallas o anillas. Después del filtrado colocaremos un manómetro que nos indicará por diferencias de presión cuando el filtro se encuentra sucio. El filtrado del agua es necesario si vamos a trabajar con goteros) puesto que el diámetro de paso es tan pequeño) que se pueden obturar con relativa facilidad.

En el cabezal de riego colocaremos los depósitos de poliester o polietileno en donde irán preparadas las soluciones madre) con un sistema de agitación mecánica) o por medio de sopladores) para la correcta dilución de los fertilizantes. A la salida de estos depósitos instalaremos grifos y filtros para posteriormente inyectar la solución concentrada en la red de riego. El número de éstos de- penderá de los cultivos que pretendamos manejar) requiriendo un mínimo de 2.

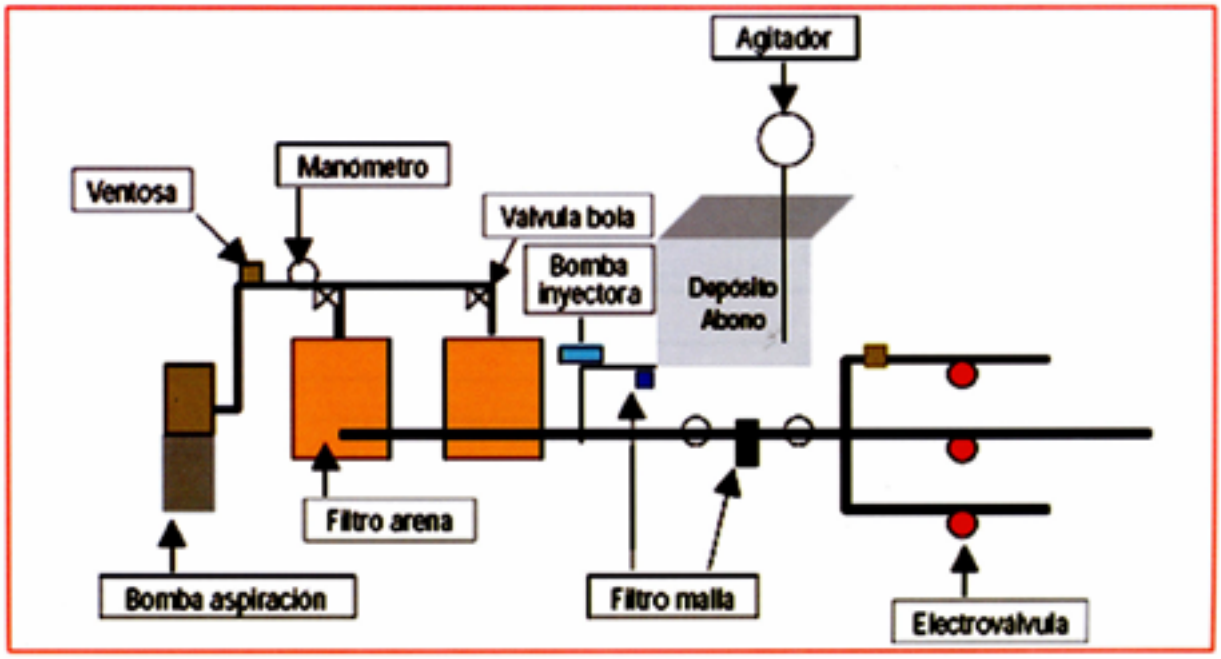



Figura 5. Esquema cabezal riego.

## Sistemas para preparar la Solución Nutritiva

.....

## Sistema balsa

.....

En la misma balsa se prepara directamente la solución nutritiva en la que quedará determinada la CE y el pH, por medio de la adición de los abonos y ácidos siguiendo las instrucciones indicadas en el epígrafe de preparación de las soluciones.

## Inyección proporcional

.....

La inyección de abono se efectúa directamente en la red de riego por medio de inyectores proporcionales. La instalación mínima estará dotada de dos inyectores proporcionales, que tomarán el abono de los depósitos de solución madre.

El sistema es también muy sencillo y fácil de manejar. El ajuste de CE y pH es también exacto. Como inconveniente presenta que los sectores de riego han de funcionar siempre con el mismo volumen.

## Sistemas de inyección automático con control del pH y de CE

Estos sistemas son los que emplean la mayor parte de los actuales ordenadores de riego. El sistema inyecta los nutrientes y el ácido de los depósitos de solución madre, homogeneíza la solución y se produce la lectura de conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva. Utiliza inyectores eléctricos y/o venturis con electroválvulas para su apertura y cierre.

Existen 2 tipos:

- Inyección directa en la tubería de riego

Las sondas que miden el pH y la conductividad eléctrica se instalan en la tubería de riego, después de la inyección de abono y ácido y después de un homogeneizador. La lectura de estos parámetros modifica la inyección de abono y ácido hasta ajustar el valor requerido.

- Depósito de mezcla

El funcionamiento es similar al anterior, la diferencia es que la solución es fabricada en un pequeño depósito a donde llega el agua de riego, se inyectan los fertilizantes y ácido, la solución nutritiva es bombeada al sistema y por medio de un by pas, se hace pasar por los sensores de pH y CE, que a partir de la lectura marcan las inyecciones de abono y ácido hasta obtener el valor deseado. El depósito está dotado de sondas de nivel y válvulas hidráulicas que pueden regular de forma automática el nivel requerido del tanque. Podemos encontrar modelos dotados de pHmetros y conductivímetros de seguridad.

Este segundo sistema presenta como principal inconveniente que requiere de un segundo grupo de bombeo, la ventaja es que permite formular distintas soluciones nutritivas para distintos cultivos de una forma muy exacta

con una homogeneización de la mezcla más completa. En ambos casos el equipo está dotado de un sistema de alarma que se activa cuando las lecturas difieren de los valores programados, deteniendo de forma automática el riego para evitar cualquier problema sobre el cultivo. El ordenador de riego permite diferentes sistemas de programación de riego, hora fija, riegos cíclicos, por radiación solar, riego por demanda y sus combinaciones como veremos posteriormente.

## *Emisores*

.....

En sistemas de cultivo sin suelo que emplean contenedores continuos rellenos de sustrato, podemos emplear goteros de laberinto incorporados a la tubería de riego e incluso cintas de riego del tipo empleado para cultivo de hortalizas en sistemas de riego localizado.

En sistemas de cultivo en sacos o contenedores individuales, se vienen utilizando goteros que van pinchados en la tubería (emisores sobre línea), portaemisores conectados a un microtubo y una piqueta que permite llegar hasta la planta, sirviendo este último elemento como sujeción de la planta procedente del semillero sobre el sustrato y localizador del punto de descarga.

Debido al mayor coste del emisor se emplea un gotero por cada dos plantas de un caudal que oscila entre los 2 a 4 litros/hora.

Los emisores que pueden emplearse son:

a) Capilares o microtubos

Formados por un microtubo de polietileno de un diámetro interno de 0,6 a 2 mm. y de una longitud de hasta 2 m., que trabaja con presiones muy bajas 7 m.c.a. en régimen laminar. Son sensibles a las variaciones de presión y temperatura y propensos a las obstrucciones. Para obtener una buena uniformidad de riego se debe sobredimensionar las terciarias y la tubería portagotero. También se puede compensar la pérdida de carga con distintas longitudes de microtubo. Presenta como ventaja el bajo precio.

b) Emisores de laberinto

En ellos el agua recorre una trayectoria tortuosa hasta salir sin presión. Son de menor sensibilidad a las variaciones de presión, temperatura y obturaciones. Su presión de trabajo mínimo de 1 atmósfera y caudales comprendidos entre 2 a 4litros/hora.

Para evitar una falta de uniformidad, en los frecuentes riegos que se aplican en estos sistemas, se deben instalar electroválvulas en los sub sectores para evitar descargas y conseguir un llenado rápido de las tuberías al inicio del riego.

c) Emisores de membrana autorregulados y antidrenantes

Estos goteros poseen una membrana que no abre hasta que no alcanza una presión de 4 o 10 m.c.a., tanto la apertura como el cierre se efectúa con la red llena de agua. En sistemas de riego para cultivos sin suelo en donde se aportan numerosos riegos al día, permite mejorar los coeficientes de uniformidad.

d) Emisores autocompensantes y antidrenantes

Permiten un caudal constante dentro de un rango de presiones. Son aconsejados cuando existe una baja uniformidad, debida a desniveles del terreno y de pérdidas de carga en las tuberías. Es¬tos emisores son caros y con el tiempo pierden eficacia por el envejecimiento de la membrana elástica. En la práctica se emplean en muchas explotaciones de cultivos sin suelo.

# MANEJO DE LOS CULTIVOS SIN SUELO

## *Control del Riego*

Uno de los aspectos más importantes del manejo de los sistemas de cultivo sin suelo es el del riego, frecuencia, dotación, número, drenaje y manejo de la solución nutritiva. El aporte de riego ha de permitir compensar las extracciones de la planta, evitar una posible acumulación de sales en el sistema radicular y mantener los niveles de oxígeno adecuados, con una correcta aireación.

La solución nutritiva está compuesta de un equilibrio adecuado, pero todos los iones disueltos no los aprovecha la planta en su totalidad. Por otra parte, el agua de riego puede contener iones en exceso, como cloruro s, sodio, niveles altos de magnesio, sulfatos, etc., que se acumulan en el sistema radicular y en el sustrato, produciendo salinización. También hemos de contar con la posible falta de uniformidad, aunque en estos sistemas vamos a exigir una uniformidad de riego superior al 95%, los emisores envejecen. En el interior de los invernaderos se producen gradientes de temperatura, humedad relativa, luminosidad y heterogeneidad de plantas, que hace que no consuman exactamente la misma cantidad de agua. Para contrarrestar estos efectos, manejamos el sistema de riego con drenaje, es decir, cuando aportamos la solución nutritiva lo hacemos con una dotación superior a las necesidades reales de la planta, en cantidades que al menos supone entre un 20 a un 25% de drenaje y cuando se emplean aguas salinas, en don- de la acumulación de iones puede ser importante, se trabaja con drenajes del 30-35 % o superiores.

Durante los 15 a 20 primeros días, en los que el sistema radicular de la planta va a ir invadiendo el sustrato, el aporte de riego debe ir destinado a mantener la humedad del taco o cepellón del semillero, especialmente en aquellos sistemas que emplean los bloques de lana de roca. En esta fase estaremos atentos al arraigue de las plantas durante los primeros días, principalmente en trasplantes que se realizan sobre un sustrato en donde se ha desarrollado un cultivo con anterioridad, debido a que la saturación completa es más difícil por estar el saco o contenedor con el corte de drenaje efectuado, quedando la parte superior del sus trato algo más seca.

En plantaciones que se realizan durante el invierno o finales del otoño y en situaciones de baja evapotranspiración, podemos pasar un período de dos a tres semanas con aportes de riegos mínimos e incluso, en algunos sistemas con el sustrato completamente saturado, se puede pasar un tiempo relativamente largo sin aportar riego.

Transcurridas esas dos a tres semanas, iniciaremos las mediciones en el punto o puntos de control del

drenaje, calculando el porcentaje de drenaje y realizando mediciones del pH y de la conductividad

eléctrica del mismo. Dichas mediciones serán anotadas en una tablilla del tipo que exponemos a continuación durante todos los días preferiblemente a la misma hora.

La toma de estos datos) su análisis diario y evolución) es la principal base para el manejo de la solución nutritiva y de la dotación de riego.

El cálculo de la dotación de riego para cada sistema en particular es importante) incluso antes de iniciar su

manejo y depende de: sistema) sus trato) calidad de sustrato) volumen del mismo) calidad de agua de riego) cultivo) caudal de los emisores) uniformidad de riego) etc.

Exponiendo un ejemplo real se facilitará la comprensión.

Imaginemos un invernadero preparado para el cultivo de tomate en sistema de 'cultivo en perlita) con granulometría B-12) sacos de 40 litros) en los que se van a trasplantar 6 plantas en cada uno) con tres goteros con caudales de 3 litros/hora en cada saco. En el caso en que la solución nutritiva asimilable del saco fuese del 60% de su volumen) nos encontraríamos con que el agua disponible es de 24 litros. Bajo la hipótesis de que el nivel de agotamiento al que queremos llegar es del 5%) significa que el siguiente riego lo daremos cuando las 6 plantas hayan consumido 1)2 litros del saco.

La dotación de riego será de 1)2 litros más el drenaje correspondiente. En el supuesto de que estemos trabajando con un 25% de drenaje será: (1)2 x 0)25= 0)3 L)) por lo que la dotación final sería de: (1)2 + 0)3= 1)5 L).

1)5 litros / 3 gotero s = 0)5 litros. Q gotero = 31/h

0.5 litros / 3 litros/h = 0.16 h * 60 minutos = 9)999 minutos. La dotación de riego sería de 10 minutos.

En la práctica los niveles de agotamiento empleados en el manejo de perlita y lana de roca son inferiores al 5% y con este valor se manejan sustratos como la arena y la fibra de coco.

Hasta ahora los tiempos de riego vienen siendo fijos durante un cultivo) con pequeñas modificaciones propias del manejo. Existen programas informáticos que permiten modificar el tiempo de riego en diferentes periodos del día) aportando riegos cortos en primeras y últimas horas del día y riegos más largos en las horas centrales) en las que se requieren niveles de drenaje más elevados.

El número de riegos diarios y el lapso de tiempo que debe transcurrir entre un riego y el siguiente los debemos obtener experimentalmente) por medio de las medidas de drenajes diarias y en determinados momentos de cultivo) con medidas de drenaje en diferentes períodos del día.

Para determinar el manejo del riego podemos dividir el día en 4 períodos:

Primer período) correspondiente a las dos o tres primeras horas después de salir el sol) en el cual la evapotranspiración de la planta es baja. La planta inicia su actividad) la temperatura del invernadero todavía es baja y generalmente) los niveles de humedad relativa son altos. Si no hemos regado durante la noche el sustrato se encontrará con una fracción de agotamiento superior al 5% que inicialmente habíamos fijado) puesto que la actividad de la planta durante la noche no es nula.

Los primeros riegos servirán para recuperar los niveles de humedad adecuados en el sustrato) generalmente se consigue con el primer o segundo riego. Los niveles de drenaje en este período deberán ser bajos) un S a un 10% inferior al prefijado. El primer riego se puede realizar en muchos casos 1 o 2 horas después de salir el sol, permitiéndonos durante esos primeros instantes una buena oxigenación del sistema radicular.

Segundo período, que coincide con las horas centrales del día. Se está incrementando la temperatura en el invernadero, máxima luminosidad, se produce una disminución de la humedad relativa y nos encontramos en el período de máxima evapotranspiración del día. Durante este período y muy especialmente en las estaciones calurosas, la planta tiende a consumir más agua que nutrientes, siendo el momento en el que debemos mantener niveles de drenaje más altos, que se consigue incrementando las frecuencias de riego, que en casos de manejo de fracciones de agotamiento inferiores al 5%, el lapso entre dos riegos puede llegar a ser de menos de 30 minutos.

Algunos ordenadores de riego, bajo influencia de niveles de radiación altos, permiten reducir ligeramente la conductividad de la solución nutritiva, adecuando el manejo a la situación expuesta.

Tercer período, correspondiente a las últimas horas del día o atardecer, en donde la luminosidad empieza a disminuir, baja la temperatura y el nivel de humedad relativa aumenta. Se reducen los riegos, incrementando el tiempo que transcurre entre los mismos y se reduce el nivel de drenaje.

Cuarto período, que corresponde a la noche, la planta disminuye notablemente su actividad con

evapotranspiración muy baja, en este período generalmente no se riega, reduciéndose el nivel de humedad en el sistema radicular y permitiendo así su oxigenación. El riego nocturno se justifica en situaciones de noches calurosas en tiempo seco, invernaderos con sistema de calefacción en los que se mantienen temperaturas altas con niveles de humedad relativa inferiores al 90% y en momentos en los que puede haber problemas de "Blossom End Rot" o "podredumbre apical", los riegos nocturnos puede favorecer el transporte de calcio a nivel de floema.

Los niveles de drenaje en general podrán ser bajos, del orden del 10 al 25%, durante la fase de crecimiento y cuajado del cultivo hortícola, será máximo durante la fase de crecimiento de los frutos con niveles comprendidos entre 30 al 60% y se reduce durante el período de maduración, hasta valores del 25 al 30%.

Estos porcentajes de drenaje se pueden modificar también en función de las condiciones climáticas. Lo expuesto nos sirve para un día soleado, con elevada evapotranspiración, las necesidades de riego se ven incrementadas con la misma luminosidad a acompañado de vientos fuertes y secos y se reduce notablemente en días nublados en los que se deberá disminuir notablemente los niveles de drenaje, e incluso anular los riegos en días muy nublados y con bajas temperaturas.

## *Manejo de la Solución Nutritiva*

.....

La solución nutritiva, depende principalmente del cultivo, estado fenológico, de la calidad del agua de riego y de las condiciones meteorológicas.

Una vez establecida la solución nutritiva en un cultivo, las variaciones son mínimas y la posible variación de la concentración de los iones estará sujeta a los posibles desajustes detectados tras un análisis del drenaje, que es conveniente realizado en diferentes estados del cultivo, como pueden ser: periodo de cuajado, engorde de frutos y recolección.

Los valores de CE en drenaje podrán ser entre 0,5 a 1,5 mS/ cm superior al de la solución nutritiva de entrada. Bajo un correcto manejo, debemos evitar las oscilaciones bruscas de CE en drenaje, tal y como se indica en el punto anterior, así como de la CE y el pH de la solución nutritiva.

Durante un mismo día, sujetos a las diferencias de luminosidad, podemos modificar ligeramente la CE de entrada entre 0,2 a 0,5 mS/ cm, intentando mantener la CE del drenaje dentro de los

niveles aconsejados, evitando variaciones bruscas. Esta forma de trabajar nos permite anticipamos realizando un manejo más racional y equilibrado.

Las soluciones nutritivas, se van a modificar en función de los resultados de los análisis del agua de drenaje. En la siguiente tabla, se indican unos rangos de concentración de iones de la solución nutritiva con la que podemos regar y los niveles con los que nos podríamos encontrar en la solución del drenaje en los principales cultivos hortícolas:

En general se puede decir que podemos encontrar concentraciones menores en drenaje de K+, H2P04 y Mn con concentraciones entre un 50 a 100% de la de entrada. Concentración semejante en N03-, concentración entre 100-150% en Ca++, S04=, Fe, Cu y Zn, concentraciones entre 100¬200% en B, entre 100-300% en Mg++ y los niveles de Cl- y Na+ en drenaje cuanto más bajo mejor.

| Concentración iones mmol/litro. | Solución nutritiva entrada | Solución nutritiva en drenaje |
|---|---|---|
| EC | 2.1-2.3 | 3 |
| $NO_3^-$ | 10-16 | 17-20 |
| $H_2PO_4^-$ | 1,25-1,5 | 0,7-0,9 |
| $SO_4^{--}$ | 1,5-3,75 | 3-5 |
| $NH_4^+$ | 1,5 | <0,5 |
| K+ | 6,75-8,75 | 6,25-8 |
| Ca++ | 3,25-4,75 | 6,25-7 |
| Mg++ | 1,25-2,5 | 2,5-4,25 |
| Concentracion en µmol/litro | | |
| Fe | 10-15 | 15 |
| Mn | 10 | 7 |
| Zn | 4-5 | 7 |
| B | 20-30 | 50-60 |
| Cu | 0,5-0,75 | 0,7-1 |
| Mo | 0,5 | |

Tabla 12. Concentracion de los iones en la solucion nutritiva y en drenaje

## *Programación y Automatización de los Riegos*

La programación de los riegos está basada en la dotación y la frecuencia, para lo cual disponemos de programadores de riego más o menos sofisticado s, así como señales externas que terminan definiendo distintos tipos de programación de riegos.

a) Riegos a hora fija

Por medio del cual se establecen riegos a horas prefijadas. Es de gran utilidad tras el trasplante del cultivo y durante las dos a tres semanas. También son muy útiles dentro de la programación, en combinación con otros modos de programación, para dar riegos en momentos fijos del día.

b) Riegos cíclicos

Se programa una hora de comienzo y finalización del riego y duración del intervalo entre riegos. Combinado con un programa de riegos a hora fija nos permite realizar una programación de riegos que se ajusta bastante a las necesidades de un sistema de cultivo sin suelo.

c) Riegos por radiación.

La radiación está altamente relacionada con la tasa de transpiración de la planta. Existen ordenadores de riego que llevan conectada una señal exterior, un solarímetro, capaz de medir la intensidad luminosa instantánea y la radiación acumulada.

Generalmente se trabaja con radiaciones acumuladas, asociamos un valor de radiación acumulada y su equivalencia a un riego. En el momento en que se activa el riego, en el sector en cuestión el contador de radiación se pone a cero e inicia de nuevo la acumulación.

El valor de radiación equivalente a un riego depende de muchos factores agronómicos como estado del cultivo,

densidad de plantación, época de cultivo, tipo de invernadero, ubicación, etc., de forma que es muy difícil a nivel práctico universalizar un valor de radiación. El valor de radiación equivalente a un riego lo deberemos obtener experimentalmente y posteriormente, se deberá modificar ligeramente en función de las necesidades de cultivo.

La programación por radiación funciona bastante bien y es empleada por un gran número de cultivadores, en ocasiones va asociada a riegos a hora fija programados a primera hora de la mañana o para riegos nocturnos.

Este tipo de programación presenta como inconveniente el no considerar los incrementos de evapotranspiración por el efecto del viento.

Los solarímetros pueden colocarse en el interior o al exterior del invernadero y es muy importante evitar posibles sombras y un mantenimiento periódico de limpieza.

d) Riegos por demanda

En este caso la señal exterior al ordenador está conectada a una bandeja de demanda formada por dos electrodos, que se encuentran en contacto con el agua de drenaje, que el diseño de la bandeja mantiene como un agua de reserva.

Esta agua de reserva está en contacto con una especie de tela o fieltro que se mantiene húmeda en todos sus puntos por capilaridad, el sistema radicular de la planta está en contacto con dicho fieltro, con lo cual el nivel de reserva está íntimamente relacionado con el consumo de agua por parte de la planta ..

El nivel del agua de reserva se ajusta por un pequeño grifo en el rebosadero, uno de los electrodos se encuentra siempre en contacto con el agua de drenaje y el segundo se ajusta para que quede por encima del nivel del agua de drenaje en el momento en que se debería realizar un riego.

Este sistema de riego es el más empleado por los agricultores, es el más exacto y presenta como principal inconveniente el del ajuste y que la totalidad del invernadero riega a partir de una muestra (bandeja de demanda), en la que en ocasiones se producen bajas o plantas desiguales.

e) Riegos por medida de drenaje

Este sistema está bastante relacionado con el anterior. En este caso el agua de drenaje de la bandeja va llenando unas cazoletas que permiten cuantificar el volumen de drenaje y por tanto, trabajar por medio de programación de porcentaje de drenaje. Para obtener el objetivo marcado de % de drenaje, el programador puede actuar sobre el tiempo de riego y sobre el intervalo entre riegos.

# LA RECIRCULACIÓN EN LOS CULTIVOS SIN SUELO

La recirculación en los cultivos sin suelo consiste en restituir al circuito de fertirrigación los lixiviados originados como consecuencia de dotaciones de riego excedentarias, de forma que se establezca un circuito cerrado.

Parece obvio que las técnicas de recirculación aplicadas a los cultivos sin suelo mejoran la eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes en comparación con los correspondientes cultivos sin suelo abiertos o en suelo natural. En consecuencia, las técnicas de recirculación contribuyen a paliar el problema medioambiental derivado de la lixiviación de fertilizantes en la horticultura intensiva.

Desde un punto de vista técnico la operatividad de un sistema de cultivo sin suelo con re circulación viene en buena parte condicionada por la calidad del agua de riego. Así, cuando la conductividad eléctrica (CE) de dicha agua es inferior a 0.6 dS.m-l la re circulación total no suele representar ningún problema. Las limitaciones empiezan a surgir cuando la CE es superior a 1.0 dS.m-1. Pero este límite es mayor o menor según sea la composición del agua. Así, desde el punto de vista de la composición iónica las concentraciones de cloruro y de sodio determinan restricciones para el uso del agua en cuestión en un sistema recirculante. Algunos autores establecen el límite para el sodio en 2.0 meq. L-l y para el cloruro en 1.5 meq.L-1. Por otra parte, cuando la temperatura y la radiación solar son elevadas -como ocurre en el litoral mediterráneo incluso durante el invierno ¬las restricciones para una aplicación viable de un sistema cerrado aumentan; en las mencionadas condiciones, la transpiración es elevada y la distorsión de la composición de la SN reciclada tiene lugar más rápidamente que en climas con menor demanda evaporativa del ambiente.

Buena parte de los problemas agronómicos en los cultivos sin suelo cerrados derivan de la progresiva alteración de la composición originaria de la solución nutritiva. Principalmente, por la acumulación de ciertos iones como cloruro, sodio y sulfatos. También por el progresivo aumento de la CE del lixiviado y, por tanto, de la concentración salina de la solución de la rizosfera. Además, en los cultivos sin suelo cerrados en condiciones de elevada temperatura suele haber mayores problemas en la transmisión de enfermedades por vía acuosa.

Cuadro . Relaciones más usuales entre las concentraciones iónicas de la solución de aporte y la de la rizosfera en un sustrato inerte (5).

| ION | Concentración en la solución de aporte | Concentración en la solución de la rizosfera |
|---|---|---|
| NO3- | 100 % | 75-125 % |
| NH4+ | 100 % | 0-50 % |
| H2PO4- | 100 % | 50-75 % |
| K+ | 100 % | 50-75% |
| Ca++ | 100 % | 125-200 % |
| Mg++ | 100 % | 200-300 % |
| SO4= | 100 % | 150-200 % |
| pH | 100 % | + 0,5 Ud |
| CE | 100 % | + 1-2 Ud |

Una solución que puede adoptarse cuando no se dispone de agua de suficiente calidad es la recirculación parcial, de forma que se elimina el lixiviado almacenado cuando se supera una determinada concentración de iones no deseables -por ejemplo, cloruro o sodio - o cuando se supera un determinado nivel de sales disueltas, por ejemplo cuando la CE es mayor de 5 dS. m-l. Naturalmente el límite para proceder al vertido de los lixiviados dependerá no sólo de la concentración total de sales sino también de su composición iónica, del cultivo y del clima.

Como se ha expuesto anteriormente, puesto que un cultivo sin suelo cerrado restituye al sistema de fertirriego el lixiviado, es obvio que la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes -es decir la cantidad de agua o la de cada uno de los fertilizantes utilizados para producir una unidad de peso de cosecha- es mayor que en un sistema de cultivo sin suelo abierto. A su vez, la eficiencia en cultivos sin suelo abiertos es mayor que en cultivo en suelo. En condiciones mediterráneas, en Almería, en sendos cultivos de judía tierna y de tomate en sacos de perlita sin o con recirculación se han obtenido eficiencias medias del uso del agua, referidas a dos años de cultivo, de 84.5 frente a 48.5 L.Kg-1 en judía tierna y de 54.8 frente a 37.9 L.Kg-1 en tomate, respectivamente en cultivo si suelo abierto y cerrado (García, 1997). En este ejemplo, en lo que se refiere al ahorro de fertilizantes, la eficiencia media en el uso de los nitratos -referida a los dos años de cultivo- fue de 72.2 frente a 43.8 g N03-.Kg-1 en judía tierna y de 41.1 frente a 25.6 g N03- .Kg-1 en tomate, respectivamente en cultivo sin suelo abierto y cerrado (Tabla siguiente). En cuanto a las pérdidas de nitratos en los cultivos sin suelo abiertos mencionados anteriormente, la cantidad lixiviada fue de 1090 kg N03-. Ha-1 (equivalente a 246 kg N.Ha-1). En cuanto al fósforo, las pérdidas por lixiviación fueron de 62.3 kg P.Ha-1 (García, 1997).

| | JUDÍA | | TOMATE | |
|---|---|---|---|---|
| | CSS abierto | CSS cerrado | CSS abierto | CSS cerrado |
| Eficiencia del agua[1] | 84.5 | 48.5 | 54.8 | 37.9 |
| Eficiencia de los nitratos[2] | 72.2 | 43.8 | 41.1 | 25.6 |

Tabla 1: Eficiencia media en el uso de agua y de los nitratos en sendos cultivos de judía para el consumo en verde de la vaina y el tomate, en Almería, llevados a cabo en cultivo sin suelo abierto y cultivo sin suelo cerrado (elaborado por Marfa, O., a partir de García, 1997).

1) Valores expresados en L.Kg-1 de cosecha.

2) Valores expresados en NO-3.Kg-1 de cosecha.

La recirculación de la Solución Nutritiva requiere, además de equipos específicos para llevarla a cabo, un control frecuente de la composición de los lixiviados y una corrección periódica de la

Solución Nutritiva reconstituida con el fin de que la deriva que experimenta su composición sea lo más lenta y lo menos acentuada posible. Sin embargo, es inevitable un aumento de la concentración de ciertos iones presentes en el agua de riego que las plantas no absorben en la proporción en que se encuentran disueltos; por ejemplo cloruro, sodio o sulfato. El aumento de la salinidad y de la concentración de ciertos iones da lugar a que los rendimientos de cosecha obtenidos con los cultivos sin suelo cerrados sean, a veces, menores que en los cultivos sin suelo abiertos. Una práctica recomendable para paliar, en parte, la mencionada dificultad es aplicar una fracción de lixiviación (FL) suficientemente elevada para que no tengan lugar aumentos localizados de la CE en el entorno de las raíces. Naturalmente, esta estrategia no debe condicionar el suministro de oxígeno a las raíces. Para ello, en algunas ocasiones, puede ser recomendable oxigenar artificialmente la Solución Nutritiva y/o utilizar sustratos con elevada capacidad de aire (Marfa et al., 1999).

Cuadro. Rangos de oscilación en mmol•L-1 de los coeficientes de absorción obtenidos para un cultivo de tomate tipo larga vida cv. Daniela de ciclo largo.

| N | H2PO4- | SO4= | K+ | Ca++ | Mg++ |
|---|---|---|---|---|---|
| 8-14 | 1,25-1,5 | 0,5-1,5 | 4-8 | 1,75-3 | 0,75-1,2 |

Cuadro. Concentraciones absorbidas de Na y Cl en mmol•L-1 para algunas especies cultivadas a dos niveles diferentes de ambos iones en el ambiente radicular Sonneveld y Van der Burg (15).

| | Concentración en el ambiente radicular | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 5 mmol•L-1 | | 10 mmol•L-1 | |
| ESPECIE | Na+ | Cl- | Na+ | Cl- |
| Tomate | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| Pimiento | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,7 |
| Pepino | 0,3 | 0,3 | 1,1 | 1,5 |
| Berenjena | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,7 |

## *Ámbitos de aplicación de las técnicas de recirculación*

.....

Desde un punto de vista técnico la recirculación ha sido ensayada con éxito en diferentes modalidades de la producción hortícola intensiva. Algunas técnicas de cultivo si suelo como la del film nutritivo (NFT) comportan por su propia naturaleza la recirculación. Otras como las que utilizan sustratos minerales (lana de roca, perlita o vermiculita expandida, gredas volcánicas, gravas, arenas, etc.) han incorporado posteriormente técnicas de re circulación. En los cultivos sin suelo en los que se utilizan sustratos de naturaleza orgánica, química y biológicamente activos, la Solución Nutritiva interacciona fuertemente con el sus trato y no es tan sencilla la incorporación de la recirculación al sistema de cultivo.

## *Elementos básicos de un sistema de recirculación para cultivo sin suelo*

..... …….

Los lixiviados presentan dos características básicas:

1) Su composición iónica no es igual a la de la Solución Nutritiva originaria, aunque normalmente presenta alguna semejanza.

2) Incorporan sólidos en suspensión, solutos exudados por las propias raíces y microorganismos que pueden ser patógenos.

Por tanto los lixiviados deben:

- Filtrarse.
- Desinfectarse.
- Restituirse al circuito cerrado, corrigiendo su composición, en la medida que sea técnicamente posible, y de forma automatizada.

La filtración es necesaria para garantizar la uniformidad del sistema de riego. Para filtrar los lixiviados se emplean los filtros habituales de malla, de discos y/o de arena.

La desinfección de los lixiviados se puede llevar a cabo empleando métodos físicos como los rayos ultravioleta, la pasteurización o la filtración a través de membranas (microfiltración, ultrafiltración, nano filtración u osmosis inversa). También pueden aplicarse métodos/productos químicos como la ozonización, el agua oxigenada, la cloración u otros métodos menos desarrollados (ácido peroxiacético, silicato de potasio). Finalmente, pueden emplearse métodos biológicos consistentes en la utilización de microorganismos antagonistas de los microorganismos patógenos.

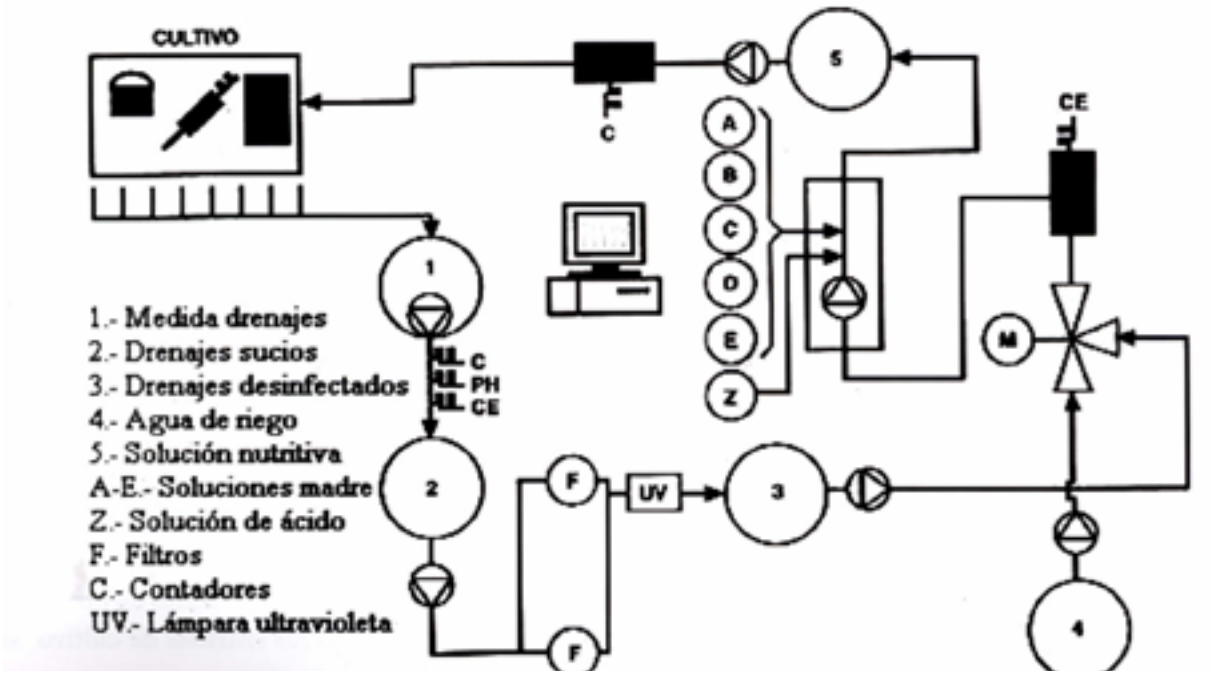
Actualmente para recomponer la Solución Nutritiva lo más habitual es corregir los dos parámetros básicos, CE y pH, mediante los correspondientes sensores, de forma que se disponga de información a tiempo real de ambos parámetros.

Las operativas más habitualmente utilizadas son:

• De acuerdo con la demanda, mezclar el agua de riego con los lixiviados mediante una válvula de tres vías mecanizada cuya apertura es regulada automáticamente de acuerdo con una consigna de CEo Dicha consigna debe ser tal que el gasto diario de lixiviado sea aproximadamente igual al volumen de lixiviado producido, con objeto de que el volumen de lixiviado almacenado no supere la capacidad de almacenaje disponible. A continuación se restablece automáticamente la CE y el pH de la solución nutritiva originaria mediante la inyección, en proporciones volumétricas preestablecidas, de diferentes soluciones fertilizantes concentradas y de ácido (Fig.).

**Figura 1:**

***Esquema de una instalación para la recirculación en CSS***




• Acumular el lixiviado en un depósito y restituir automáticamente un nivel de líquido preestablecido, de forma que la solución resultante mantenga la CE y el pH de la Solución Nutritiva originaria¡ para ello, como en el caso anteriormente descrito, se inyectan automáticamente soluciones fertilizantes concentradas y ácido, de acuerdo con sendas consignas de CE y de pH (García, 1997).

En el primer caso, la CE y el pH de la Solución Nutritiva reconstituida se mantienen estables.

En el segundo caso, el pH y la CE varían, entre dos llenados consecutivos del tanque de Solución Nutritiva.

En ambos sistemas la corrección se limita a la concentración salina y a la reacción ácido-base; no a la composición iónica específica. Por tanto tiene lugar inevitablemente una deriva respecto de la composición originaria de la Solución Nutritiva. La velocidad y magnitud de la progresiva alteración de la composición originaria de la Solución Nutritiva depende de la calidad del agua de riego disponible, de la mayor o menor concordancia entre la Solución Nutritiva formulada y las cinéticas de absorción de agua y de nutrientes por parte de las plantas y de las condiciones climáticas que determinan la actividad transpiratoria de las mismas. Sólo podría mantenerse la composición originaria si se partiera de agua de muy baja mineralización y la cinética de absorción de las plantas coincidiera precisamente con la composición de la Solución Nutritiva aportada. Nos acercaríamos al ideal mencionado si se dispusiera de un autómata de fertirriego equipado con electrodos selectivos de iones que fueran capaces de cuantificar a tiempo real la composición del lixiviado; esta información permitiría que el sistema de inyección de fertilizantes se reajustara automáticamente para corregir la concentración de los diferentes macro y micro-elementos a fin de restituir, a una escala temporal breve, la composición originaria de la Solución Nutritiva. Actualmente la aplicación en autómatas de fertirriego de los mencionados electrodos selectivos se encuentra en fase de desarrollo y se está avanzando en esta dirección.

Entre tanto no se disponga de la información analítica a tiempo real antes mencionada es necesario conocer la composición del lixiviado y de la Solución Nutritiva reconstituida a partir de la información proporcionada por análisis de muestras acuosas periódicas, con objeto de reformular la Solución Nutritiva y así corregir, en la medida de lo posible, la deriva antes referida. Esta corrección es generalmente posible para la mayoría de los macroelementos; pero no cuando la concentración de alguno de ellos es ya excedentaria en el agua de riego utilizada; esta circunstancia se da con frecuencia con los iones calcio, magnesio y sulfato en aguas de riego de la cuenca mediterránea.

# ENFERMEDADES DE LOS CULTIVOS SIN SUELO

Con los sistemas de cultivo sin suelo se reducen los problemas de patógenos que atacan al cuello y a la raíz, al emplear sustratos inertes y contenedores correctamente desinfectados. El uso de aguas de riego infectadas, el empleo de material vegetal contaminado, la repetición de cultivos sobre un mismo sustrato y la contaminación por otras vías, hace que el sistema no esté exento de problemas patológicos. Dentro de esos posibles patógenos los hay específicos de los sistemas de cultivo sin suelo.

Rhizoctonia solani y Pythium spp. se considera resultan patógenos para las plantas jóvenes, pero raramente se encuentran implicados de forma directa y única en la muerte de plantas adultas de tomate.

Rhizoctonia solani que afecta a tomate, melón, pepino, sandía y calabacín. Produce muerte de plántulas, necrosis en cuello y muerte de plantas jóvenes.

Pythium spp. puede afectar a cultivos como el tomate, pimiento, pepino, sandía y melón. En la fase de semillero puede producir falta de germinación, muerte de plántulas, necrosis de la raíz y del hipocotilo y muerte de plantas adultas, siendo esta última afección específica de cultivos sin suelo. La contaminación se produce por agua de riego o sistemas en los que la solución nutritiva permanece estancada.

Thielaviopsis bassicola forma parte del complejo de hongos productores de lesiones en las raíces en condiciones de excesos de humedad, como en los cultivos realizados en sustratos o en suelos de marjales. Se presentan marchitamiento s progresivos, amarilleos de las hojas basales, motivados por la podredumbre de las raíces, sobre la superficie de las cuales se pueden ver masas carbonosas y pulverulentas formadas por las fructificaciones del hongo.

Fusarium oxysporum f. sp. radicis lycopersici que afecta al tomate. Produce marchitamiento generalizado de toda la planta, a veces con amarillamiento de las hojas viejas, detención del crecimiento, sistema radicular con podredumbres de color marrón, médula con podredumbre húmeda de color marrón, podredumbre de cuello que rodea la zona de unión de raíces y tallo. Existen variedades de tomate resistentes a esta enfermedad o bien se puede utilizar la técnica de injerto sobre un patrón resistente.

La práctica del monocultivo en sustratos, ha propiciado la aparición de graves problemas de podredumbres radiculares y de cuello, producidas por Phytophthora parasitica varo nicotianae. La agresividad con que se ha presentado en los cultivos de tomate realizados en perlita o lana de roca se debe a la contaminación de las aguas de riego, lo que facilita la dispersión y agrava la incidencia. Las plantas presentan marchitamiento s apicales antes de que se desequen las hojas basales y se hagan patentes chancro s en el cuello y podredumbres en las raíces.

# BIBLIOGRAFÍA


Baixauli, C. y Aguilar, J.M. 2002.Cultivo si Suelo de Hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Ed Generalitat Valenciana.

Cadahía, C.; 1998. "Cultivos hortícolas y ornamentales". Fertirrigación. Ed. Mundi-Prensa.

Cánovas, E (1993). Principios básicos de la hidroponía. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. En: Cultivos sin suelo. Curso Superior de Especialización. E Cánovas y J. R. Díaz. Instituto de Estudios Almerienses y EI.A.P.A.

Gómez, J. 1993. Enfermedades de las hortalizas en cultivo hidropónico. Ed. Junta de Andalucía.

Casas, A. 1999.Formulación de Soluciones Nutritivas. Parámetros de ajuste. Curso superior Cultivos sin Suelo II. CoEd. Junta Andalucía, FIAP A Y Caja Rural Almería.

Lorenzo, P. 1999. Los factores ambientales en el manejo de los cultivos sin suelo. Curso superior Cultivos sin Suelo n. CoEd. Junta Andalucía, FIAPA y Caja Rural Almería.

Marfa, O. 1998. La recirculación en els conreus sense sol. Catalunya Rural i Agraria. Jul.: 13-16.

Marfa. O. y Guri, S. 1999. Física de sustratos y oxigenación del medio radicular. En: Los cultivos sin suelo, II. Ed. FIAPA Y Caja Rural de Almería. Almería.

SENA

SERVICIO NACIONAL
DE APRENDIZAJE

agricultores solidarios