

CAPITULO 2

Sustratos.

► 2.1 INTRODUCCIÓN.

Un sustrato de cultivo es un medio material en el que se desarrollan las raíces de las plantas, limitado físicamente en su volumen, aislado del suelo para impedir el desarrollo de las raíces en el mismo y capaz de proporcionar a la planta el agua y los elementos nutritivos que demande, y a las raíces el oxígeno necesario para su respiración.

Atendiendo a los diferentes tipos de materiales utilizados como sustratos, éstos se pueden clasificar, según su origen y proceso de manufacturación, de la siguiente forma:

- Orgánicos.
- Inorgánicos:
 - De origen natural: sin manufacturación; con manufacturación.
 - Sintéticos,

Los sustratos se pueden utilizar solos o mezclados. Para el cultivo, en macetas, de plantas ornamentales. Para semilleros y enraizamiento de esquejes. Para mezclarlos con el suelo y modificar las propiedades del mismo. Es evidente que las posibilidades de utilización son numerosísimas. No obstante, en esta obra sólo se centrará la atención de los sustratos en función de su uso para el cultivo de hortalizas.

Los sustratos orgánicos más conocidos y de uso más común son las turbas, acícula de pino, cascarilla de arroz, serrín, etc.

Dentro de los sustratos inorgánicos de origen natural, y que no sufren proceso alguno previo a su uso, se incluyen a las gravas, las arenas de distintas granulometrías y las tierras de origen volcánico.

En los sustratos inorgánicos de origen natural, pero con procesos de manufacturación incorporados antes de su uso (normalmente tratamientos con calor), se incluyen la lana de roca, la vermiculita, la perlita y la arlita.

Queda por último hacer referencia a los sustratos sintéticos, entre los que se incluyen el poliestireno y el poliuretano.

Más adelante se describirán las características más importantes de estos sustratos.

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS.

Las propiedades físicas de los sustratos están íntimamente ligadas al tipo de material que las compone, es decir a su composición granulométrica, densidad, volúmenes de sólidos y poros y la relación entre ellos, etc.

El conocimiento de estos parámetros, su significado e interpretación es lo que se va a tratar en todo este apartado.

2.2.1 Granulometría.

Generalmente los sustratos están constituidos por partículas de distintos tamaños. Las propiedades físicas de un sustrato suelen variar considerablemente en función de la distribución porcentual de cada uno de los rangos de tamaños en que estén clasificadas las partículas. Es muy importante que todo sustrato quede definido por esta característica.

Cuadro 2.1:
Densidad real o absoluta de algunos materiales

| Material | Densidad real (g/cm ³) |
|------------------|------------------------------------|
| Turba negra | 1,83 |
| Turba rubia | 1,35 |
| Cortezas de pino | 1,64 |
| Arena | 2,62 |
| Perlita | 2,47 |
| Vermiculita | 2,52 |
| Lana de roca | 2,65 |
| Tierra volcánica | 2,65 |
| Suelo | 2,54 |

Las arenas son un buen ejemplo de lo que se está comentando. No se debe hablar de sustratos de arena en general. Es necesario, cuando se definen características físicas de una arena, concretar el porcentaje de cada rango de tamaño de partículas que constituyen dicha arena. Por ejemplo, se puede hablar de una arena con un 25% de arena gruesa y un 75% de arena fina. Pero es mejor aún decir que la composición granulométrica de dicha arena es la siguiente:

- 25% de partículas de tamaño entre 2 y 0,2 mm.
- 30% de partículas de tamaño entre 0,2 y 0,1 mm.
- 20% de partículas de tamaño entre 0,1 y 0,06 mm.
- 25% de partículas de tamaño entre 0,06 y 0,02 mm.

Así como para la definición de la textura de los suelos existe una normativa sobre los tamaños de las partículas, para los sustratos no están concretados estos rangos y por lo tanto resulta difícil establecer comparaciones entre sustratos en base a los porcentajes de los distintos tamaños de las partículas que componen dicho sustrato.

2.2.2 Densidad Real (DR).

También denominada densidad absoluta. Se refiere a la densidad media de las partículas del sustrato sin incluir el espacio poroso, o lo que es lo mismo, la relación entre el peso de una partícula del sustrato y el volumen que ocupa.

El valor de la densidad real se expresa en gramos por centímetro cúbico y el método para su determinación es el del picnómetro o para materiales orgánicos la determinación indirecta a partir del contenido en cenizas. En el Cuadro 2.1 se muestran las densidades reales de algunos sustratos.

Cuadro 2.2:
Densidad aparente de algunos materiales.

| Material | Densidad aparente (g/cm ³) |
|------------------|--|
| Turba negra | 0,296 |
| Turba rubia | 0,05/0,2 |
| Cortezas de pino | 0,1/0,25 |
| Arena | 1,35/1,5 |
| Perlita | 0,03/0,16 |
| Vermiculita | 0,08/0,13 |
| Lana de roca | 0,08 |
| Tierra volcánica | 0,682 |
| Suelo | 1,1/1,7 |

2.2.3 Densidad Aparente (DA)*

La densidad aparente de un sustrato es la relación entre el peso seco de dicho sustrato y el volumen que ocupa en condiciones de cultivo. Se expresa también en gramos por centímetro cúbico y su determinación es complicada por las variables que entran en juego.

El grado de compactación y la distribución de las partículas pueden influir de forma muy importante en el valor absoluto de la densidad aparente y por lo tanto en otros parámetros que se verán más adelante. Así por ejemplo, en turbas, se encuentran valores de densidades aparentes que oscilan entre 0,045 y 0,2 gr/c.c. dependiendo (también influye la fibrosidad y el grado de humificación) del grado de compactación, de las distancias y tiempos de transportes y de las manipulaciones a las que se someta al sustrato antes de su puesta en cultivo.

En el Cuadro 2.2 se relacionan valores de la densidad aparente de algunos sustratos.

2.2.4 Espacio Poroso Total (EPT)

Es el porcentaje del volumen del sustrato no ocupado por el material sólido. Este volumen está lleno de aire en los macroporos y de agua en los microporos. Se consideran microporos a los espacios de menos de 0,0008 milímetros y a los espacios de dimensión superior a ésta se les denomina macroporos.

El total de espacio poroso para un sustrato determinado se calcula por la siguiente fórmula.

$$EPT = (1 - (DA/DR)) * 100$$

Siendo: EPT=Espacio poroso total en %; DA=Densidad aparente en gr/cm³; DR=Densidad real en gr/cm³.

En la Figura 2.1 se representa una recta de regresión que correlaciona la densidad aparente y el espacio poroso total para 32 muestras analizadas de sustratos, y mezclas de sustratos.

2.2.5 Capacidad de Absorción de Agua (CAA).

Es la cantidad de agua, expresada en gramos, que 100 gramos de sustrato seco pueden retener.

Este dato se utiliza muy poco en la caracterización de las propiedades físicas de los sustratos. Es una relación de peso a peso. El Cuadro 2.3 muestra el valor de la capacidad de absorción de agua de algunos sustratos.

2.2.6 Potencial de Agua.

Las disponibilidades de agua y aire en los sustratos se rigen por fuerzas dinámicas de la misma naturaleza pero de distinta magnitud que en los suelos agrícolas tradicionales.

El agua es retenida en los poros del sustrato o del suelo con una cierta fuerza o tensión. La planta ha de vencer esa tensión para poder absorber el agua a través de las raíces. A esta fuerza se le denomina potencial del agua. En el Cuadro 2.4 queda reflejada la correspondencia entre los diferentes modos de expresión del potencial del agua.

De modo muy general puede decirse que los rangos de utilización del agua por una planta, cultivada con aplicación de distintas técnicas culturales y expresando el potencial del agua en cm de columna de agua, podría ser el siguiente:

- Cultivo sin suelo hidropónico: hasta 100 cm.
- Cultivo de regadío: riego localizado hasta 300 cm; riego tradicional hasta 1.500 cm.
- Cultivo de secano: hasta 10.000 cm.

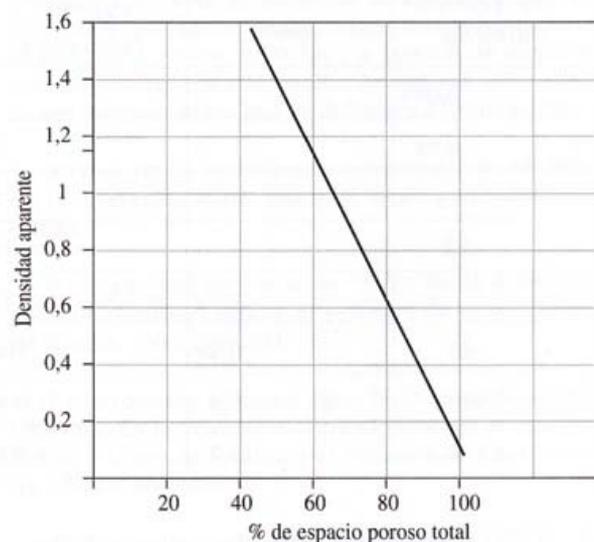
En la Figura 2.2 se hace una representación de estos parámetros, utilizando una escala logarítmica, para una mejor comprensión y captación de la idea global que se pretende dar.

2.2.7 Curva de Retención del Agua a Bajas Tensiones.

Se ha comentado anteriormente que los rangos de utilización del agua en los sustratos oscilan entre tensiones de 0 a 100 cm de altura de agua. Se acepta comúnmente la metodología creada por De Boodt para la

Figura 2.1:

Correlación entre espacio poroso total y densidad aparente.



Cuadro 2.3:

Capacidad de absorción de agua de algunos materiales

| Material | Capacidad de absorción (gramos de agua por cada 100 gramos de material) |
|------------------|---|
| Turba negra | 250/350 |
| Turba rubia | 800/1.100 |
| Corteza de pino | 220 |
| Vermiculita | 429 |
| Perlita | 286 |
| Tierra volcánica | 27 |

Cuadro 2.4:

Correspondencia entre los diferentes modos de expresión del potencial del agua

| Potencial energético Julios/Kg | Presión equivalente expresada en: | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------|-----------------------------|---------------|
| | Bar | Centibar (aproxim.) | Atmósferas | Cms. columna de agua (H) | pF log. de H. |
| -0,098 | - | - | - | 1 | 0 |
| -0,98 | - | 1 | - | 10 | 1 |
| - | - | 5 | - | 50 | 1,8 |
| -9,8 | - | 10 | 0,097 | 100 | 2 |
| - | - | 33 | - | 333 | 2,5 |
| -98 | 0,98 | 100 | 0,97 | 1.000 | 3 |
| -980 | 9,8 | 1.000 | 9,7 | 10.000 | 4 |
| -1.568 | 15,7 | 1.500 | 15,5 | 16.000 | 4,2 |

Figura 2.2:

Rangos de utilización del agua según distintos sistemas de cultivo.

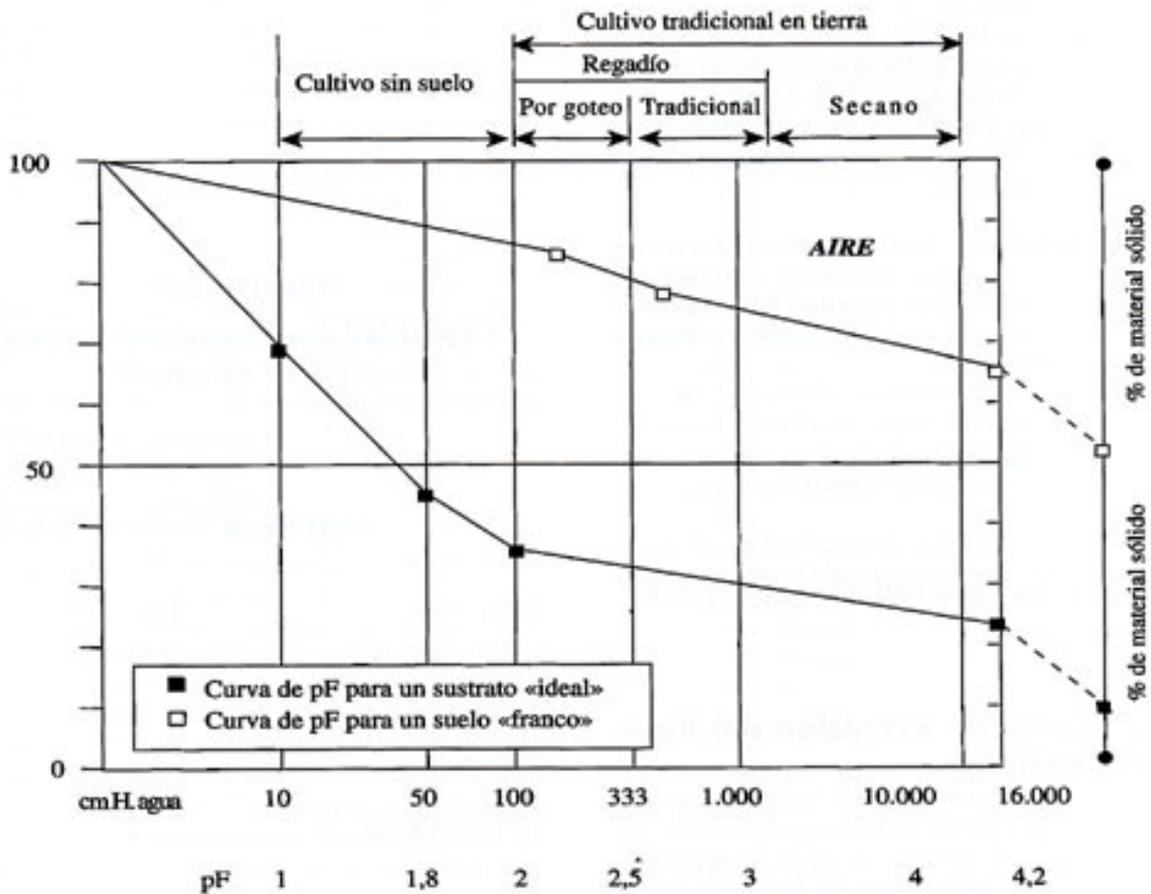
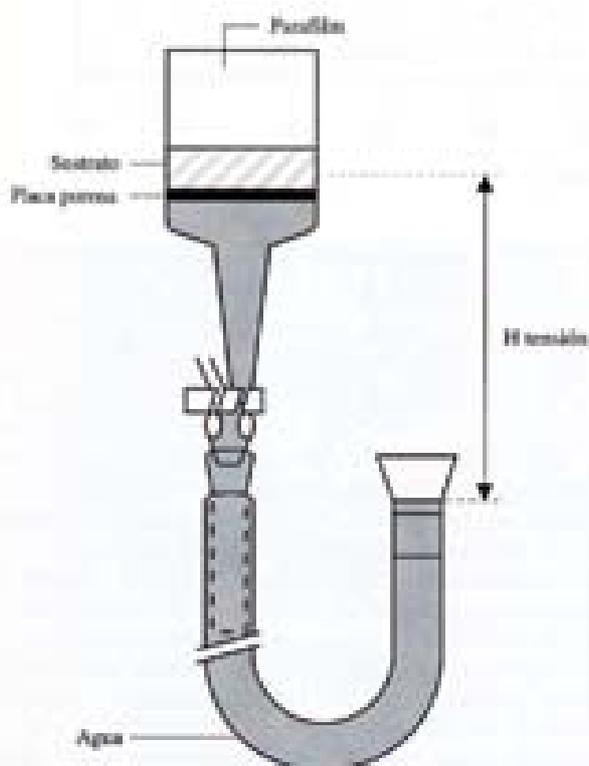
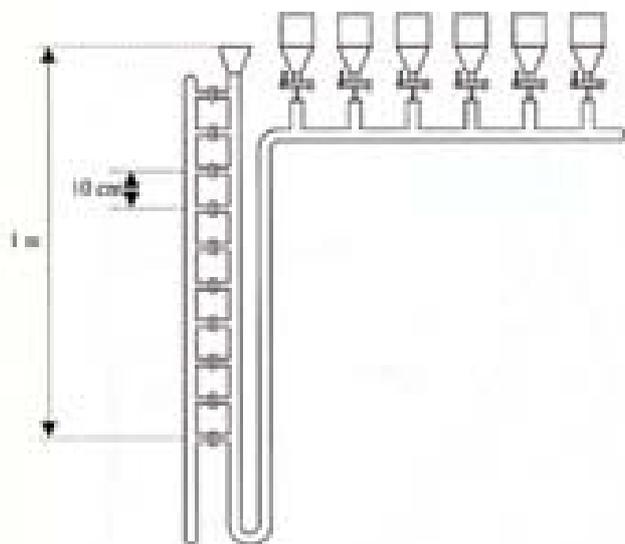


Figura 2.3:

Esquemmatización de los sistemas para determinar las curvas de retención de agua de los sustratos.



caracterización de las relaciones aire/agua en un sustrato. En la Figura 2.3 se esquematiza el sistema utilizado para aplicar las distintas tensiones al sustrato.

Como puede apreciarse en la Figura 2.4 queda representada la curva de retención de agua de un sustrato considerado como ideal; existen tres puntos claves de tensión: a 10 cm, a 50 cm y a 100 cm de altura de columna de agua. Estos puntos determinan unos volúmenes característicos que se definen a continuación.

A) Porcentaje de volumen material sólido (% MS). Es la diferencia entre 100 y el % de porosidad total

B) Capacidad de aireación (%A). Es la diferencia entre la porosidad total y el volumen de agua a 10 cm de tensión. (Ver cuadros).

C) Porcentaje volumen agua fácilmente disponible (%AFD). Es la diferencia entre el volumen de agua retenida a 10 cm de tensión y el volumen de agua retenida a 50 cm de tensión.

D) Porcentaje volumen agua reservada (%AR). Es la diferencia entre el volumen de agua retenida a 50 cm de tensión y el volumen de agua retenida a 100 cm de tensión.

E) Porcentaje de volumen agua difícilmente disponible (%ADD). Es la diferencia hasta 100 de la suma de MS+A+AFD+AR o el volumen de agua retenida a una tensión de 100 cm de c.a.

La Figura 2.5 muestra algunas curvas de retención de agua de sustratos considerados como más representativos. No se olvide que en cultivos sin suelo se manejan volúmenes muy pequeños de sustratos, en los que hay altas concentraciones de raíces, con tasas de demanda de oxígeno muy altas. Quiere decirse que es muy importante que un sustrato guarde relaciones equilibradas entre la capacidad de almacenamiento de agua y la capacidad de almacenamiento de aire.

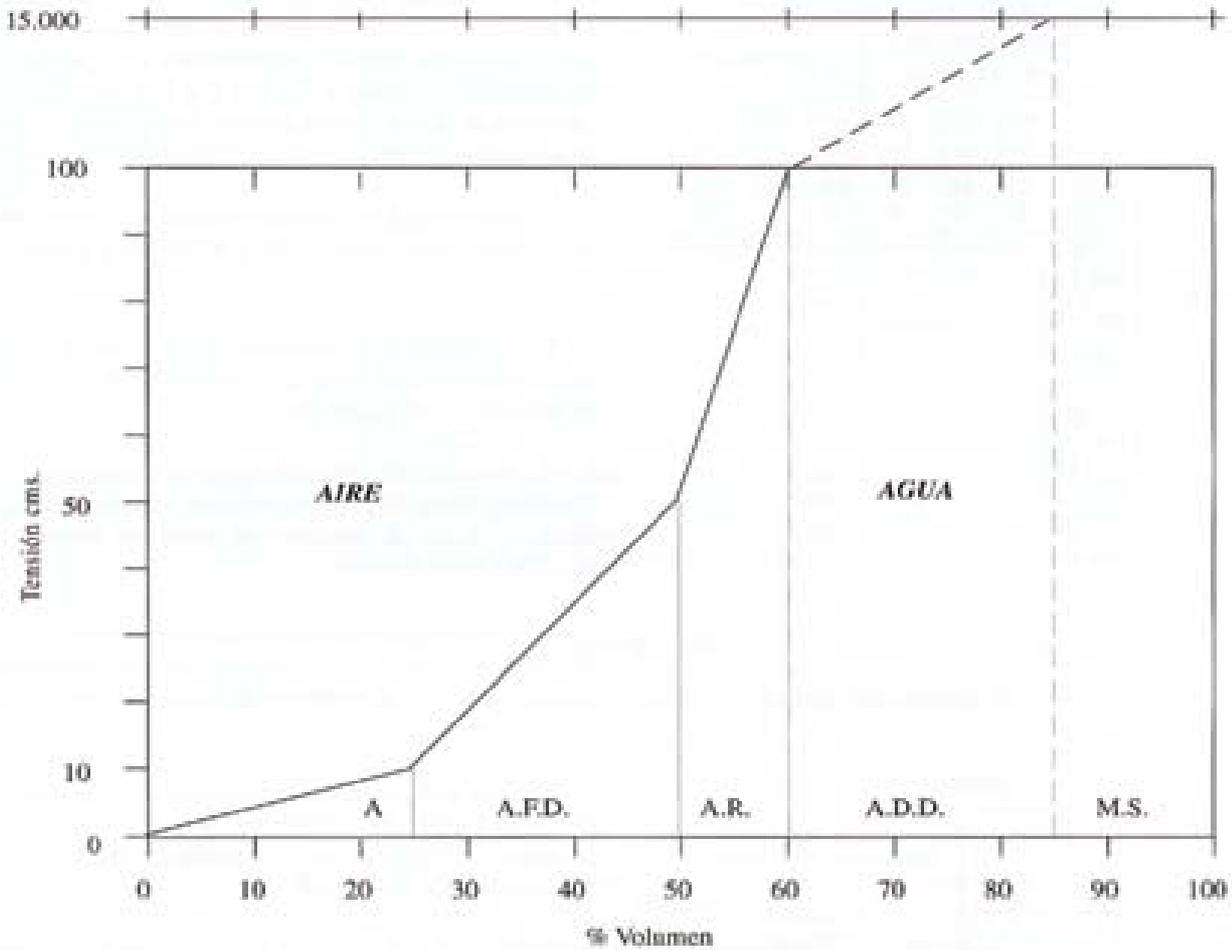
2.2.8 Inercia Térmica.

La inercia térmica de los sustratos ha sido tradicionalmente un tema muy controvertido. A veces surgen problemas, en los cultivos sin suelo, de difícil diagnóstico e identificación y hay una cierta tendencia a relacionar la aparente deficiencia de inercia térmica de los sustratos con dichos problemas. Lo cierto es que no hay mucha información respecto a este tema.

En la campaña agrícola 1991/92, la Caja Rural de Granada realizó un ensayo de producciones comparativas de pimiento y melón entre suelo y sustratos de lana de roca y perlita, en un invernadero tradicional sin apoyo de calefacción. Se midieron las temperaturas del ambiente, suelo, lana de roca y perlita durante 24 horas y en intervalos de 1 hora.

Figura 2.4:

Curva de retención de agua de un sustrato considerado ideal por De Bood.



A: % de aire (25%).
 A.F.D.: % de agua fácilmente disponible.
 A.R.: % de agua de reserva.
 A.D.D.: % de agua difícilmente disponible.
 M.S.: % de material sólido (15%).

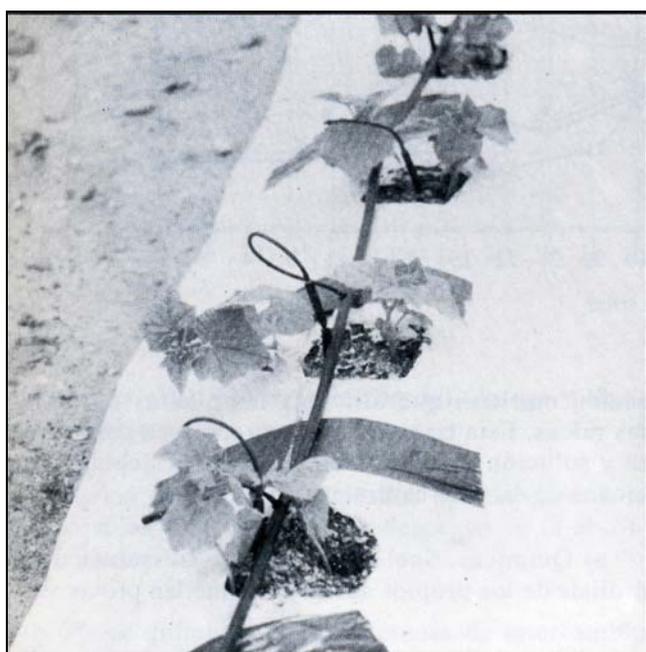
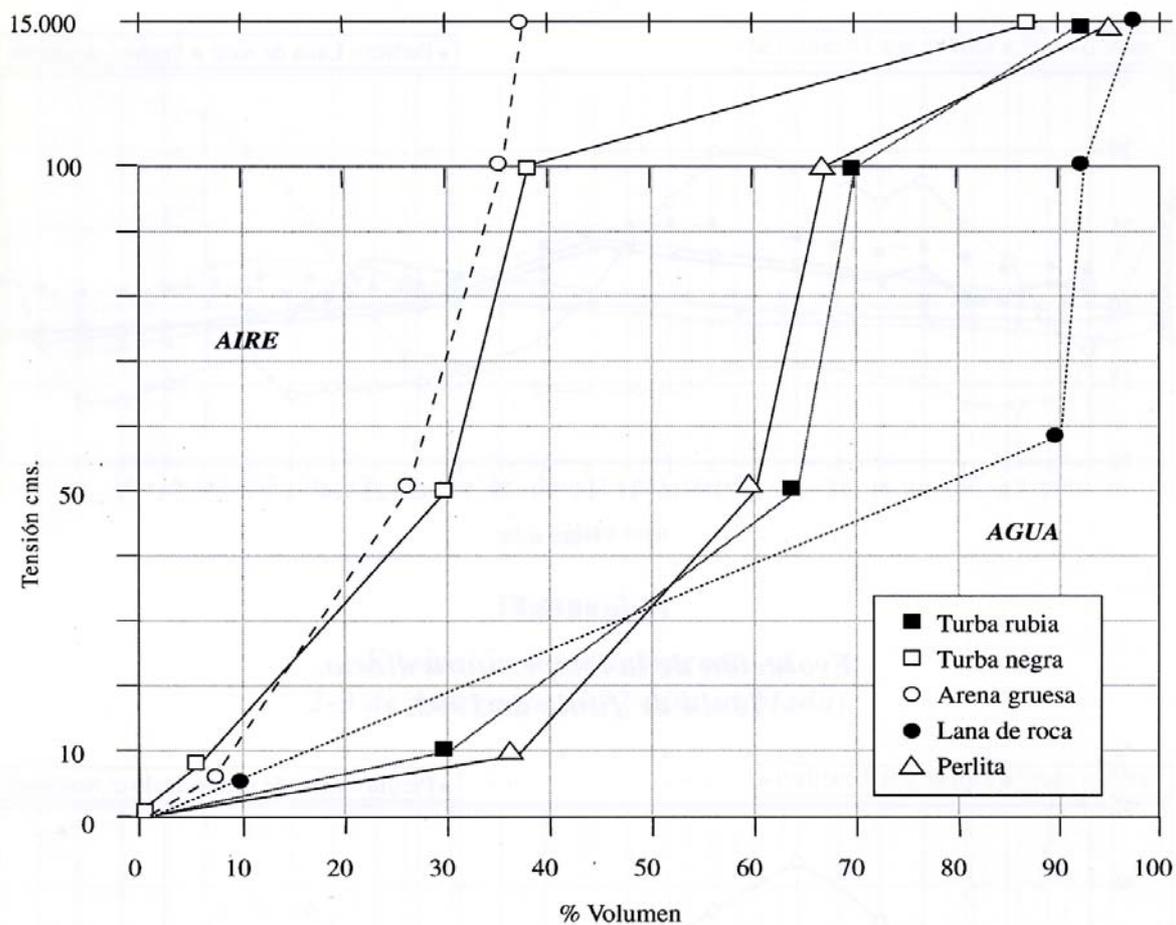
Las mediciones se realizaron el día 30/1/92 (día despejado y planta adulta), el día 2/3/92 (día nublado y planta adulta), el día 14/6/92 (día semidespejado y planta adulta) y el día 21/8/92 (día despejado y planta muy joven). Los datos aparecen reflejados en las Figuras de la 2.6 a la 2.9 que se adjuntan y en el Cuadro 2.5.

Estos datos pueden ser interpretados de muchas formas. Es difícil de explicar, a la vista de estos resultados, si las ligeras diferencias observadas entre las gráficas de temperatura del suelo y los dos sustratos tienen o no que ver con el desarrollo de las plantas. Muy probablemente serán necesarios estudios más profundos sobre este tema para poder sacar alguna conclusión. No obstante algunas puntualizaciones sí que pueden hacerse.

a) El dato más relevante, y que en las figuras puede apreciarse con mayor claridad, es el salto térmico tan importante que existe en la temperatura del ambiente en los días despejados. Muy probablemente este factor de la productividad esté enmascarando las posibles diferencias que pudieran aparecer en el comportamiento de los cultivos debido a las distintas temperaturas de los sustratos y del suelo. Quiere decirse que mientras no se puedan controlar las temperaturas máximas y mínimas de los invernaderos será difícil buscar correlaciones entre determinados problemas que puedan aparecer en los cultivos sin suelo y las ligeras diferencias de las temperaturas de los sustratos respecto a los suelos enarenados tradicionales.

b) El cálculo de la temperatura media para un período determinado de tiempo proporciona el dato de la cantidad de calor o energía cuantificada en el sis-

Figura 2.5:
Curvas de retención de agua de algunos sustratos.



Cerramiento de los sacos de arena con plástico adhesivo. Malos resultados.



Detalle del final de una «salchicha» de arena y cerramiento con cañas. Mejores resultados.

Figura 2.6:
Evolución de la temperatura diaria.
21-22 de Agosto de 1992.

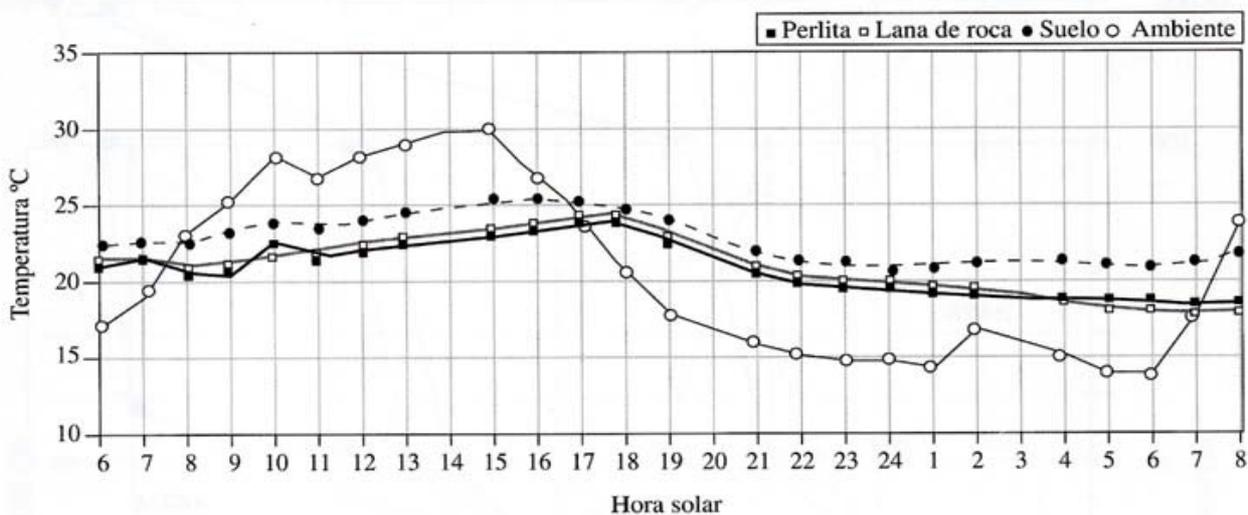
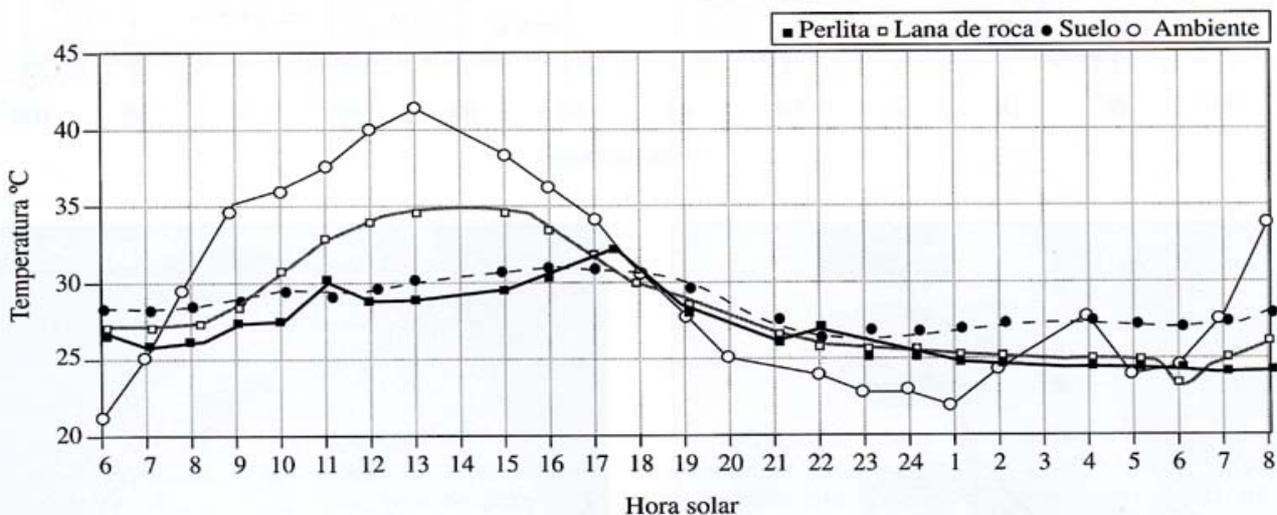


Figura 2.7:
Evolución de la temperatura diaria.
13-14 de Junio de 1992.



tema considerado. En este sentido hay que hacer notar que las diferencias de las temperaturas medias entre el suelo y los sustratos son muy similares en todos los casos que se contemplan.

lución nutritiva que alimenta las plantas a través de las raíces. Esta transferencia es recíproca entre sustrato y solución de nutrientes y puede ser debida a reacciones de distinta naturaleza:

2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS.

La reactividad química de un sustrato se define como la transferencia de materia entre el sustrato y la so-

a) Químicas. Suelen ser debidas a disolución e hidrólisis de los propios sustratos y pueden provocar:

- Efectos fitotóxicos por liberación de iones H⁺ y OH⁻ y ciertos iones metálicos como el Co⁺⁺.

- Efectos carenciales debido, por ejemplo, a la hidrólisis alcalina de algunos sustratos que provoca un

Figura 2.8:
Evolución de la temperatura diaria.
30-31 de Enero de 1992 (día despejado).

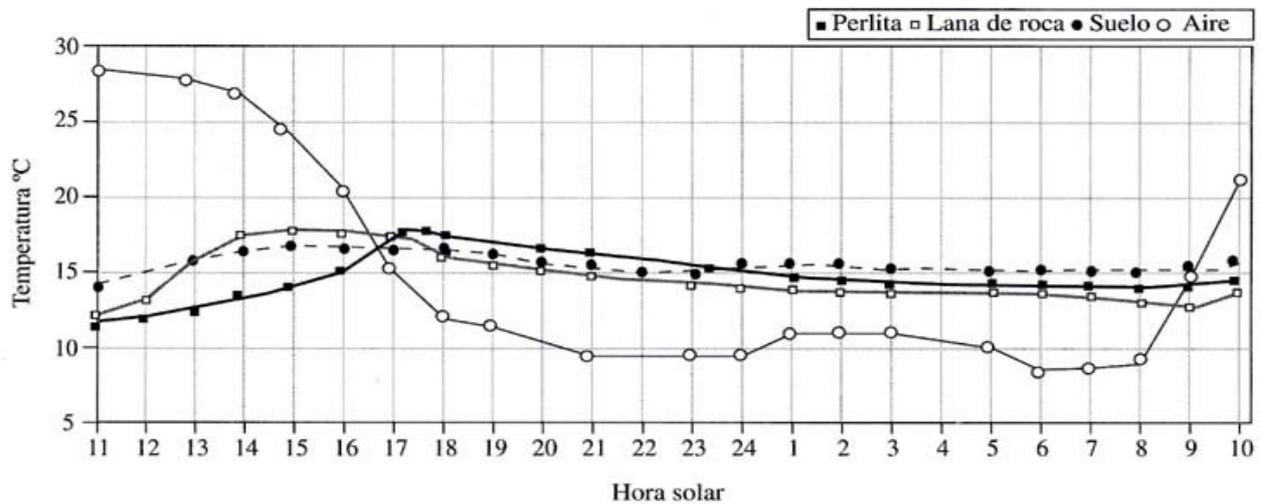
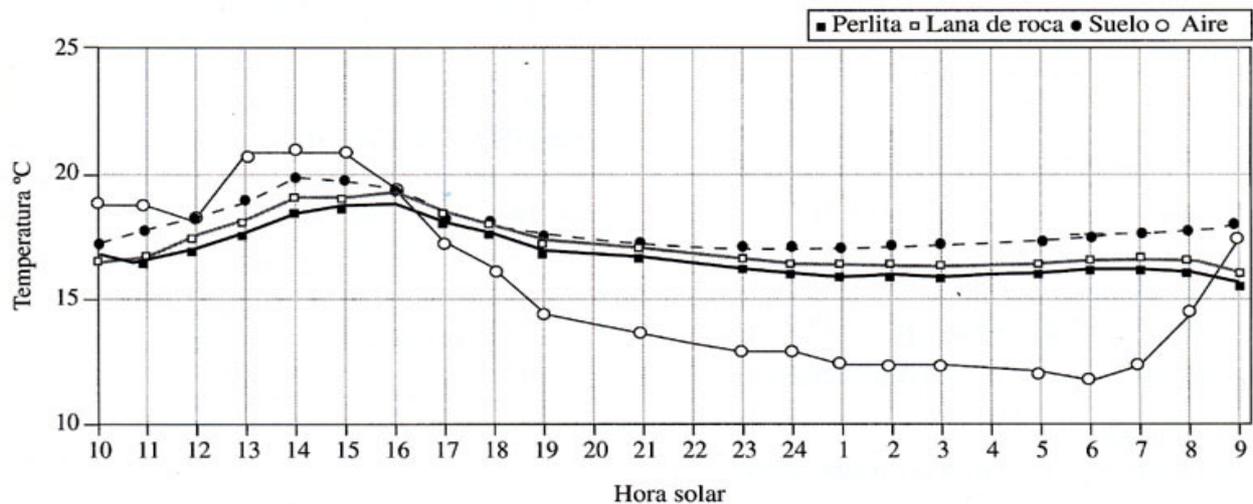


Figura 2.9:
Evolución de la temperatura.
2-3 de Marzo de 1992 (día nublado).



aumento del pH y la precipitación del fósforo y algunos microelementos,

- Efectos osmóticos provocados por un exceso de sales solubles y el consiguiente descenso en la absorción de agua por la planta.

b) Físico-químicas. Son reacciones de intercambio de iones. Se dan en sustratos con contenidos de materia orgánica, o los de origen arcilloso (arcilla expandida) es decir, en aquellos en los que hay una cierta capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.). Estas reacciones provocan modificaciones en el pH y en la com-

posición química de la solución nutritiva por lo que el control de la nutrición de la planta se dificulta, tanto más, cuanto mayor es la C.I.C.

c) Bioquímicas. Son reacciones que producen la biodegradación de los materiales que componen el sustrato. Se producen sobre todo en materiales de origen orgánico, destruyendo la estructura y variando, por lo tanto, sus propiedades físicas. Esta biodegradación libera CO₂ y otros elementos minerales por destrucción de la materia orgánica.

Cuadro 2.5:

| | <i>Suelo</i> | | | |
|-----------------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| | <i>Ambiente</i> | <i>Enarenado</i> | <i>Lana R.</i> | <i>Perlita</i> |
| Día despejado (30/1/92) | | | | |
| Tem. Máxima | 28,0(11) | 16,5(17) | 16,9 (16) | 16,7 (19) |
| Tem. Mínima | 8,5 (7) | 14,3 (8) | 12,7 (9) | 12,9 (11) |
| Salto Térmico | 19,5 | 2,2 | 4,2 | 3,8 |
| Tem. Media | 15,0 | 15,2 | 14,6 | 14,8 |
| Día nublado (2/3/92) | | | | |
| Tem. Máxima | 20,0 (10) | 19,4(14) | 19,2 (17) | 19,0(17) |
| Tem. Mínima | 12,5 (6) | 16,6 (6) | 15,5(8) | 15,7(8) |
| Salto Térmico | 7,5 | 2,8 | 3,7 | 3,3 |
| Tem. Media | 16,1 | 18,0 | 17,4 | 17,5 |
| Día semidespejado (14/6/92) | | | | |
| Tem. Máxima | 31,0(15) | 25,4 (16) | 24,1 (18) | 24,6 (17) |
| Tem. Mínima | 14,0 (1) | 21,8 (6) | 20,3 (9) | 20,4 (8) |
| Salto Térmico | 17,0 | 3,6 | 3,8 | 4,2 |
| Tem. Media | 21,4 | 23,2 | 22,0 | 22,2 |
| Día despejado (21/8/92) | | | | |
| Tem. Máxima | 41,0(13) | 32,2 (16) | 35,0 (15) | 34,2(17) |
| Tem. Mínima | 22,6 (6) | 28,1 (7) | 27,0 (6) | 25,6(7) |
| Salto Térmico | 19,0 | 4,1 | 8,0 | 8,6 |
| Tem. Media | 29,7 | 30,0 | 30,6 | 29,7 |

*Datos entre paréntesis:
hora solar en que se registraron las temperaturas.*

2.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE ALGUNOS SUSTRATOS.

2.4.1 Turbas.

Son materiales de origen vegetal más o menos humificados y descompuestos. Básicamente pueden clasificarse en turbas rubias (turba de Sphagnum) y turbas negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas que las turbas negras que, al estar más mineralizadas, tienen un menor contenido en materia orgánica.

Las propiedades físicas y químicas de las turbas son muy variables en función del origen de los vegetales que las componen y del grado de descomposición en que se encuentren. En el Cuadro 2.6 quedan reflejadas algunas características de las turbas.

Las turbas rubias fueron de los primeros sustratos que empezaron a utilizarse para cultivos comerciales. Como aspectos positivos a favor de la turba rubia pueden citarse la buena capacidad de retención de agua y la buena inercia térmica. Como aspectos negativos cabe citar el que no es un producto standard, la inestabi-

Cuadro 2.6:
Características físicas de las turbas

| <i>Parámetro (Unidad de medida)</i> | <i>Turbas rubias</i> | <i>Turbas negras</i> |
|---|----------------------|----------------------|
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 0,076 | 0,296 |
| Densidad real (gr/cm ³) | 1,350 | 1,830 |
| Espacio poroso total (volumen en %) | 94,30 | 84,00 |
| Capacidad de agua (gr. agua/100 gr. M.S.) | 1.049,00 | 286,70 |
| Material sólido (volumen en %) | 5,70 | 16,00 |
| Aire (volumen en %) | 29,00 | 7,60 |
| Agua fácilmente asimilable (volumen en %) | 33,50 | 24,00 |
| Agua de reserva (volumen en %) | 6,50 | 4,70 |
| Agua difícilmente asimilable (volumen en %) | 25,30 | 47,70 |

lidad de su estructura y su alta C.I.C que dificulta enormemente la nutrición.

Las turbas negras se utilizan poco en cultivos sin suelo porque sus propiedades físicas y químicas no son muy favorables, ya que la aireación es algo deficiente y suelen tener contenidos elevados en sales solubles.

2.4.2 Tierra volcánica (Picón, Pouzzolane, etc.).

Son materiales de origen volcánico que se utilizan sin someterlos a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación.

Están compuestos de sílice, alúmina y óxidos de hierro. También contiene calcio, magnesio, fósforo y algunos oligoelementos. Las granulometrías son muy variables y, por la misma razón, las propiedades físicas de estos materiales cambian en función de sus composiciones granulométricas. El análisis de un material concreto arrojó el siguiente resultado:

| Tamaño de las partículas (mm) | >0 | 10/4 | 4/1 | <1 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|------|
| Tanto por ciento (%) | 26,60 | 53,90 | 16,43 | 2,83 |

Para esta composición granulométrica, las características físicas del sustrato serían las que aparecen en el Cuadro 2.7. El pH de las tierras volcánicas es ligeramente ácido con tendencias a la neutralidad. La C.I.C. es tan baja que puede considerarse como nulo.

Cuadro 2.7:
Características físicas de la tierra volcánica

| | |
|------------------------------|----------------------------|
| Densidad aparente | 0,682 gr/cm ³ . |
| Densidad real | 2,650 gr/cm ³ |
| Espacio poroso total | 74,24% |
| Capacidad de agua | 26,79 gr/100 gr |
| Material sólido | 25,76% en volumen |
| Aire | 58,68% en volumen |
| Agua fácilmente asimilable | 5,42% en volumen |
| Agua de reserva | 2,25% en volumen |
| Agua difícilmente asimilable | 7,89% en volumen |



*Cultivo de tomates en sacos de plástico relleno con material orgánico. Hay empresas comerciales que suministran sacos de cultivo con sustratos a base turba blanca *Sphagnum fuscum* (en la fotografía), turba de fibra de coco y fibra celulósica procedente de madera.*

Como ventajas de este sustrato hay que destacar la buena aireación, la inercia química y la estabilidad de su estructura. Dentro de los inconvenientes es muy notoria la baja capacidad de retención de agua. El material es poco homogéneo y por lo tanto dificulta el manejo del riego. La alta densidad hace que las labores de preparación del sustrato se hagan relativamente pesadas.

2.4.3 Arenas y gravas.

Son materiales procedentes de canteras naturales y su composición depende fundamentalmente del origen de las rocas de las que proceden. Básicamente se distinguen dos grandes grupos, las de composición silíceo y las de composición calcárea.

Por definición, se entiende por grava a todo material mineral natural de tamaño comprendido entre los 2 y los 20 mm de diámetro y por arena a todo material mineral natural de tamaño comprendido entre los 0,02 y los 2 mm de diámetro. Suele hacerse la distinción, a efectos de clasificación, entre arenas gruesas (entre 2 y 0,2 mm) y arenas finas (entre 0,2 y 0,02 mm).

Las arenas y gravas que se utilizan para sustratos suelen tener unas granulometrías muy variables y en ocasiones incluso se encuentran mezclados otros materiales del tipo limos y arcillas que alteran muy consi-



Arena gruesa poco apta para los cultivos sin suelo.

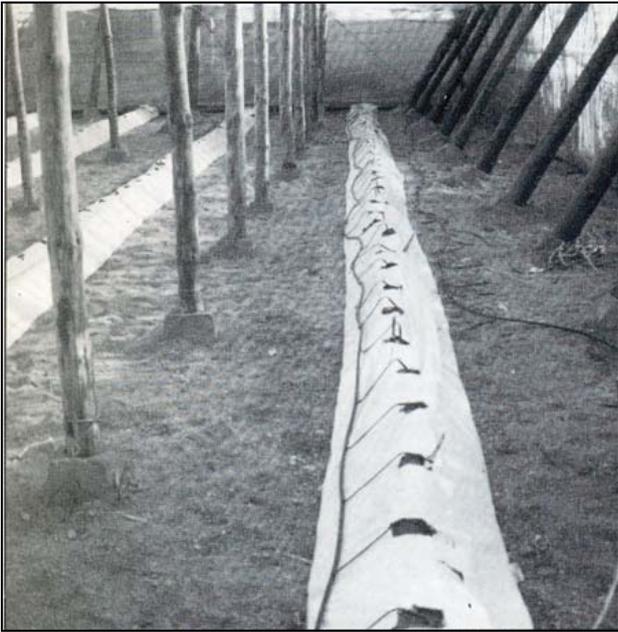
derablemente las propiedades físicas y químicas de estos sustratos.

La observación de los datos del Cuadro 2.8 demuestra las diferencias tan importantes de las propiedades físicas de las arenas y las gravas según su composición granulométrica.

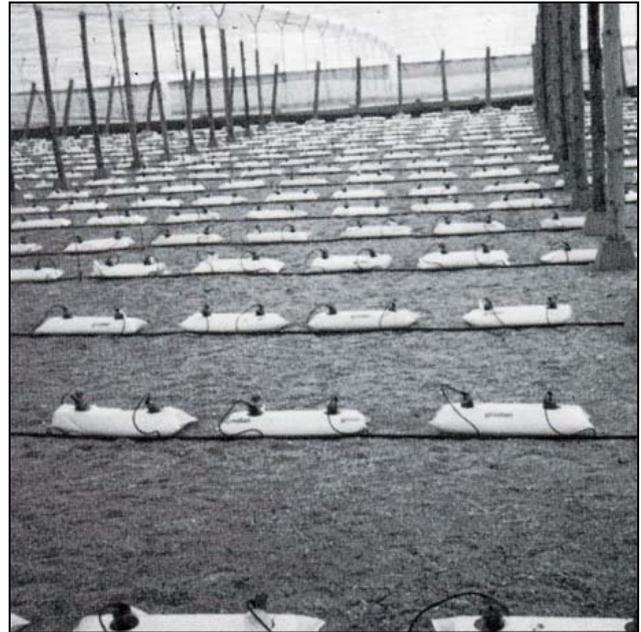
Tanto las gravas como las arenas son materiales de una baja porosidad. Esto supone que sus porcentajes en agua y/o aire no sean elevados, con lo que deben de emplearse volúmenes altos de material para un correcto desarrollo de los cultivos.

Estos materiales tienen una ventaja importante en cuanto a su utilización como sustratos, y es que suelen ser fáciles de encontrar y relativamente económicos. También se ha de considerar como ventaja el hecho de que tengan una estructura muy estable. Por otro lado, al ser tan densos, su manipulación y puesta en cultivo encarece el coste final del sustrato y la falta de homogeneidad les hace difíciles de manejar por la carencia de datos de referencia.

Las arenas de origen silíceo tienen una buena inercia química pero las de origen calcáreo producen reacciones químicas al entrar en contacto con la solución de nutrientes, liberando iones carbonatos y bicarbonatos, descontrolando el valor del pH y haciendo que se produzcan precipitaciones de determinados elementos nutritivos.



Instalación de sacos de arena para cultivos en invernadero. Difícil por la pequeña distancia entre palos.



Tablas de lana de roca 60x10x10 con reserva. Muy cuestionadas por su bajo volumen.

2.4.4 Lana de roca.

Este material se obtiene mediante un proceso industrial por fundición a 1.600°C de una mezcla de rocas de origen basáltico y calcáreo y carbón de coke. El producto fundido es transformado en fibras mediante un complejo proceso en el que se añaden los mojantes necesarios, según la capacidad de absorción que se quiera obtener, y una vez prensado se obtiene el producto final. En su composición química entran componentes como la sílice, y óxidos de aluminio, calcio, magnesio, hierro, etc.

Las propiedades físicas de la lana de roca son las que aparecen en el Cuadro 2.9. Estas propiedades quedan modificadas ligeramente por las distintas densidades aparentes que puede tomar el material en el proceso de fabricación. Cuando se utiliza la lana de roca en forma de tablas es deseable conocer el dato de la densidad aparente para poder realizar una mejor valoración del sustrato.

En cuanto al aspecto de las propiedades químicas, la lana de roca puede considerarse un sustrato inerte, con una C.I.C. nula y un pH ligeramente alcalino y de fácil neutralización y control a partir de los primeros riegos.

Como ventajas de este sustrato se han de destacar la baja densidad, la estructura homogénea, la inercia química y un relativamente buen equilibrio aire/agua. Un inconveniente que puede ser mencionado es la fragilidad de su estructura.



Tablas 100x15x7,5 de lana de roca. Muy utilizadas en el centro y norte de Europa. Detalle de instalación.



Tablas 100x10x10 de lana de roca. Las más utilizadas en la zona.



En los invernaderos europeos en los que se cultiva en hidroponía con lana de roca el suministro de este sustrato está repartido entre varios fabricantes. En la fotografía, una plancha de Cultilene con melones, en Almería.

**Cuadro 2.8:
Características de algunas arenas y gravas**

| | Gravas | Arenas (mm 0) | | | |
|---|--------|---------------|-------|-------|---------|
| | | <2 | <1 | 0,5-1 | 0,2-0,5 |
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 1,53 | 1,63 | 1,65 | 1,57 | 1,52 |
| Porosidad total (% volumen) | 42,20 | 38,30 | 39,00 | 41,80 | 43,70 |
| Aire (% volumen) | 35,80 | 6,60 | 0,30 | 18,80 | 0,20 |
| A.F.D. + A.R. (% volumen) | 2,50 | 27,10 | 19,40 | 21,10 | 38,90 |

**Cuadro 2.9:
Características Físicas de la Lana de roca**

| | |
|--|-------------------------|
| Densidad aparente | 0,09 gr/cm ³ |
| Espacio poroso total | 96,70 % |
| Material sólido | 3,3 % en volumen |
| Aire | 14,90 % en volumen |
| Agua fácilmente disponible + Agua de reserva | 77,80 % en volumen |
| Agua difícilmente disponible | 4,00 % en volumen |

2.4.5 Perlita.

La perlita es un material de procedencia volcánica que se expande mediante un proceso de calentamiento a 1.000-1.200°C. Químicamente está compuesto por sílice y óxidos de aluminio, hierro, calcio, magnesio y sodio. La granulometría del material, una vez procesado, es muy variable y sus propiedades físicas varían de acuerdo a los porcentajes de cada uno de los rangos de tamaños considerados. El Cuadro 2.10 muestra esta variabilidad.

En lo referente a las propiedades químicas puede considerarse la perlita como un sustrato prácticamente inerte, con nula C.I.C. y pH ligeramente alcalino y de fácil neutralización por su buena inercia química.

Entre las ventajas cabe destacar la estabilidad de la estructura, la capilaridad, la baja densidad y la buena relación aire/agua, si se eligen granulometrías adecuadas.

Como inconvenientes pueden citarse la falta de resistencia de las partículas a la fricción y la necesidad de eliminar, en el proceso de fabricación, las partículas pulverulentas.

2.4.6 Otros sustratos.

Con independencia de los sustratos mencionados y que suelen ser los más utilizados, aunque con diferencias importantes entre ellos, existen otros materiales que se utilizan como sustratos tales como la cascarilla de arroz, el compost de corteza de pino, la arcilla expandida, la vermiculita, etc. Lo cierto es que estos otros sustratos se utilizan, o bien en mezclas, o en zonas localizadas por la facilidad de aprovisionamiento de los materiales.

2.5 SISTEMAS DE CULTIVO SIN SUELO.

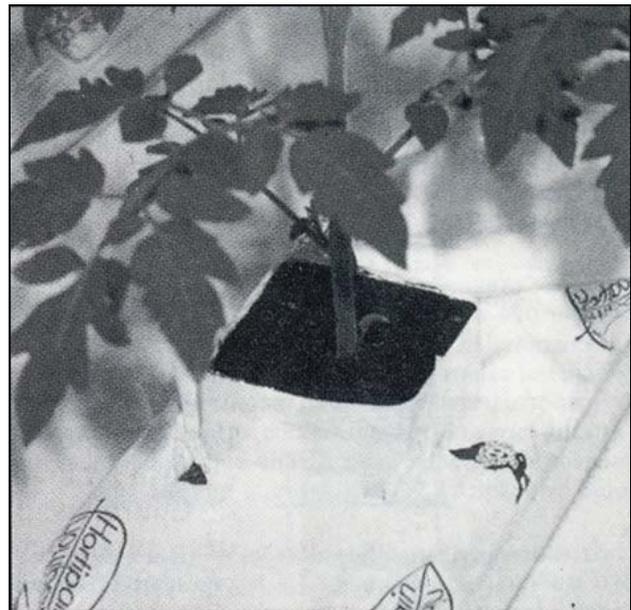
Se entiende por sistema de cultivo sin suelo el conjunto unitario que forma el sustrato, el contenedor y el sistema de riego.

Una división clásica de los sistemas de cultivos sin suelo es la que, teniendo en cuenta la solución nutritiva, diferencia los sistemas a solución perdida de los sistemas a solución reciclada. En los primeros se hacen riegos intermitentes y se utiliza un sustrato para mantener una reserva de solución nutritiva entre riegos. El agua de drenaje no se recupera. El agua que queda entre riegos es la que puede retener el sustrato aunque algunos sistemas utilizan una importante cantidad de agua libre en reserva.

En los segundos la solución nutritiva está constan-



Instalación de sacos de cultivo de perlita. Actualmente se usan sacos de menor longitud.



Saco de cultivo con sustrato a base de fibra de madera.

Cuadro 2.10:
Características Físicas de algunas perlitas

| | Tamaño de las partículas (mm Ø) | | | |
|---|------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 0-1,5 | 0-3 | 0-5 | 3-5 |
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 0,05 | 0,12 | 0,14 | 0,13 |
| Poros totales (% volumen) | 97,76 | 95,06 | 93,98 | 94,66 |
| Material sólido (% volumen) | 2,24 | 4,94 | 6,02 | 5,34 |
| Aire (% volumen) | 24,43 | 26,45 | 37,22 | 65,73 |
| Agua fácilmente disponible (% volumen) | 37,63 | 34,39 | 24,58 | 6,86 |
| Agua de reserva (% volumen) | 8,55 | 8,12 | 6,98 | 2,73 |
| Agua difícilmente disponible (% volumen) | 27,15 | 26,10 | 25,20 | 19,34 |

temente circulando y no se precisa la presencia de un sustrato para el almacenamiento de solución nutritiva entre riegos. No obstante existen sistemas de solución nutritiva reciclada que utilizan pequeños volúmenes de sustrato. (Fig. 2.10).

Puede asegurarse que los sistemas a solución nutritiva perdida son menos sofisticados, precisan de menos conocimientos técnicos para su implantación, exigen menos controles y permiten la utilización de aguas de menor calidad. Tienen el inconveniente de que el sustrato hay que restituirlo con mayor o menor frecuencia y es preciso realizar una valoración adecuada sobre este punto a la hora de tomar una decisión.

Otra forma de clasificación de los sistemas de cultivo sin suelo es en función de las características del contenedor que soporta el sustrato. En este sentido se contemplan los sistemas fijos y móviles. En los sistemas fijos el sustrato está en bancadas aisladas del suelo y montadas en soportes rígidos. En los móviles el sistema está formado por pequeñas unidades de volumen de sustrato que permiten una cierta movilidad y fácil manipulación. Estas unidades suelen ser sacos, macetas, bandejas, etc.

Los Sistemas de cultivo sin suelo utilizados en España para la producción comercial de hortalizas son todos a solución perdida y utilizando como sustrato la arena, la lana de roca o la perlita.

A continuación se describen estos sistemas tal y

como se presentan en la actualidad.

2.5.1 Cultivo en arena.

El cultivo en sacos de arena se ha desarrollado en España de una forma totalmente espontánea y popular y aunque se han obtenido resultados muy interesantes, el sistema ofrece lagunas técnicas muy importantes que limitan el mejoramiento y progreso del mismo.

Los volúmenes de arena que se utilizan oscilan alrededor de los 250 m³ por Ha los cuales se reparten o acordonan sobre 4.000 ó 5.000 metros lineales de plástico de 400 a 600 galgas de espesor y anchura de 1,4 a 1,6 metros. La cara exterior del plástico es de color blanco y la cara interior es de color negro.

Para construir el sistema, se extienden sobre el suelo bandas del plástico descrito, de unos 25 metros de longitud y sobre este plástico se reparte la parte proporcional de arena que corresponda. Se dobla el plástico envolviendo la arena, se solapan ambos extremos y se sueldan quedando de esta forma un cordón o «salchicha» de 25 metros de longitud, 0,4 metros de anchura y 0,2/0,25 metros de altura aproximadamente.

Debido a la alta densidad de la arena, el método de construcción de este sistema es muy exigente en mano de obra. En las zonas de Águilas y Mazarrón, en la provincia de Murcia, se ha desarrollado ampliamente el sistema debido a las posibilidades de mecanización que permite el hecho de cultivar en instalaciones de protección de cultivos construidas con mallas y en las que los soportes para la sujeción de las mismas están muy distantes entre sí. De esta forma la maquinaria para la colocación del plástico y el transporte y extendido de la arena puede maniobrar con facilidad y abaratar los costes de construcción del sistema de manera muy significativa.

Las granulometrías de las arenas utilizadas son muy diferentes entre unas explotaciones y otras y a veces se encuentran diferencias dentro de una misma finca. Esto es debido a que, como por un lado no existe una definición concreta de qué tipo de granulometrías son las más adecuadas para las condiciones locales, y por otro lado los lugares de aprovisionamiento de la materia prima son también muy distintos y realizar un proceso de clasificación granulométrica encarecería el sistema y entonces se perdería una de sus más importantes cualidades como es la del bajo coste.

Ocurre, a veces, que las arenas no están muy lavadas o limpias y contienen cantidades apreciables de limos y arcillas. Estas partículas más finas se van acomodando en la parte baja de las «salchichas» formándose un lodazal que dificulta la oxigenación de las raíces.

Las arenas comúnmente utilizadas son de procedencia caliza y el control adecuado del pH de la solu-

ción nutritiva es prácticamente imposible por lo que la asimilación de determinados elementos nutritivos (P, Fe, Mn, etc.), se ve muy entorpecida. Por otro lado la liberación de Ca y Mg, a veces en cantidades importantes, hace que se produzcan precipitados de fosfatos y sulfatos que forman auténticas piedras dentro de los sacos de cultivo.

Aunque en teoría la duración de un sistema de cultivo sin suelo realizado con arena debería de ser muy larga en la práctica, por los aspectos comentados anteriormente y añadidos los de la degradación del plástico utilizado en la construcción de las «salchichas», hace que difícilmente se sobrepasen los 4 años de explotación de este sistema.

Una de las ventajas que puede destacarse del sistema con arena es su poder amortiguador, tanto en el riego como en la nutrición, por lo que la sofisticación tecnológica necesaria para la explotación es menor que en la de otros sistemas que se verán a continuación. Por ejemplo, el hecho de tener líneas continuas de cultivo de unos 25 metros de longitud hace que la posible obstrucción de algún gotero no repercuta de forma importante en la uniformidad total del sistema de riego. Asimismo, un pequeño error en los inyectores de ácidos, que en un sistema inerte podría producir una variación importante en el pH de la solución nutritiva, en un sistema de arena apenas es perceptible.

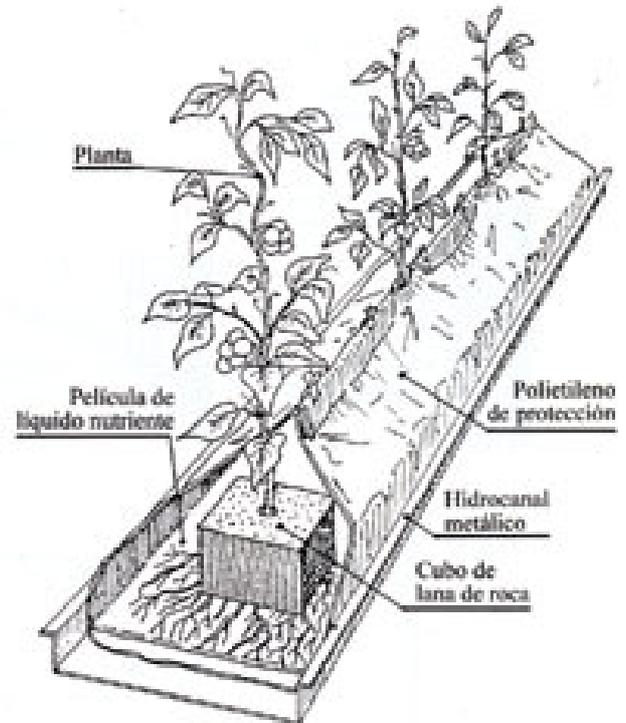
Otra posible ventaja del sistema con arena es su bajo coste. El bajo coste, en cualquier caso, está ligado a la distancia de aprovisionamiento de la cantera de arena, a las posibilidades de mecanización de la construcción de las líneas de cultivo y/o al coste de la mano de obra local.

Como resumen a estas consideraciones, puede decirse que el cultivo sin suelo utilizando sustrato de arena, tal y como se está haciendo actualmente en el sureste español, tiene como ventajas su sencillez tecnológica y el bajo coste en comparación a otros sistemas de cultivos sin suelo. Como inconvenientes se deben mencionar: la dificultad de la estandarización del manejo, la dificultad de resolver los problemas de la fertilización y lo difícil de su construcción y montaje.

2.5.2 Cultivo en perlita.

El cultivo en perlita se inició en Escocia hace ya algunos años. Allí se hicieron las primeras pruebas y estudios. En España hace tres años que la empresa fabricante de este material mostró su interés por la perlita como sustrato para el cultivo sin suelo. Este interés se materializó en la realización de estudios sobre curvas de retención de agua para diferentes granulometrías y pruebas en campo para la determinación de los volúmenes de sustrato a utilizar según composición granulométrica, formas de presentación del material y geometrías de los sacos de cultivo.

Figura 2.10:
Esquema de cultivo hidropónico N.F.T.



DETALLE

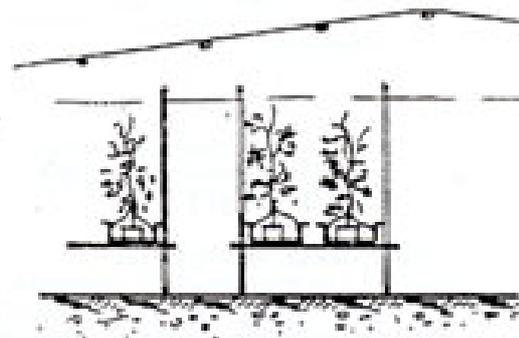
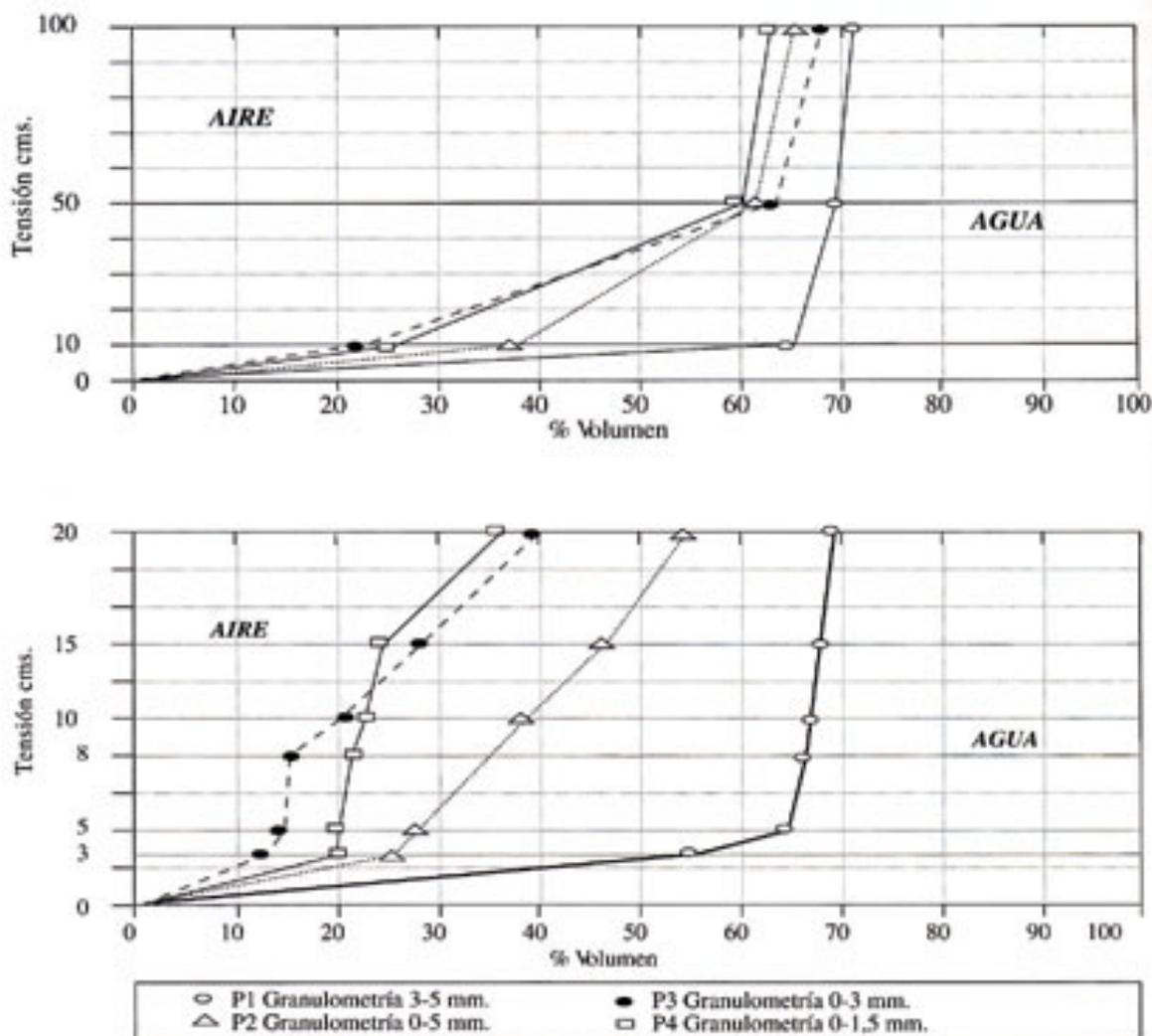


Figura 2.11:

Capacidad de almacenamiento de agua de cuatro tipos distintos de perlita según su granulometría.



En la Figura 2.11 se representan los resultados de la capacidad de almacenamiento de agua de cuatro tipos distintos de perlitas según su granulometría. Por un lado se muestran, en el gráfico superior, las curvas de retención de agua a tensiones de hasta 100 cm de columna de agua y por otro lado, y en la gráfica inferior, se muestran las curvas de retención de agua a tensiones de hasta 20 cm de columna de agua.

Estas últimas figuras son más representativas de lo que realmente ocurre en un sustrato puesto en condiciones de campo y una vez que se satura de agua después de un riego, en cuanto a las relaciones aire/agua y para las distintas alturas en que se desarrolla el sistema radicular del cultivo.

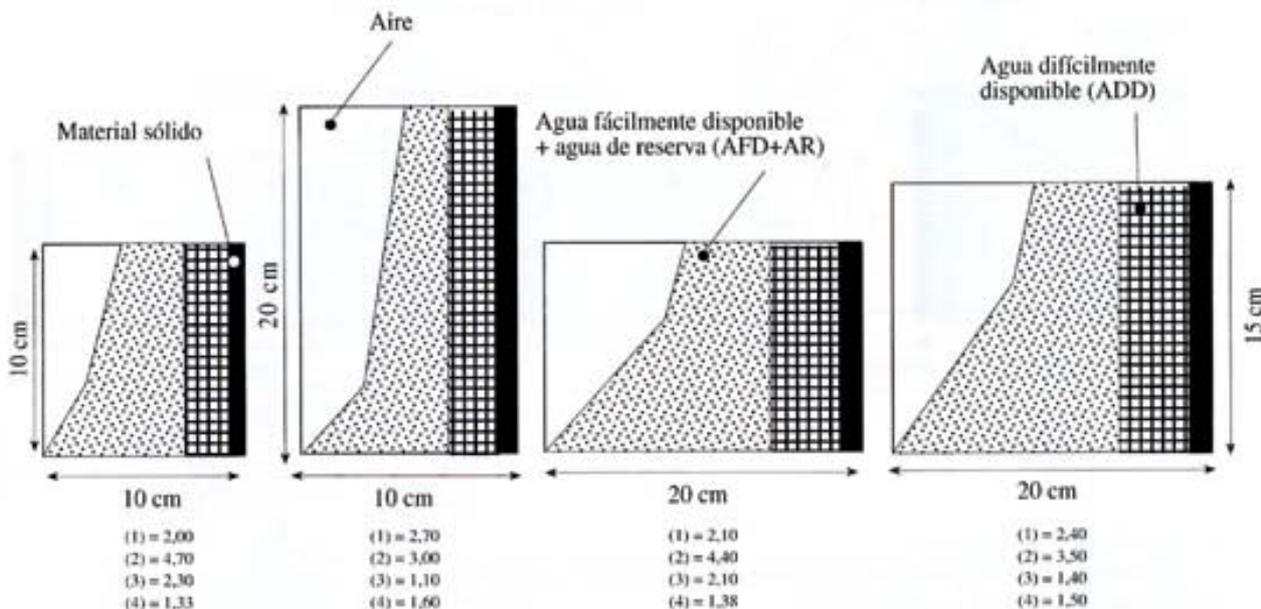
Puede observarse, por ejemplo, que la perlita P2

tiene a tener más aire en la zona baja que las P3 y P4 y que la P1 almacena muy poca agua. Con estos datos se realizaron estudios posteriores en campo con distintos volúmenes de sustrato. Se desechó la perlita P1 por considerarla poco apta para el cultivo sin suelo. Los volúmenes utilizados por Ha fueron 160, 134 y 100 m³/Ha. No se apreciaron diferencias importantes entre 160 y 134 m³/Ha. Sin embargo, a 100 m³/Ha se encontraron resultados dispares.

Trabajar con bajos volúmenes de sustrato comporta un mayor riesgo. El sistema se hace más sensible a los cambios de temperatura y conductividad de la solución nutritiva y soporta peor las posibles deficiencias en los coeficientes de uniformidad de los sistemas de riego. Quiere decirse que conforme la tecnología del riego y su aplicación y manejo progresen adecuada-

Figura 2.12:

Cuadro dimensiones distintas para perlita y sus relaciones volumétricas.



Relaciones consideradas:

- (1) Volumen total del sustrato / (Volumen AFD + AR).
- (2) Volumen total de sustrato / aire.
- (3) Volumen AFD + AR / aire.
- (4) Volumen total sustrato / volumen total agua.

mente quizás será posible utilizar menor volumen de sustrato. Hoy por hoy no se aconseja trabajar con menos de 134 m³/Ha de perlita.

Respecto a las geometrías de los sacos de cultivo pueden hacerse estimaciones del futuro comportamiento del sustrato representando gráficamente distintas secciones y considerando algunas relaciones volumétricas. En la Figura 2.12 se han representado cuatro dimensiones distintas para la perlita P2 y los datos de las relaciones volumétricas son los que figuran bajo cada sección.

Por ejemplo, para un saco de dimensiones 20 cm de anchura y 15 cm de altura, las relaciones volumétricas nos indican que 2,4 litros de perlita P2 almacenan 1 litro de agua retenida a menos de 100 cm de tensión. Que 3,5 litros de perlita P2 almacenan 1 litro de aire cuando el sustrato está saturado de agua después de un riego y tiene drenaje libre por la parte inferior. Que para este tipo de saco, por cada 1,4 litros de agua disponible para la planta y retenida a menos de 100 cm de tensión, las raíces de la planta disponen de 1 litro de aire para su oxigenación y respiración. Y por último, que 1,5 litros de perlita P2 son capaces de almacenar 1 litro total de agua.

Figura 2.13:

Relaciones agua / aire.

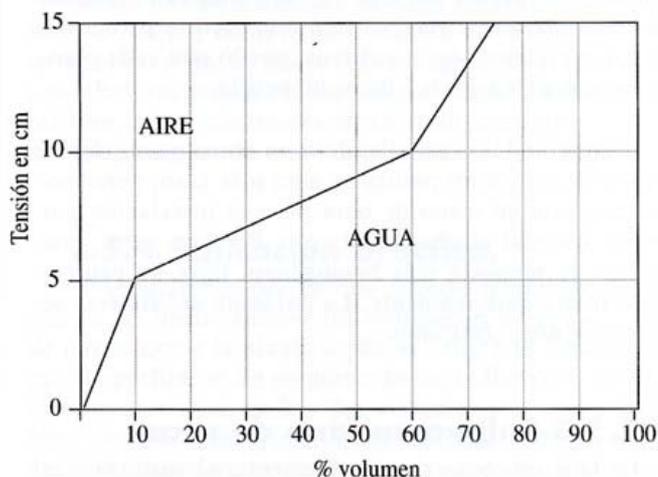
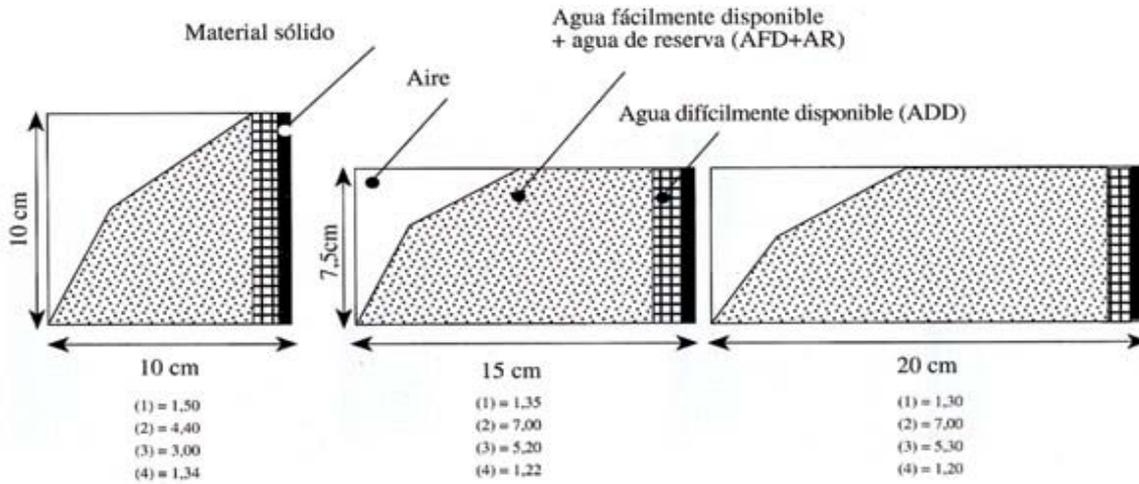


Figura 2.14:
Tres geometrías y sus relaciones volumétricas.



Relaciones consideradas:

- (1) Volumen total del sustrato / (Volumen AFD + AR).
- (2) Volumen total de sustrato / aire.
- (3) Volumen AFD + AR / aire.
- (4) Volumen total sustrato / volumen total agua.

Cuadro 2.11:

| | Volumen total | Volumen de aire | V/A.F.D. + A.R. | Volumen A.D.D. | Material sólido |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Lana de roca | 5,0 l/m ² | 1,14 l/m ² | 3,34 l/m ² | 0,40 l/m ² | 0,12 l/m ² |
| Perlita | 13,4 l/m ² | 3,83 l/m ² | 5,59 l/m ² | 3,35 l/m ² | 0,63 l/m ² |

Realizadas estas consideraciones y teniendo en cuenta los marcos de plantación de los cultivos en los invernaderos, se llega a la conclusión de que, para las condiciones de campo actuales, un saco de perlita de 40 litros de capacidad, 1,2 metros de longitud, diámetro comprendido entre los 15 y los 20 centímetros y conteniendo perlita del tipo P2 (0-5 mm) es el sistema adecuado para este sustrato. En este saco se plantan entre 3 y 6 plantas, según cultivos, por lo que cada planta dispone de 13,3 a 6,7 litros de perlita.

Comparándolo con el cultivo en arena puede decirse que el cultivo en perlita es algo más caro, pero menos exigente en mano de obra para su instalación por ser un material mucho más ligero. Por otra parte, este sistema se presenta más homogéneo, libre de patógenos e inerte químicamente. La duración del sistema se estima en dos o tres años.

2.5.3 Cultivo en Lana de roca.

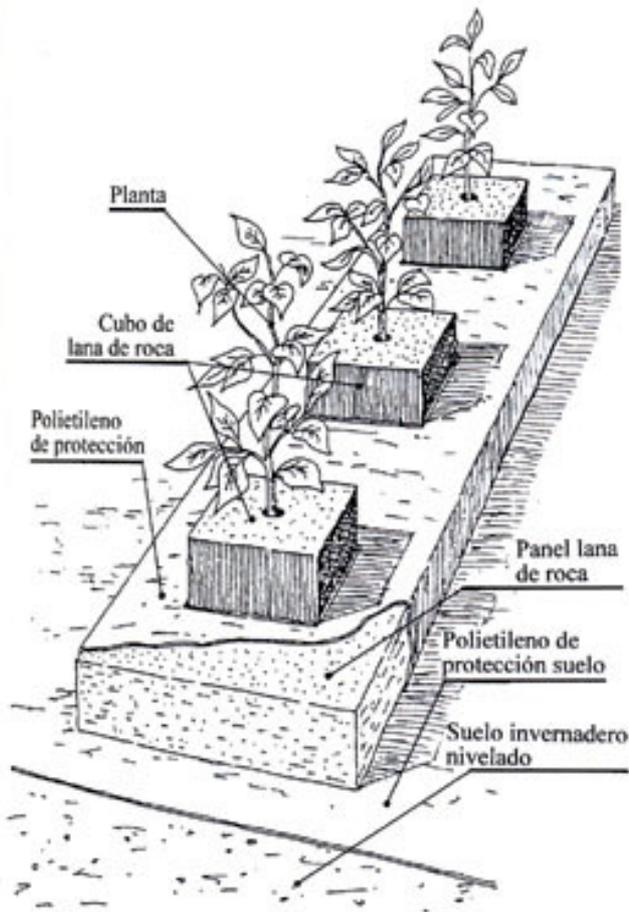
La lana de roca es, probablemente, el sustrato más

estudiado y por lo tanto, el más definido en cuanto a volúmenes y geometrías, tal y como se está utilizando en los países del centro y norte de Europa. (Fig. 2.15 y 2.16). En nuestro país, en cambio, se presenta en forma de tablas de distintas dimensiones que oscilan entre los 60 y 100 cm de longitud, 10 y 30 cm de anchura y 7,5 y 10 cm de altura, sin una definición clara. Tampoco está claramente definido el uso de agua de reserva ya que unas veces se usa y otras no.

Este material tiene una gran porosidad y retiene mucha agua pero muy débilmente. Esto se comprueba cuando se analiza la curva de retención de agua del sustrato a bajas tensiones. Con datos de Verdure se ha confeccionado la Figura 2.13 en la que se observa cómo las relaciones agua/aire cambian muy rápidamente en el intervalo de 0 a 15 cm de tensión.

En la Figura 2.14 se muestran tres geometrías de la sección de distintas tablas y para cada sección sus relaciones volumétricas. Se aprecia que la tabla de 10x10, con una sección de 100 cm² almacenaría, pro-

Figura 2.15:
Esquema cultivo en lana de roca.

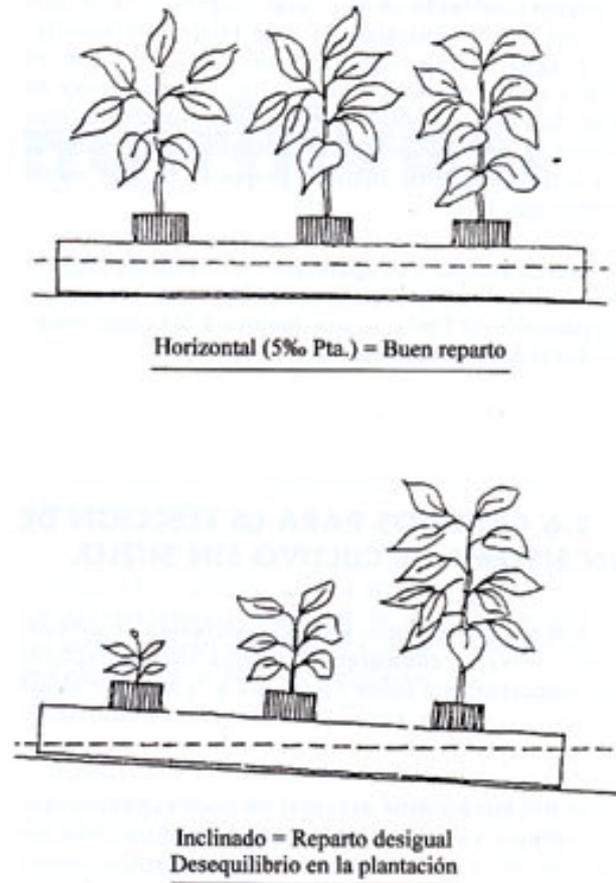


porcionalmente, menos cantidad de agua que la tabla de $15 \times 7,5 \text{ cm}^2$ que tiene una sección de $112,5 \text{ cm}^2$. Por estas razones las tablas de lana de roca no tienen más de 10 cm de altura siendo las de 7,5 las que normalmente se utilizan en Holanda.

La bibliografía tradicional sugiere la utilización de volúmenes de sustrato de 90 a 140 m^3 por Ha. En el sureste de España se está comercializando la tabla de $100 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ incluso la de $60 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ con volúmenes de sustrato por Ha de 50 a 30 m^3 respectivamente. Las tablas se presentan embolsadas en plástico de polietileno de color blanco y se sugiere la realización de los puntos de drenaje a una cierta altura de la base con el objeto de contar con una mayor reserva de agua.

Aunque mucho más esporádicamente, la lana de roca puede ser utilizada en forma de gránulos que se introducen en sacos de cultivo. En este caso suelen emplearse unos $100 \text{ m}^3/\text{Ha}$ de material.

Figura 2.16:
Colocación de paneles.



La lana de roca es un material ligero, fácil de instalar, libre de patógenos, inerte y homogéneo. Su inconveniente es el elevado precio si se utilizan los volúmenes recomendados en otros países de Europa. La duración del sustrato se estima en 2 años.

De los tres sistemas que se están comentando resulta el de mayor complejidad técnica en el manejo por su debilidad en la retención del agua. Esto obliga a una alta frecuencia en los riegos y sobre todo, si se utilizan bajos volúmenes de sustrato, a un alto consumo de agua y por lo tanto de abonos.

2.5.4 Aplicación práctica.

Si se quiere saber lo que sucede realmente en el campo, es decir conocer los volúmenes de agua y aire de que dispone la planta según se utilice la lana de roca o la perlita, se ha de partir de los volúmenes de sustrato que se usan en los dos sistemas y que son de 5 l/m^2 para la lana, poniendo la tabla de $100 \times 10 \times 10$, y de $13,4 \text{ l/m}^2$ para la perlita en el saco descrito ante-

riormente. Según las Figuras 2.12 y 2.14 y de acuerdo a las relaciones consideradas, quedaría como se refleja en el Cuadro 2.11.

Estos datos revelan que el sistema de perlita tiene un mayor contenido en aire (más oxígeno para las raíces), un mayor contenido en agua fácilmente asimilable y agua de reserva (más facilidad para tomar el agua y mejor gasto de energía), mayor contenido de agua de la denominada difícilmente asimilable (más reserva de agua para casos de emergencia) y en definitiva más volumen de sustrato lo que se traduce en un manejo más fácil.

Recientemente han aparecido en el sudeste español sistemas de lana de roca con un aumento de volumen considerable (9 l/m^2), lo que mejorará las características del sistema y facilitará el manejo.

2.6 CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO.

A modo de resumen, y como conclusión de este capítulo, se van a enumerar a continuación los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de elegir un sustrato que se vaya a utilizar para el cultivo sin suelo.

a) El sustrato debe asegurar un buen suministro para la planta en agua y aire. Este suministro debe ser equilibrado en los distintos niveles del sustrato.

b) El sustrato debe permitir una buena circulación

tridimensional de la solución nutritiva. Esta exigencia será mayor cuanto peor sea la calidad del agua de riego utilizada.

c) Es importante la estabilidad física y química del sustrato y desde luego debe asegurarse la misma al menos durante el período de utilización recomendado.

d) Es imprescindible la ausencia de patógenos y elementos tóxicos para las plantas a cultivar.

e) Cuanto menor sea la capacidad de cambio del sustrato mejor control nutricional se podrá realizar sobre las plantas. Por lo tanto el sustrato elegido debe de ser químicamente inerte.

f) El sustrato debe de ser homogéneo en sus características y éstas deben estar definidas y ser conocidas por el usuario.

g) Cuanto más ligero sea el sustrato más fácilmente podrá instalarse y los costos de dicha instalación serán menores.

h) El sustrato debe estar fácilmente disponible de tal forma que su utilización no quede limitada por la escasez del material.

i) El sustrato elegido debe tener un manejo fácil y asequible a la tecnología, infraestructura y formación profesional y técnica de los usuarios de la zona de utilización.

j) Se deben considerar tanto los costes del propio sustrato como los que se derivan de su uso (semilleros, riego, etc.).