

## MANEJO DE SUSTRATOS

Dra. Silvia Burés

BURÉS S.A. , C/. Badal 19-21, B, entlo 1ª, 08014 Barcelona

Tel. +34 93 640 16 08 Fax +34 93 640 17 02 E-mail: silja@sct.ictnet.es

### 1. Introducción

Un sustrato es cualquier medio que se utilice para cultivar plantas en contenedores, entendiendo por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se halle a presión atmosférica. En base a esta definición, un contenedor podrá tener dimensiones muy variables, siempre que exista esta restricción de altura, y se hallará, a diferencia de un suelo natural, aislado por la base y con drenaje libre.

Un componente común en los cultivos producidos en contenedor es el volumen limitado del sustrato, que obliga a intensificar el riego y el abonado. Por otro lado, la baja altura de sustrato en el contenedor en comparación con un suelo natural es también restrictiva en la selección del medio, por tener un mayor contenido de agua retenida a bajas tensiones por la matriz del sustrato. El hecho de que los contenedores tengan un volumen limitado hace necesario que se deba proporcionar la máxima cantidad de agua posible por volumen de contenedor y esta agua debe estar retenida a energías bajas, por lo tanto, los sustratos tendrán como principal característica, a diferencia de los suelos naturales, que son capaces de retener agua a bajas tensiones sin detrimento de su capacidad de aireación.

Los sustratos abarcan campos de aplicación muy diversos. En España, a diferencia de otros países donde la turba se utiliza tanto para sustratos de producción como para jardinería, existen diferentes tipologías de sustratos, así como diversas tipologías de materias primas según el producto.

### 2. Los sustratos en viverística según su aplicación

#### 2.1. Sustratos para producción viverística

Comprenden tres grupos principales de sustratos:

sustratos para planta de temporada

sustratos para planta de interior

sustratos para planta de exterior

En planta de interior y temporada la turba rubia es todavía el componente mayoritario en la formulación de sustratos, con una fuerte entrada de la fibra de coco. Para planta de exterior se utilizan también distintos productos compostados como la corteza de pino o el orujo de uva, entre otros. Los sustratos que se utilizan en uno u otro caso dependen del tipo de cultivo, de las instalaciones y del manejo del cultivo. Por ejemplo, existe una clara diferencia entre los sustratos para plantas de ciclo corto y plantas de ciclo largo. Cuanto más tiempo deba pasar la planta en un mismo contenedor, más importante es que el sustrato no se degrade química o físicamente, con el fin de mantener unas características estables.

Otra causa que determina el tipo de sustrato es si el cultivo se realiza bajo invernadero o al exterior. Además de las distintas tasas de transpiración, los cultivos de exterior que están sometidos a la acción del viento utilizan sustratos más pesados que evitan que los contenedores se vuelquen. En los cultivos protegidos este aspecto no tiene importancia y prima el aspecto de reducir el peso del contenedor para facilitar el manejo y el transporte.

Si la planta debe pasar por un período largo de transporte o un tiempo largo en el comercio minorista, es preferible que la capacidad de retención de agua y de nutrientes sea elevada para paliar una probable deficiencia durante la post-venta. También, si el riego es muy frecuente, como suele ocurrir en zonas mediterráneas de elevada evapotranspiración, será necesario que el sustrato tenga una capacidad de aireación elevada con el fin de disponer de suficiente oxígeno para las raíces. Cuando se riega con riegos abundantes es necesario tener en cuenta que el sustrato debe ser capaz de absorber el agua aplicada en el riego en poco tiempo y que por lo tanto deberá tener una permeabilidad elevada. Por estas razones, en España cada vez se utilizan más sustratos con mayor capacidad de aireación y mayor permeabilidad.

## 2.2. Sustratos para multiplicación de plantas

Los sustratos para multiplicación actualmente diferencian poco los distintos cultivos y técnicas empleadas. Es previsible que se empiecen a diferenciar de un modo claro diversas tipologías de sustratos:

sustratos para semilleros

sustratos para enraizamiento de esquejes

sustratos para forestales

A medida que se desarrolla la planta, la evapotranspiración aumenta, por ello es necesario que el sustrato proporcione un suministro continuo de agua y de elementos nutritivos, a la vez que proporcione la aireación suficiente. El principal aspecto restrictivo de estos sustratos es el pequeño tamaño de contenedor, que en el caso de plantales de horticolas y esquejes viene agravado por la baja altura de éste. Ello obliga a seleccionar sustratos de muy elevada retención de agua retenida a bajas tensiones, a la vez que el sustrato debe garantizar la óptima aireación de las raíces.

La facilidad de mecanización del llenado de las bandejas de multiplicación cada vez tiene más importancia; además, la necesidad que el cepellón no se rompa al extraerlo del alvéolo requiere de un sustrato principalmente fibroso. Por ello los sustratos para multiplicación se suelen basar principalmente en mezclas de turba rubia y turba negra.

## 3. Características de los sustratos

En la caracterización de sustratos se suelen distinguir las propiedades físicas, químicas y biológicas. La importancia del conocimiento de estas propiedades radica en que de ellas dependerá el manejo adecuado de la fertilización y del riego y por lo tanto, el éxito del cultivo.



### 3.1. Características físicas

Entre las características físicas más importantes hallamos: densidad real, granulometría, densidad aparente, porosidad, retención de agua y aireación, conductividad hidráulica y temperatura.

La densidad real es la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen real que éstas ocupan. Puede considerarse o no los poros internos de las partículas según el método que se utiliza para su determinación. Se pueden utilizar picnómetros de aire para determinar la densidad real de los sustratos o bien ésta se puede calcular a partir del conocimiento de la densidad real de la materia orgánica y de la materia mineral.

Las partículas que forman un sustrato pueden tener distintos tamaños. La granulometría se suele determinar con una serie de tamices donde la abertura de cada tamiz es doble de la del anterior (0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 mm). La granulometría se puede expresar mediante curvas granulométricas o bien mediante histogramas. También se han utilizado algunos índices granulométricos, como el índice de grosor, para definir de un modo simplificado el tamaño de las partículas de los sustratos. El tamaño y la relación entre los tamaños de las partículas determina el tamaño de los poros entre las mismas, razón por la que muchas veces se ha intentado correlacionar la granulometría con la porosidad y las características derivadas de ésta última (retención de agua, aireación).

La densidad aparente es la relación entre la masa o peso de las partículas (secas o húmedas) y el volumen aparente que éstas ocupan. Los sustratos suelen tener una densidad aparente baja. La densidad aparente se puede determinar mediante distintos métodos de campo y laboratorio.

La porosidad es la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato, y también se denomina espacio de poros, espacio poroso o espacio vacío. Normalmente se expresa como porcentaje respecto al volumen aparente del sustrato.

Generalmente los sustratos tienen dos tipos de porosidad: interna y externa. La porosidad externa es la que se genera por el propio empaquetamiento de las partículas. La porosidad interna depende de la naturaleza de las partículas y puede estar abierta o cerrada. Los poros abiertos son los que tienen conexión con el sistema de poros externos. La porosidad efectiva es la porosidad abierta o interconectada, que es la que contribuye a la retención y movimiento del agua en el sustrato.

Los sustratos, desde el punto de vista físico nos aportan dos características principales determinantes para el cultivo en contenedor: por una parte, una elevada capacidad de retención de agua a bajas tensiones (0-100 cm de columna de agua), y simultáneamente, una elevada capacidad de aireación.

De Boodt, Verdonck y Cappaert desarrollaron a principios de los años 70 en la Universidad de Gante (Bélgica) la "curva de liberación de agua para sustratos orgánicos", basándose en establecer tensiones a sustratos situados en embudos mediante un sistema de vasos comunicantes. Ellos fijaron los límites de esta curva entre 0 y 100 cm de tensión y definieron la nomenclatura que todavía actualmente sigue vigente en numerosos laboratorios para clasificar el agua en el sustrato:

- Agua difícilmente disponible (ADD): es el agua, en tanto por ciento en volumen, que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.

- Agua de reserva (AR): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 50 y 100 cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato.

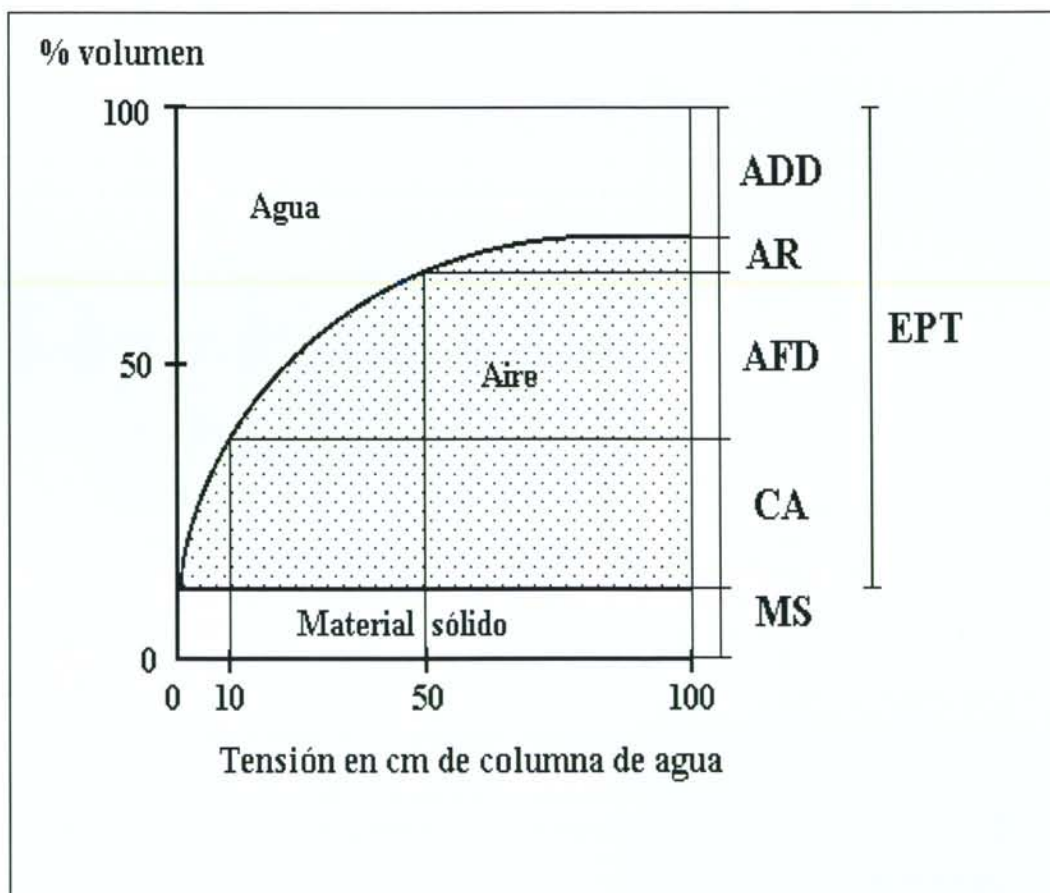
- Agua fácilmente disponible (AFD): es el tanto por ciento en volumen de agua que se libera entre 10 y 50 cm de tensión en columna de agua sobre el sustrato.

- Capacidad de aire (CA): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 0 y 10 cm de columna de agua de tensión, o tanto por ciento de aire que queda en el sustrato a una tensión de 10 cm de columna de agua.

- Material sólido (MS): es el porcentaje en volumen ocupado por la materia sólida del sustrato.

- Espacio poroso total (EPT): es el espacio de aire y agua, formado por la suma de ADD, AR, AFD y CA y que se determina a partir de las densidades real y aparente, según:  $EPT = (1 - DA/DR) \times 100$ .

La representación gráfica de la curva de liberación de agua según De Boodt y colaboradores se puede observar en la figura siguiente:



De Boodt y colaboradores establecieron el concepto de agua disponible en sustratos. En suelos naturales se considera como agua disponible el agua retenida entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente; no obstante, este concepto no es aplicable a los sustratos en contenedores. El agua tiene que estar retenida a tensiones muy bajas a la vez que tiene que haber suficiente aire. El agua disponible en un sustrato es igual a la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva, es decir, el agua retenida entre 10 y 100 cm de columna de agua. De Boodt y colaboradores indican que la mejor tensión para cultivar plantas ornamentales es entre 20 y 50 cm de columna de agua. Sin embargo, en la práctica, el agua disponible es el agua retenida entre capacidad de contenedor y 100 cm de columna de agua, siendo la



capacidad de contenedor el porcentaje total de agua en volumen retenido por un sustrato en un contenedor determinado, con un potencial matricial igual a cero en la superficie inferior del contenedor (base del contenedor a presión atmosférica) y en ausencia de evapotranspiración. Esta situación se obtiene después del drenaje libre de un sustrato previamente saturado de agua en un contenedor. La capacidad de contenedor es función de las características del sustrato y de la altura del contenedor, puesto que el contenido de agua depende de la altura de sustrato.

La conductividad hidráulica es la capacidad del sustrato para conducir el agua. Es importante que el flujo de agua hacia las raíces de las plantas sea elevado con el fin de reponer el agua perdida por transpiración. La conducción del agua en un medio poroso depende de la configuración espacial de los poros y continuidad de los mismos y de su geometría, a la vez que depende del material que forma la matriz del sustrato.

Las determinaciones en laboratorio de la conductividad hidráulica son lentas, costosas y difíciles, especialmente en el caso de la conductividad hidráulica no saturada, por ello en sustratos se suelen utilizar modelos para la determinación de la conductividad hidráulica no saturada, como el modelo de Van Genuchten.

La temperatura del sustrato afecta a múltiples procesos que influyen en el manejo de los sustratos y en el cultivo, como son las tasas de reacciones químicas y biológicas, la difusión de gases y el movimiento del agua. La temperatura influye así directamente en la nutrición y el crecimiento vegetal, en el proceso de compostaje y en otras utilidades prácticas como son el cálculo energético de la desinfección al vapor. Generalmente se toma la conductividad térmica como término dominante que define el flujo de calor en el sustrato.

### 3.2. Características químicas

Las propiedades químicas y físico-químicas se derivan de la composición elemental de los materiales y del modo de estar los elementos fijados a éstos y su relación con el medio. La reactividad de un sustrato se plasma en un intercambio de materia entre el material sólido que forma el sustrato y la solución del mismo. Un sustrato podrá ser más o menos estable en el tiempo en función de su reactividad química, puesto que el material que compone el sustrato puede reaccionar con la fase líquida, liberando o adsorbiendo elementos nutritivos o bien puede ser un material que no se descomponga ni libere elementos solubles.

Se pueden definir dos tipos extremos de sustratos desde el punto de vista químico:

a). Sustratos químicamente inertes, son aquellos que no se descomponen química o bioquímicamente, no liberan elementos solubles de forma notable ni tienen capacidad de adsorber elementos añadidos a la solución del sustrato. En los sustratos inertes no existe transferencia de materia entre el material sólido y la solución.

b). Sustratos activos químicamente o no inertes, reaccionan liberando elementos debido a la degradación, disolución o reacción de los compuestos que forman el material sólido del sustrato o bien adsorbiendo elementos en su superficie que pueden intercambiar con los elementos disueltos en la fase líquida.

Dentro de estos dos tipos extremos existen distintas combinaciones de características que cabe tener en cuenta cuando se establece un programa de fertilización, puesto que la fertilidad del sustrato y el manejo del

abonado dependen de la reactividad química del sustrato que hace también que el material no sea estable en el tiempo. Así, algunos sustratos cambian sus características después de la plantación.

Entre las propiedades químicas de importancia en sustratos podemos citar: capacidad de intercambio catiónico, pH, capacidad tampón, contenido de sales (conductividad eléctrica, presión osmótica) y contenido de elementos nutritivos totales o libres en la solución del sustrato o intercambiables (solubles o extractables). En algunos materiales también es importante conocer la presencia de elementos nocivos (por ejemplo: metales pesados y compuestos fitotóxicos en general).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC o CEC) es la capacidad de un sustrato de adsorber e intercambiar cationes. Se expresa generalmente en miliequivalentes por 100 gramos de sustrato o, mejor, por litro de sustrato. La CIC es la suma de todos los cationes intercambiables o complejo de cambio. La capacidad de intercambio catiónico depende del pH. Los materiales muy ácidos, o que tienen el complejo de cambio saturado de  $H^+$ , liberan iones  $H^+$  que se intercambian con los iones de la solución. Se puede saturar el complejo de cambio de un sustrato con iones determinados mediante su titulación, los cuales pueden mantenerse mediante aportes continuos de una misma solución nutritiva y actúan como tamponadores de esta solución después del tiempo. En los sustratos con CIC elevada, conviene cargar el complejo de cambio con cationes en equilibrio compatibles con la solución nutritiva.

El pH se define como el logaritmo del inverso de la actividad de los iones  $H^+$  en el sustrato. El pH forma una escala que va de 0 a 14 siendo los valores:

ácido:  $pH < 7$

neutro:  $pH = 7$

básico:  $pH > 7$

La reacción del sustrato es la expresión del valor en el que su pH está situado dentro de esta escala. Los sustratos presentan amplias variaciones de pH dentro de esta escala: las turbas ácidas pueden tener pH de 3, mientras que algunos minerales como la perlita o la vermiculita pueden tener pH superiores a 8. El valor del pH varía en función de la dilución, por lo que cuando se comparen distintos pH deben estar realizados con la misma proporción de sustrato:agua.

La acidez potencial es la medida de los iones  $H^+$  que están adsorbidos en el complejo de cambio y que se pueden disociar, constituyendo una reserva de acidez para el sustrato. Los iones  $H^+$  libres constituyen la acidez activa que es la que se mide en la determinación del pH en agua. La acidez potencial se puede determinar sustituyendo los iones de cambio por otro ión, como el  $K^+$  y se suele determinar en el laboratorio mediante soluciones de KCl.

La capacidad tampón de un sustrato mide su poder amortiguador sobre cambios rápidos de pH provocados por la adición de fertilizantes de carácter ácido o básico al sustrato y se estima mediante las curvas de valoración del sustrato frente a los ácidos y las bases. La capacidad tampón de un sustrato aumenta con la capacidad de intercambio catiónico. El poder tampón de los sustratos orgánicos es en general superior al de los inorgánicos puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón frente a un amplio margen de pH.

La conductividad eléctrica se expresa en  $dS/m$  o  $mmho/cm$  y expresa de una manera aproximada la concentración de sales en la solución del sustrato. La concentración total de sales afecta al potencial osmótico que está relacionado con la concentración de iones en la fase líquida del sustrato.



La capacidad de aportar nutrientes de un sustrato depende de la cantidad de elementos nutritivos que éste posea y de la capacidad de intercambio catiónico. En sustratos orgánicos como la turba de Sphagnum, la corteza de pino o la tierra de bosque, la cantidad natural de nutrientes asimilables es pequeña, mientras que cuando se utilizan sustratos orgánicos provenientes de excrementos animales o residuos urbanos, algunos de los nutrientes pueden presentar niveles elevados.

### 3.3. Características biológicas

Todos los materiales orgánicos que no son de síntesis son inestables termodinámicamente y son por lo tanto, susceptibles de degradación. La materia orgánica fresca es susceptible de descomposición dando como productos finales elementos minerales y ácidos húmicos y fúlvicos. Por ello es importante conocer el contenido en materia orgánica y su estado.

A efectos prácticos, la degradación de la materia orgánica se manifiesta en el sustrato orgánico mediante la aparición de deficiencias de nitrógeno, liberación de elementos y sustancias que pueden ser beneficiosas o fitotóxicas, cambios en el balance de la relación  $O_2/CO_2$ , reducciones del volumen del sustrato, etc. Además, la materia orgánica puede albergar microorganismos patógenos, puede contener agentes supresivos de patógenos o de poblaciones fúngicas simbióticas de los vegetales y puede poseer actividad enzimática y reguladora del crecimiento. La presencia de materia orgánica en un sustrato actúa como un reservorio dosificador de nutrientes, no sólo en cuanto a su capacidad de intercambio catiónico elevada, sino también por la capacidad de transformar cationes metálicos en complejos metálicos solubles disponibles para las plantas y actuar como sumidero de metales pesados, reduciendo los riesgos de fitotoxicidad causada por los mismos. Dadas las características particulares de la materia orgánica, los sustratos de cultivo se han clasificado tradicionalmente como orgánicos e inorgánicos.

### 4. Materiales que se utilizan como sustratos

El número de materiales que pueden ser utilizados como sustratos es muy amplio. Es frecuente que se recurra a las mezclas de distintos materiales para obtener características apropiadas para el cultivo. Muchos residuos o subproductos derivados de explotaciones agrícolas o industriales están actualmente sustituyendo a los materiales más tradicionales. La mayor parte de los materiales procedentes de residuos requieren un proceso de adecuación que permita obtener características estables. Los sustratos, como han mostrado las múltiples investigaciones desarrolladas durante los últimos años, han sido capaces de absorber muchos materiales que son subproductos de escaso valor, supliendo así la mayor demanda de materiales y a la vez revalorizando estos productos. Los materiales se han clasificado tradicionalmente de modo muy diverso. Una de las clasificaciones más frecuentes es en orgánicos e inorgánicos.

Existen otros sistemas de clasificación de sustratos y componentes de sustratos. Es también frecuente clasificar a los materiales por su origen. De hecho, los sustratos que se utilizan pueden tener procedencias muy distintas. Así, pueden proceder de las explotaciones forestal, agrícola o ganadera, de la industria agroalimentaria u otras actividades industriales, de la actividad humana o de yacimientos naturales, entre otros.

### 5. Corrección de las características de los sustratos

En la práctica, casi nunca se utiliza como sustrato un único material. Generalmente, los sustratos comerciales consisten en mezclas de materiales distintos en diversas proporciones. La razón principal radica en la dificultad de encontrar materiales que tengan por sí solos características adecuadas para el cultivo. Los materiales únicos se utilizan en sistemas de tipo hidropónico, donde un control riguroso del abonado y del riego



suple las posibles deficiencias de los materiales empleados. Sin embargo, en cultivo de planta ornamental en macetas, este control riguroso resulta de difícil aplicación por la necesidad de cultivar en una misma explotación muy diversas especies, de modo que pocas veces pueden aportarse a éstas las dosis de abono y de agua óptimas. Por otra parte, las plantas que se comercializan en maceta, requieren que el sustrato tenga una cierta capacidad tampón tanto de la nutrición como de la retención de agua, es decir, que debe ser capaz de soportar niveles infraóptimos de fertilizantes y agua (por ejemplo, durante el transporte o la comercialización) sin que la planta sufra desperfectos, siendo en general conveniente que estos sustratos tengan una capacidad elevada de intercambio catiónico y una retención de agua elevada. Además, estos sustratos deben suministrarse al cultivador en condiciones adecuadas para el cultivo, implicando con ello que estos sustratos deberán ser estables, fáciles de utilizar, deberá corregirse sus deficiencias y aportar, en la mayoría de los casos un abonado de base que permita partir de un material ya apto para el cultivo. Por supuesto, estos sustratos estarán libres de patógenos, insectos y semillas de malas hierbas.

En la preparación de sustratos se deberán, pues, tener en cuenta una serie de factores: la estabilidad de los materiales, la corrección de las propiedades físicas y químicas de los sustratos, la desinfección, y, por supuesto, la adecuación de las mezclas de modo que las características finales sean óptimas. Algunas de las correcciones que pueden realizarse para mejorar la calidad final de los sustratos son:

- Estabilización de la materia orgánica.
- Mezcla de materiales.
- Corrección de las propiedades físicas y químicas.

Estas correcciones se describen a continuación.

#### 5.1. Estabilización de la materia orgánica

La estabilización de la materia orgánica se consigue generalmente mediante el compostaje. El compostaje es un proceso de fermentación bajo condiciones controladas que tiene por finalidad transformar la materia orgánica en compuestos estables desde el punto de vista químico y obtener una configuración física del sustrato no variable a medio plazo. El producto final del compostaje se denomina compost o material compostado. De hecho, el compostaje que se lleva a cabo en la preparación de sustratos suele ser una fermentación incompleta que, en la práctica, tiene por objeto satisfacer alguna de las siguientes características: eliminar compuestos fitotóxicos, evitar deficiencias de nitrógeno, evitar falta de oxígeno, eliminar malos olores, favorecer la supresividad y/o eliminar patógenos vegetales y animales, insectos y semillas de malas hierbas. La consecución en mayor o menor grado de estas características determina el tiempo y tipo de compostaje a efectuar.

#### 5.2. Mezcla de materiales

Obtener mezclas de sustratos no resulta sencillo puesto que existen numerosos materiales, cuyo número sigue creciendo, que pueden ser adecuados como sustratos de cultivo. Estos materiales pueden tener distintas propiedades en función de su distribución granulométrica. Si a ello sumamos las numerosas propiedades que satisfacen condiciones de cultivo específicas, elaborar sustratos resulta un problema de difícil solución, por el enorme número de variables en juego.



Tradicionalmente, los sustratos se obtienen por el método de "ensayo y error". Es decir, se parte de una serie de materiales conocidos, se mezclan en distintas proporciones, y se analizan los sustratos resultantes, seleccionando aquellos que tienen las características más adecuadas. Si el número de materiales es muy elevado, esto puede resultar en numerosas muestras a analizar. Evidentemente, el sentido común y la práctica evitan muchas mezclas innecesarias. Sin embargo, si a esto añadimos optimizar el coste de los materiales, o maximizar la dosis de un determinado material, resultará extremadamente complicado elaborar sustratos.

### 5.3. Corrección de las propiedades físicas y químicas

Entre las propiedades que suelen tenerse que corregir en la preparación de sustratos están las siguientes:

a). Mejora de la retención de agua y de la mojabilidad. Uno de los problemas que se presentan en la preparación y manejo de sustratos es aumentar la capacidad de retención de agua de los mismos o mejorar su mojabilidad. Para ello, pueden utilizarse diferentes tipos de productos, entre ellos, los polímeros de carácter hidrofílico, como los hidrogeles o la urea-formaldehído, que retienen agua entre sus redes moleculares, y los agentes tensioactivos, que aumentan la mojabilidad del sustrato al bajar la tensión superficial del agua.

b). Corrección del pH. Dentro de los materiales que forman los sustratos encontramos amplios márgenes de pH. Cuando el pH no es adecuado para el cultivo, es necesaria su corrección. La corrección del pH se suele realizar mediante la adición de enmiendas encalantes para elevar el pH de los sustratos ácidos o de enmiendas de azufre para bajar el pH de los sustratos básicos.

c). Corrección de la salinidad. Cuando el sustrato tiene un contenido excesivo de sales pueden presentarse problemas en el cultivo, bien debido a la toxicidad de algunos elementos químicos que se hallen en cantidades excesivas, o bien a causa del aumento del potencial osmótico del agua que provoca una mayor dificultad para la planta de obtener agua, debiéndose realizar una corrección de la salinidad mediante dilución o lavado.

d). Corrección de la nutrición. Normalmente, para conseguir un crecimiento vegetal óptimo, será necesario añadir nutrientes adicionales como fertilizantes de base. La cantidad de nutrientes a añadir dependerá de la fertilidad del sustrato, de su capacidad de intercambio catiónico, del grado de descomposición de la materia orgánica, de la especie a cultivar y de las condiciones ambientales del cultivo. Una capacidad de intercambio catiónico (CIC) elevada incrementa la eficiencia de la adición de fertilizantes durante el proceso de manufacturación, mientras que cuando se utilizan materiales con baja capacidad de intercambio, los fertilizantes se aplicarán sólo a través del sistema de riego (fertirrigación), puesto que el sustrato no es capaz de retener los nutrientes de modo que sean disponibles para las plantas. Para establecer un abonado de fondo es necesario partir de la composición química del sustrato y conocer a qué cultivos va destinado. Diferentes investigadores han establecido dosis de abonado para distintos tipos de sustrato o cultivo.

### 6. Preparación de sustratos

La preparación de sustratos consiste en mezclar los materiales constituyentes de los mismos de un modo uniforme. Estos materiales deben estar debidamente preparados y deben ser estables, aunque es frecuente que, pese a estar compostados, al combinar diversos materiales orgánicos estos reanuden el proceso de descomposición. Esto ocurre a menudo cuando se incorporan turbas, puesto que las turbas son materiales orgánicos poco descompuestos y en presencia de oxígeno y agua se descomponen. Además, si se incorporan abonos de liberación controlada éstos liberan nutrientes durante el tiempo de almacenaje y se acumulan en el



sustrato, aumentando la salinidad. También el pH, por la acción de los abonos, puede modificarse durante este período. Por ello es necesario no almacenar los materiales preparados sino consumirlos en un corto plazo de tiempo. Esto debe hacerse tanto a nivel de fabricante, lo que implica que deba hacerse una previsión de stocks correcta, como a nivel de consumidor. Muchos viveristas tienden a adquirir sus sustratos a principios de temporada y dejarlos almacenados al aire libre en grandes pilas hasta que termina la época de plantación. Sería más correcto encargar los sustratos con antelación y recibirlos en el momento en que se vaya a efectuar la plantación con el fin de evitar la variación de las propiedades del sustrato durante el almacenaje.

La mezcla puede realizarse por diversos sistemas: mediante el uso de palas cargadoras, mediante tolvas que vierten los ingredientes sobre una cinta transportadora o mediante tambores rotatorios. Los abonos deben incorporarse durante el proceso de mezclado para favorecer un esparcimiento homogéneo. También los agentes tensioactivos e hidrogeles se incorporarán durante el proceso de mezclado. Tras la mezcla, los sustratos deberán llevarse a un contenido de humedad correcto para su utilización inmediata (40 - 60 % en peso según el material).

En la previsión de volumen de mezcla debe tenerse en cuenta la contracción de volumen y aportar las cantidades necesarias de ingredientes para obtener el volumen final necesario. Aunque las mezclas a nivel práctico suelen contener entre dos y cuatro ingredientes, la presencia de materiales provenientes de residuos ha hecho aumentar en la práctica el número de ingredientes a utilizar. Curiosamente, materiales que en elevadas proporciones pueden resultar fitotóxicos, cuando se combinan en pequeñas proporciones pueden resultar beneficiosos para el cultivo. Es imprescindible conocer a priori cual es la respuesta de los materiales mezclados y proceder siempre a realizar ensayos de germinación o de cultivo cuando se utilicen materiales nuevos. La corrección del pH o de la salinidad o el abonado de fondo es preferible realizarlos sobre la mezcla y no sobre los materiales originales, puesto que la combinación de materiales puede modificar estas propiedades.

Aunque los ingredientes sean de calidad, si la mezcla no se efectúa de un modo correcto, el sustrato obtenido puede resultar inadecuado para el cultivo.

## 7. Inventario de sustratos

Durante los últimos años se ha desarrollado en España un proyecto para elaborar un Inventario de materiales que pueden tener una aplicación como sustratos o componentes de sustratos de cultivo para la producción de plantas ornamentales en contenedor, con el objeto de encontrar nuevos usos a materiales que actualmente se consideran subproductos.

El Inventario se realizó con la participación de diversos investigadores de varias Comunidades Autónomas. La difusión pública ha sido realizada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación que colabora en el Inventario, a través de la Subdirección General de Medios de Producción (DGA) y la Subdirección General de Informática y Comunicaciones. Se puede consultar dicho inventario en la página de web:

<http://www.mapya.es/indices/pags/agric/index.htm>

El Inventario se ha preparado en forma de base de datos. El acceso a la información se puede realizar a través del tipo de material de posible utilización como sustrato o a través de la Comunidad Autónoma en la que se produce dicho material. Los datos que se obtienen son:



Ficha general con la información suministrada por las empresas. En ella se incluyen datos relativos a la empresa u organización generadora del material, o yacimiento, y su dirección, ubicación del material, producción anual, usos actuales y posibles aplicaciones, posibles tratamientos para su utilización como sustrato, precio de venta (referido a los años 1997 ó 1998) , etc...

Ficha específica. Para algunos casos, se presentan las propiedades físicas, químicas y biológicas del producto.

## 8. Normativa sobre sustratos

En el Estado Español no existe actualmente ninguna legislación o normativa aplicable a los sustratos hortícolas con referencia a su uso como medio de cultivo. La legislación existente sobre fertilizantes y afines (Orden de 28 de mayo de 1998 sobre fertilizantes y afines, BOE 131 de 2 de junio de 1998), contempla en su Anejo III (Abonos orgánicos, organominerales y enmiendas orgánicas), dentro de estos conceptos genéricos, algunos de los materiales que se utilizan como medios de cultivo. Las especificaciones de esta ley no resultan útiles en el uso de estos materiales como sustratos.

Los productores de sustratos junto con representantes de la Administración y diversos investigadores sobre el tema habían manifestado repetidamente el interés de establecer una normativa en España que cubriera este vacío legal. Aunque durante la década de los años 80 se realizaron en España algunos intentos de establecer una normalización de sustratos, tras la creación en 1990 por el Centro de Normalización Europeo (CEN) del Comité Técnico 223 denominado "Soil Improvers and Growing Media" (mejoradores de suelo y sustratos de cultivo), se acordó la necesidad de intervenir en el proceso de normalización europea de sustratos.

El Comité Técnico 223 del CEN (European Committee for Standardization) viene desarrollando su labor en la normalización de sustratos con el fin de aglutinar las distintas normativas y prácticas desarrolladas en los distintos países de la Comunidad Europea, facilitando de este modo la libertad en las transacciones comerciales dentro y fuera de la Comunidad Europea al desarrollar una calidad, control y etiquetado comunes. Para facilitar la labor de este Comité Técnico, se formaron cuatro grupos de trabajo (Working Groups):

- WG 1. Vocabulario, especificaciones y etiquetado. Este grupo de trabajo se ocupa de definir la terminología, los requerimientos obligatorios y opcionales de etiquetado y la determinación de límites mínimos y máximos para diversos aspectos de la calidad del producto.

- WG 2. Seguridad. Se ocupa de la seguridad humana, vegetal y medioambiental, así como de la información necesaria para minimizar el impacto de los accidentes, tanto para usuarios, como para el medio ambiente y la sanidad y crecimiento vegetales.

- WG 3. Cantidad y muestreo. Da las pautas a seguir para efectuar el muestreo y determinar la cantidad.

- WG 4. Métodos de análisis. Este grupo de trabajo generará todos los métodos normalizados de análisis para determinar la calidad del sustrato.

El proceso de normalización europea de sustratos de cultivo y mejoradores de suelo iniciado en 1989 se encuentra actualmente en sus fases finales. Durante los dos últimos años se han ido concretando normativas y actualmente se dispone de normas (EN) e informes CEN (CEN report - CR) generados por los cuatro grupos de trabajo integrantes del Comité Técnico 223 del CEN (CEN/TC 223 Soil Improvers and Growing Media, Mejoradores de Suelo y Sustratos de Cultivo).

## 9. Selección de sustratos

Es necesario tener en cuenta que un medio de cultivo puede dar resultados distintos según el tipo, forma y tamaño del contenedor, especie vegetal, técnicas culturales (riego, fertilización) o condiciones climáticas, por lo que la idoneidad de un sustrato estará supeditada al manejo de éste y no podrá ofrecer por sí sola garantías del éxito de un cultivo. La caracterización de materiales nos definirá la posibilidad de que éstos puedan ser utilizados solos, o en mezclas como componentes de medios de cultivo; de las características físicas y químicas del sustrato dependerá el manejo y en consecuencia, el éxito de un cultivo.

Todo usuario de sustratos requiere unas características mínimas generales: que el coste sea asequible, que el sustrato esté disponible en cantidades suficientes, que sus características sean constantes, que el servicio sea rápido y eficiente, que exista un servicio post-venta, etc. Sin embargo, definir el sustrato ideal de cultivo es poco menos que imposible puesto que no existe el sustrato ideal universal. No obstante, dadas unas condiciones concretas del usuario, existe sin duda el sustrato ideal particular. Este sustrato ideal particular depende de demasiados factores y probablemente es de imposible elaboración. Un medio de cultivo puede dar resultados distintos según diversos condicionantes que afectan al sustrato, como el clima y microclima, sistema de riego, la especie vegetal, el tipo, forma y tamaño del contenedor, las técnicas culturales (riego, fertilización), duración del cultivo o el destino final de las plantas, entre otros. Aunque el conocimiento de estas condiciones no permite establecer la composición del sustrato, sí permite predecir las características que deberá tener un sustrato para que se adecue a estas condiciones.

Los criterios o características generales de selección de un sustrato son, además de los condicionantes económicos:

- Que no sea tóxico para los humanos.
- Que no sea tóxico para las plantas.
- Que esté exento de semillas de malas hierbas, patógenos, insectos, nemátodos, metales pesados, vidrios, hierros, plásticos, etc.
- Que tenga fácil manipulación, es decir, que no produzca polvo, que se pueda rehumectar bien, etc.
- Que sea homogéneo.
- Que sea respetuoso con el medio ambiente.

Los criterios particulares del vivero con respecto a las características de los sustratos y que definirán el "sustrato ideal particular" a utilizar se citan a continuación:

- a). Duración del cultivo. Las propiedades a tener en cuenta son:
  - Degradación física de los materiales.



- Degradación de la materia orgánica (humificación y mineralización).
- Compactación.

Estos tres aspectos son primordiales, puesto que marcarán una clara diferencia entre los sustratos para plantas de ciclo corto y plantas de ciclo largo. Así, una planta de ciclo largo que deba pasar más de un año en un contenedor necesitará un sustrato que no se degrade química o físicamente en el tiempo, con el fin de mantener unas características estables.

b). Cultivo protegido o exterior. Las principales características son:

- **Capacidad de retención de agua.** La evapotranspiración es muy distinta en el cultivo al exterior y bajo invernadero. Por ello, se deberá ajustar la capacidad de retención de agua de modo que esta sea mayor cuando la evapotranspiración sea mayor.

- **Densidad.** Por ejemplo, los cultivos de exterior que están sometidos a la acción del viento deberán utilizar sustratos más pesados que eviten que los contenedores se vuelquen. En los cultivos protegidos este aspecto no tiene importancia y prima el aspecto de reducir el peso del contenedor para facilitar el manejo y el transporte.

c). Tipo de abono y sistema de abonado. Las propiedades determinantes son:

- **Salinidad y contenido de nutrientes.** El contenido inicial de sales en el sustrato será limitante en cuanto al abonado de fondo y cobertera a aplicar y viceversa.

- **Capacidad de intercambio catiónico.** Si está previsto aplicar fertirrigación de alta frecuencia, la capacidad de intercambio catiónico deja de ser importante puesto que el sustrato no necesita tener reserva de nutrientes; en cambio, si la fertilización se hace muy espaciada es necesario utilizar un sustrato con elevada capacidad de intercambio catiónico que mantenga una reserva suficiente de nutrientes.

d). Calidad del agua de riego y tipo de riego. Las propiedades a tener en cuenta son:

- **Salinidad.** Si el agua de riego tiene un elevado contenido en sales, es preferible no utilizar sustratos de conductividad eléctrica elevada. Si las aguas que se utilizan para el riego son salinas, el sustrato deberá mantenerse a tensiones bajas de columna de agua para facilitar la absorción de agua por las raíces, por lo que interesarán sustratos con elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, así como elevada aireación.

- **Capacidad de retención de agua.** Cuando el riego tiene lugar espaciado en el tiempo será necesario que el sustrato tenga una elevada capacidad de retención de agua.

- **Capacidad de aireación.** Si el riego es muy frecuente, como suele ocurrir en zonas mediterráneas de elevada evapotranspiración, será necesario que el sustrato tenga una capacidad de aireación elevada con el fin

de disponer de suficiente oxígeno para las raíces, por mantenerse de un modo continuo el sustrato a capacidad de contenedor.

- Conductividad hidráulica. Cuando se riega con riegos abundantes es necesario tener en cuenta que el sustrato debe ser capaz de absorber el agua aplicada en el riego en poco tiempo y que por lo tanto deberá tener una permeabilidad elevada.

e). Contenedor (volumen y altura).

- Curva de liberación de agua. La capacidad de contenedor depende de la altura del contenedor y el contenido total de agua depende del volumen de sustrato; por lo tanto, se deberá utilizar un sustrato que tenga una curva de liberación de agua tal que permita que a capacidad de contenedor exista suficiente agua disponible para las plantas.

f). Especie vegetal. Algunas de las características a tener en cuenta son:

- pH. Todas las plantas se desarrollan mejor en unos márgenes de pH determinados, por lo que el pH del sustrato se ajustará a las necesidades de las plantas.

- Conductividad eléctrica (o presión osmótica). Las plantas toleran mayor o menor presión osmótica en función de su sensibilidad de especie o cultivar.

- Contenido de agua y nutrientes. A mayor tamaño de planta, mayores serán las necesidades de agua y nutrientes.

- Capacidad de aireación. Por ejemplo, cuando se cultivan plantas sensibles a la asfixia, el sustrato deberá tener una mayor capacidad de aireación.

g). Destino de la planta. Las propiedades necesarias serán:

- Capacidad de retención de agua y nutrientes. Si la planta debe pasar por un período largo de transporte o un tiempo largo en el comercio minorista, es preferible que la capacidad de retención de agua y de nutrientes sea elevada para paliar una probable deficiencia durante la post-venta.

- Apariencia, olor. Las plantas destinadas a uso doméstico deben contener un sustrato que no proporcione molestias al consumidor.

Además de las características originales del sustrato, la manipulación del mismo previamente a la plantación (compactación, humectación, tiempo de almacenaje, tiempo de mezclado) y el manejo posterior del sustrato (operaciones culturales) determinarán los resultados obtenidos. La multiplicidad de factores dificulta la elección del sustrato y el éxito del cultivo. Sin duda se trata de un tema complejo y que requiere un mayor desarrollo tecnológico, principalmente en las condiciones en las que se desarrollan nuestros cultivos, muy distintas de las que tienen lugar en otros países.



## 10. Bibliografía

- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa, Madrid.
- Boodt, M. De, O. Verdonck y I Cappaert. 1974. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37:2054-2062.
- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. (2ª edición de "Modern Potting Composts"). Unwin Hyman, Londres.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ed. Agrotécnicas S.L., Madrid.
- Lemaire, F., A. Dartigues, L.M. Rivière y S. Charpentier. 1989. Cultures en pots et conteneurs. INRA, París y PHM, Limoges. Francia.
- Puustjarvi V. y R.A. Robertson. 1975. Physical and chemical properties, p. 23-28. In: D. W. Robinson and J.G.D. Lamb (eds.). *Peat in horticulture*. Academic Press, London.
- Whitcomb, C.E. 1988. Plant production in containers. Lacebark Publ. Inc. Stillwater, Oklahoma.