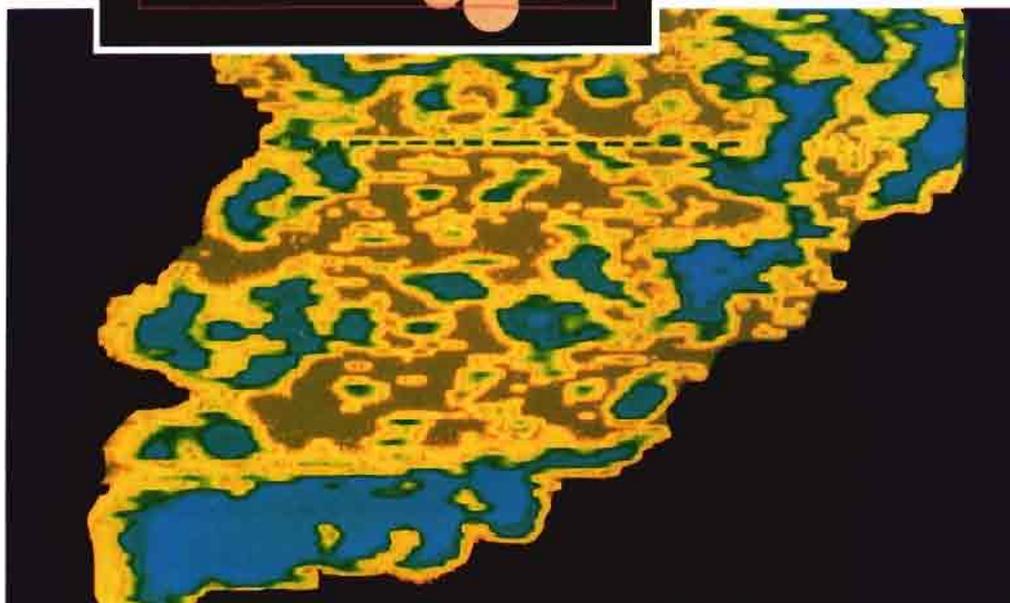


Técnicas como la Resonancia Magnética Nuclear, utilizadas en medicina para analizar órganos humanos sin necesidad de intervenir quirúrgicamente, aún su elevado coste, se presentan como ideales para el estudio de lo que pasa dentro de un contenedor, dada la posibilidad de observarse la distribución del agua dentro y fuera de las partículas que componen el sustrato. Más económicas son las técnicas de simulación mediante ordenador, gracias a

las cuales se puede «construir» artificialmente un sustrato y observar como varían sus características en función de la variación de los parámetros definidos. En la imagen superior, sección transversal generada mediante ordenador de una mezcla de esferas que simulan un sustrato a base de corteza de pino y arena (círculos de color amarillo). Los espacios situados entre las partículas corresponden a la porosidad externa. (Foto: Steven E. Follin, Universidad de Georgia, Estados Unidos).

En la otra fotografía, imagen obtenida mediante Resonancia Magnética Nuclear de una partícula de corteza de pino saturada con agua. Los colores marrones y ocres representan el material sólido y los azules representan el agua absorbida dentro de la partícula, que es la porosidad interna. (Foto: David S. Himmelsbach y Gary R. Gamble, USDA-ARS, Athens, Georgia, Estados Unidos).



Porosidad en sustratos

Nuevos desarrollos en la caracterización física de sustratos. Estudio de la porosidad mediante análisis de imágenes y simulación por ordenador

Dra. SILVIA BURÉS

Dept. Tecnología Hortícola, IRTA, Cabrils (Barcelona)

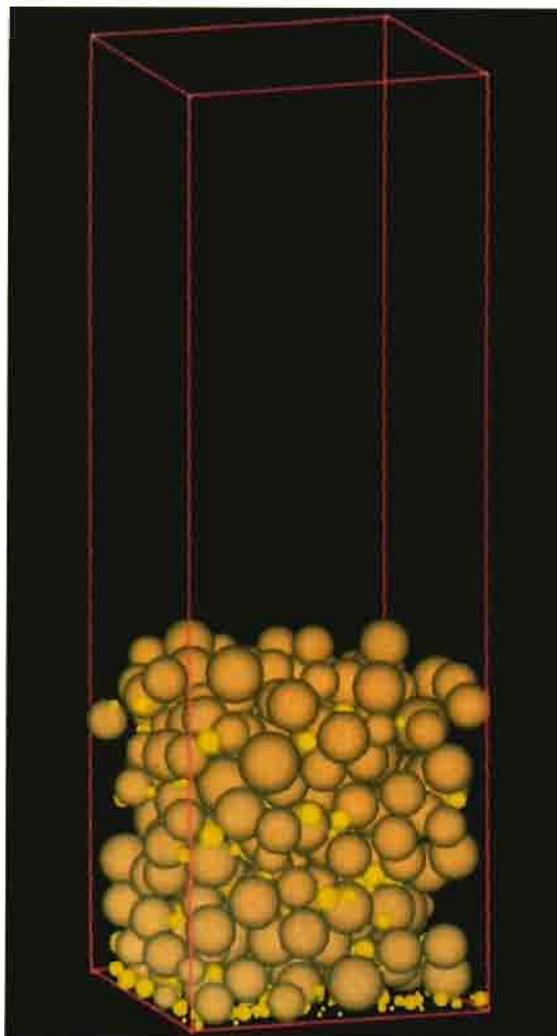
La estructura física de un sustrato está formada básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio de poros, que pueden estar llenos de agua o de aire, y que corresponden a espacios generados entre las partículas de sustrato o dentro de las mismas partículas. Cabe diferenciar dos factores principales que,

desde el punto de vista físico, distinguen a los sustratos de los suelos naturales; uno es el hecho de que los sustratos tienen en general una mayor porosidad, debido a que la mayoría de los materiales que se utilizan como sustratos tienen poros dentro de las partículas, lo que permite aumentar el espacio poroso total con res-

pecto a un suelo donde los poros se encuentran situados solamente entre las partículas; el segundo factor es que en los sustratos, existe un porcentaje más elevado de poros de mayor tamaño. Estas características de los sustratos (más poros y más grandes) son las que determinan su adecuación para el cultivo en contenedor, justificando de este modo que el desarrollo histórico de los sustratos hortícolas tenga su origen en el propio cultivo en contenedor.

La mayor parte de la producción de planta ornamental tiene lugar en contenedores, macetas, y por lo tanto, en sustratos, del mismo modo que existe un aumento de la demanda de sustratos para el cultivo de hortalizas y flor cortada bajo invernadero en

Los métodos de Monte Carlo, se utilizan en experimentación para la resolución de problemas mediante el uso de números al azar; en física estadística, estos métodos son utilizados para estudiar sistemas con un elevado número de componentes, como los átomos de la materia. Al lado, imagen gráfica obtenida por ordenador de la simulación mediante el método de Monte Carlo del empaquetamiento de una mezcla de arena (esferas de color amarillo) y corteza de pino. Este sistema simula la configuración que tendría un sustrato de una distribución granulométrica prefijada que se ha vertido dentro de un contenedor y que se ha sacudido para asentar su empaquetamiento. (Foto: Steven E. Follin, Universidad de Georgia, Estados Unidos).



banquetas o sacos. También la jardinería y los espacios de ocio y deportes consumen sustratos distintos del suelo cuando se realizan sobre espacios confinados o delimitados (p.e. un campo de fútbol) con un aislamiento respecto al suelo natural de la zona. En este caso, las características del confinamiento son análogas a las de un contenedor tipo maceta.

Un componente común de los contenedores es su volumen limitado, que implica que se deban intensificar el abonado y el riego para satisfacer las demandas nutricionales y de transpiración de las plantas. Por otro lado, la baja altura de sustrato en el contenedor en comparación con un suelo natural condiciona la selección del medio de cultivo.

La base del contenedor actúa como una barrera donde el agua se encuentra a presión atmosférica o potencial cero,

siendo el potencial matricial del agua del sustrato equivalente a la altura de la columna de agua en condiciones de capacidad de contenedor (capacidad de contenedor es la situación que se obtiene cuando un sustrato en un contenedor determinado se satura de agua y se deja que ésta drene libremente; es un concepto análogo al de capacidad de campo en suelos naturales). Esto conlleva un mayor contenido de agua retenida a bajas tensiones por la matriz del sustrato. La eficiencia de las plantas cultivadas en contenedor aumenta cuando el agua del sustrato se halla retenida a bajas tensiones. El hecho de que los contenedores tengan un volumen limitado, obliga a proporcionar la máxima cantidad de agua posible por volumen de contenedor, puesto que las plantas deben encontrar dentro del contenedor toda el agua que necesitan. Esta agua debe estar retenida a energías bajas que favorez-

can su absorción por las plantas sin que represente un gasto energético elevado que repercutiría en el crecimiento. Es necesario, pues, recurrir a sustratos que retengan agua a bajas tensiones sin detrimento de su capacidad de aireación. Una capacidad de aireación adecuada se consigue aumentando el número de poros mayores que un cierto tamaño umbral (alrededor de 290 μm de diámetro) que se consigue generalmente aumentando el tamaño de las partículas. Al aumentar el tamaño de las partículas, disminuye el número de poros entre ellas que son capaces de retener agua. Los poros internos, generalmente de tamaño reducido, son capaces en la mayoría de los materiales utilizados como sustratos de retener agua a potenciales más elevados que los que determina la altura del sustrato; es decir, no se vacían en condiciones de capacidad de contenedor. De este modo, un tamaño mayor de partículas y una porosidad interna elevada aseguran un reservorio de agua importante en el sustrato a la vez que gran parte del agua es liberada a tensiones muy bajas y la aireación se mantiene suficiente.

Las características del material que pueden conferir propiedades específicas a un sustrato son: composición química, tensión superficial, estructura interna, forma, tamaño, isotropía (propiedades físicas iguales en todas las direcciones), compresibilidad, rugosidad y estabilidad mecánica. Estas características determinarán las propiedades químicas y físicas de un sustrato. El esqueleto sólido y el espacio poroso de los sustratos vienen definidos por la naturaleza del material y por el tipo de empaquetamiento. El esqueleto sólido a su vez está caracterizado por el tipo de material, distribución granulométrica (tamaños de las partículas) y el grado, mezclado e isotropía del empaquetamiento o configuración espacial. La porosidad externa depende del modo de empaquetamiento, tamaño del contenedor, forma y tamaño de las partículas, naturaleza de las partículas y compresibilidad. La porosidad interna depende de la naturaleza de las partículas, estado

de los poros (abiertos/cerrados) e interconexión y de la compresibilidad. Las características hídricas de los sustratos dependerán a su vez de estos factores. Del estudio exhaustivo de los sistemas de poros se desprende la posibilidad de establecer el manejo hidráulico de los sustratos.

Pero para saber cómo se comporta la porosidad de los sustratos hace falta un estudio a nivel de sus componentes o partículas.

Técnicas como la Resonancia Magnética Nuclear, utilizadas en medicina para analizar órganos del cuerpo humano sin necesidad de intervención quirúrgica, se presentan como ideales para el estudio de lo que pasa dentro de un contenedor. Con estas técnicas puede observarse la distribución del agua dentro y fuera de las partículas que componen el sustrato. Tienen el inconveniente de su excesivo coste y su escasa disponibilidad para estudios de investigación agrícola. Más económicas son las técnicas de simulación mediante ordenador, con las cuales se puede "construir" artificialmente un sustrato y observar cómo varían sus características en base a cambiar distintos parámetros, como el tamaño de las partículas o el tamaño o forma del contenedor. Estas técnicas ayudan a explicar el comportamiento de los sustratos y permiten controlar sus propiedades físicas.

Los métodos de Monte Carlo se utilizan en experimentación para la resolución de problemas mediante el uso de números al azar. La razón del éxito de éstos métodos en campos como la física, la seguridad nacional, la medicina o la economía es que se evita la experimentación en laboratorio, ahorrando tiempo, dinero y problemas de seguridad. Con la introducción de ordenadores rápidos, estos métodos han desarrollado un incremento notable en los campos de la física y la biología. En física estadística se utilizan los métodos de Monte Carlo para estudiar sistemas que consisten en un gran número de componentes, como los átomos de la materia sólida o líquida. Los materiales granulares consisten básicamente en

Cuadro 1:
Espacio poroso total de distintos materiales utilizados como sustratos, comparado con el de la arena, que no tiene porosidad interna

| MATERIALES | ESPACIO POROSO TOTAL (% Vol.) |
|-------------------------|-------------------------------|
| Turba (rubia) | 93,9 |
| Turba (negra) | 80,4 |
| Tierra de bosque | 84,0 |
| Corteza de pino | 86,8 |
| Orujo de uva | 86,6 |
| Tierra volcánica | 71,0 |
| Perlita (expandida) | 95,6 |
| Vermiculita (expandida) | 95,3 |
| Lana de roca | 97,0 |
| Arena | 45,2 |

empaquetamientos de partículas situadas al azar. El estudio de los empaquetamientos a partir de modelos de esferas ha tenido un gran auge en el estudio de física de suelos, naturaleza molecular de los fluidos, cristales y aleaciones y en aplicaciones industriales. Un sustrato de carácter granular puede considerarse como un sistema de partículas de diferentes formas geométricas situadas al azar, así, este tipo de técnicas han encontrado aplicación en el estudio de los sustratos. La posibilidad de utilizar a la vez modelos simples de esferas y las técnicas de simulación mediante ordenador para estudiar los sustratos ha permitido la caracterización de fenómenos como la contracción del volumen en las mezclas y la porosidad.

La bibliografía sobre propiedades y utilización de materiales diversos como sustratos es muy abundante, pero la mayoría de estos trabajos son de difícil repetición, puesto que así como las propiedades químicas dependen principalmente de la composición del material y no varían con la distribución espacial de sus partículas, resulta difícil establecer una caracterización general de un material desde el punto de vista físico, ya que un mismo material tendrá distintas propiedades en función de la granulometría y del estado de empaquetamiento de las partículas. De este modo, cada vez que se aborda un estudio de carácter físico, es necesario preestablecer la granulometría y la densidad del empaquetamiento, teniendo en cuenta que la única densidad que es constante y fija es la densidad máxima que puede alcanzarse compactando un sustrato.

Desde el punto de vista físico, los sustratos se diferencian de los suelos naturales por la mayor porosidad y más elevado tamaño de los poros en los sustratos. Estas características de más y mayor tamaño de los poros, son las que determinan su adecuación para el cultivo en contenedor.

La investigación de carácter básico en el campo de los sustratos es necesaria para la mejor comprensión de las propiedades de éstos. El conocimiento de la variación de las propiedades en función de las características intrínsecas del material, además de las propias del empaquetamiento, permitirá un ahorro de esfuerzos en cuanto a que facilitará los intentos de correlacionar fracciones granulométricas con propiedades de los materiales y permitirá uniformizar las propiedades asociadas a un determinado sustrato.